

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 64 (1973)
Heft: 4

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: 29.03.2025

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

Energie-Erzeugung und -Verteilung

Die Seiten des VSE

Grundsatz für den Bau von Schaltanlagen im Hinblick auf eine Optimierung der Arbeitssicherheit

Von E. Homberger

Vortrag, gehalten am 2. Internationalen Kolloquium der internationalen Sektion der Internationalen Vereinigung für soziale Sicherheit (IVSS), mit Sitz in Genf, für die Verhütung von Arbeitsunfällen und Berufskrankheiten durch Elektrizität vom 30. November und 1. Dezember 1972 in Köln.

1. Einleitung

Während Herr Miotti die sicherheitstechnischen Erfordernisse einer Schaltanlage aus der Sicht des Herstellers beleuchten wird, werde ich das gleiche Thema auf Grund meiner Erfahrungen als Sicherheitsbeauftragter behandeln. Zum besseren Verständnis möchte ich vorerst die Organisation, der ich angehöre, kurz vorstellen: Beim Starkstrominspektorat handelt es sich um eine Institution des privatwirtschaftlich organisierten Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV), der aber auf Grund eines Vertrages und Beschlüssen des schweizerischen Bundesrates amtliche Funktionen übertragen wurden. Beispielsweise kann es rechtsgültige Weisungen erlassen und Genehmigungen erteilen. Trotz diesen wohl einzigartigen Befugnissen einer Privatstelle hat das Starkstrominspektorat seinen ursprünglichen Charakter bewahrt, indem es durch regelmässige persönliche Kontakte mit Konstrukteuren, Betriebsleuten und Elektrikern auf der Basis der Beratung und Anlageüberprüfung das Unfallgeschehen zu vermeiden sucht. Es lässt sich von der Überzeugung leiten, dass gegenseitige Achtung und Vertrauen die Voraussetzung für eine wirksame Unfallverhütung bilden.

2. Grundsätzliche Sicherheitsbedingungen

Die sicherheitstechnischen Anforderungen an eine Schaltanlage hängen wesentlich von der *Art der Betriebsführung und dem Ausbildungsniveau* des für Betriebs- und Revisionsarbeiten zur Verfügung stehenden Personals ab. Während beim Einsatz instruierter Laien eine möglichst lückenlose Abdeckung unter Spannung stehender Teile als notwendig erscheint, darf man wohl bei Personal mit einer elektrotechnischen Grundschulung voraussetzen, dass es sich im Bereiche zugänglicher Anlageteile fachgerecht verhält. Die *Art und Organisation der Betriebe*, die die Anlagen betreiben, spielt ebenfalls eine wichtige Rolle. Hierbei bestehen in der Schweiz besondere Verhältnisse, weshalb meine Ausführungen etwas aus dieser Sicht zu betrachten sind. Es gibt nämlich in der Schweiz etwa 1200 Elektrizitäts-Versorgungsunternehmen (EVU), darunter einige grosse Überlandelektrizitätswerke sowie verschiedene Stadt- und Gemeindebetriebe mit

elektrotechnisch gut ausgebildetem Personal, die rund vier Fünftel der Schweiz mit Elektrizität versorgen. Der zahlenmässig grössere Teil der EVU steht aber unter der Leitung von Nichtfachleuten. Schaltungen oder das Auswechseln von Schmelzsicherungen werden von instruierten Laien oder bestenfalls vom Dorfelektriker vorgenommen. Unterhalts- und Erneuerungsarbeiten führen beauftragte elektrotechnische Unternehmen aus. Ähnliche Verhältnisse bestehen bei Fabrikbetrieben mit eigenen Schalt- und Transformatorenstationen, indem die grossen gutgeschultes Fachpersonal, die mittleren einen Fabrikelektriker und die kleineren einen Mechaniker oder auch geschickten Hilfsarbeiter für die Schalt- und Unterhaltsarbeiten einsetzen. Die Aufsicht über die Einhaltung der Sicherheitsbestimmungen, aber auch die Abklärung von Unfällen und Schadenfällen steht dem Starkstrominspektorat zu.

Es sollten somit zweierlei Schaltanlagen gebaut werden, solche für Betriebe mit und solche für Betriebe ohne Fachpersonal. Nun ist es allerdings so, dass dort, wo kein Fachpersonal zur Verfügung steht, nur kleinere Schalt- und Transformatorenstationen mit schematisch einfachem Aufbau vorkommen. Ferner hat die Erfahrung gezeigt, dass sich nicht selten auch die Fachleute vergessen und sich im Bereiche eingeschalteter Anlagen in ganz unverständlicher Weise verhalten.

3. Berührungsschutz für die Kontrolle und die Bedienung der Anlagen

Nach den vorstehenden Bemerkungen wären die sogenannten Ortstransformatorenstationen und die Schalt- und Transformatorenstationen der kleineren und mittleren Fabrikbetriebe ganz allgemein in der gekapselten Ausführung zu erstellen. In grossen Schaltanlagen wären hingegen bezüglich des Berührungsschutzes gewisse Konzessionen zulässig. Interessanterweise führt sich nun aber gerade in der Schweiz die gekapselte Ausführung nur sehr langsam ein. Über Jahre herrschten die handwerklich hergestellten offenen Anlagen vor. Es reihten sich einfach Schaltzelle an Schaltzelle, die gegen den Bedienungsgang hin durch zwei übereinander an-

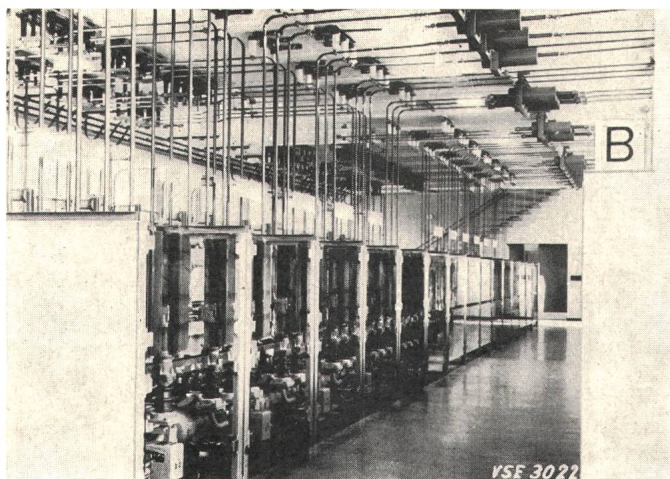


Fig. 1
Schaltanlage mit Berührungsschutz aus Sekurit-Glas
vor den unter Hochspannung stehenden Teilen

geordnete Latten abgetrennt waren. In solchen Anlagen ereigneten sich denn auch jährlich einige zum Teil schwere Unfälle durch unbedachte Bewegungen in Richtung der unter Hochspannung stehenden Teile. Mit Rücksicht auf die Vielzahl der Unternehmungen erschien jedoch jeder einzelnen Unternehmung die Zahl der Unfälle gering. Dies mag der Grund dafür sein, dass ein besserer Berührungsschutz lange Zeit unterblieb. Mit Beginn der sechziger Jahre haben nun aber die grossen Unternehmungen doch wesentliche Verbesserungen vorgenommen. Zum Teil verliess man zwar die Zellenbauweise, das heisst, man verzichtete auf Trennwände zwischen den einzelnen Leitungsfeldern, brachte hingegen gegen die Bedienungs- und Kontrollgänge hin engmaschige Gitter oder feste Abdeckungen von etwa 1,8...2 m Höhe an. Nun zeigten sich bereits wieder Nachteile: Zur Vornahme von Kontrollen waren die Felder zu öffnen, Gitter und Trennwände hatten also nur beschränkten Wert. Ausserdem wurde die Übersicht beeinträchtigt. Es wurden deshalb mehr und mehr durchsichtige Abdeckplatten aus Sekurit-Glas angebracht (Bild 1). Beim Auftreten von Flammbögen ist zwar mit dem Bersten der Gläser zu rechnen, doch zerfallen sie in splitterfreie Teile, die nicht zum Brennen und Qualmen kommen, und bieten vor dem Zerfall einen weitgehenden Schutz gegen Ultraviolettstrahlen.

Aber selbst bei Glasplatten besteht gelegentlich das Bedürfnis, die Anlagen zugänglich zu machen. Man hat deshalb die Schutzplatten mit Scharnieren versehen, so dass sie sich wie Fenster ausschwenken lassen. Solche Lösungen haben sich als gefährlich erwiesen, indem Kontrollbeamte, die an den aktiven Anlagenteilen etwas Abnormales, einen Faden, eine gefallene Relaisanzeigeklappe oder auch nur etwas Staub, feststellten, kurzerhand ein Fenster öffneten und unbedacht gegen die unter Hochspannung stehenden Teile griffen. Hat der Kontrollbeamte hingegen einen Verschluss zu lösen, benötigt er also etwas Zeit für seine Handlung, so kommt er eher zur Besinnung, dass er sich in eine gefährliche Lage begibt.

Zur Bedienung einzelner Geräte und Einrichtungen ist das Kontrollpersonal unter Umständen ebenfalls gezwungen, Schutztüren oder -gitter zu öffnen. Man muss sich im klaren sein, dass es sich nun auf die Bedienung konzentrieren muss

und nicht gleichzeitig auf die lauenden Gefahren achten kann. Die Türkonstruktion muss deshalb so sein, dass sich der Bedienende nicht in gefährliche Nähe unter Spannung stehender Teile begeben kann (Beispiel Bild 2).

In besonderem Masse gefährdet ist das Betriebspersonal bei Netzstörungen, und zwar vor allem aus den beiden folgenden Gründen:

1. Die Störungen treten äusserst selten auf, weshalb für Störungsbehebungen die Übung fehlt.

2. Die Störung muss innert kürzester Zeit behoben sein, weshalb eine nervöse Stimmung aufkommt.

Es ist schon verschiedenenorts vorgeschlagen worden, ähnlich wie im Flugwesen, Simulatoren einzurichten, um das Betriebspersonal fit zu halten. Diese Idee stösst aber auf Schwierigkeiten, weil Anordnung und Wirkungsweise der Kontrollinstrumente und Befehlsapparate nicht nur von Fabrikat zu Fabrikat unterschiedlich sind, sondern auch beim gleichen Fabrikat in kurzen Zeitabständen wieder grundlegend ändern. In einem bestimmten Betriebsabschnitt gibt es deshalb kaum zwei gleichartige, ja nicht einmal gleich aussehende Schaltanlagen. Hier könnte der Anlagehersteller wesentlich zur Sicherheit beitragen, indem er wenigstens über einige Jahre hinweg oder für den gleichen Besteller das äusserliche Aussehen der Bedienungsstellen gleich lassen würde.

Bei einer ausserhalb der Anlage befindlichen Störung treten oft noch innere Störungen auf, indem beispielsweise ein ausgeschalteter Schalter nicht mehr eingeschaltet werden kann, Steuerstromsicherungen ansprechen, Verriegelungen blockieren usw. Der Betriebsmann konzentriert sich nun auf die Störungsursache und vergisst dabei die Gefahr. Schon mancher tüchtige Berufsmann hat in solchen Situationen auf unter Spannung stehende Teile gegriffen, aber auch Fehlschaltungen ausgeführt. Als beispielsweise eine Fernsteue-



Fig. 2
Zweitelliger Berührungsschutz aus Sekurit-Glas

Bei der Bedienung der Hochspannungssicherungen wird eine Berührung der in der unteren Zellenhälfte befindlichen Anlagenteile verunmöglichlicht

rung nicht mehr funktionierte, begab sich ein Schaltwärter zur Schalterzelle, um an Ort und Stelle das Schaltmanöver auszuführen. Er betätigte dort einen gut sichtbar, neben einer Schalterzelle angeordneten Ausschaltknopf. Es handelte sich um die Trennerbetätigung, so dass er einen Trenner unter Last öffnete. Die Folgen dieser Fehlschaltung waren katastrophal: Drei nebeneinanderliegende Schaltfelder total zerstört, schwerste Oberflächenverbrennungen am ganzen Körper des Schaltwärters. Der Knopf zur örtlichen Auslösung des Schalters befand sich ganz versteckt unter einer Blechverschalung des Schalters. Was sich wohl der Konstrukteur überlegte, als er am Schalter die Betätigungsknöpfe disponierte?

Natürlich hätte sich der Unfall durch eine geeignete Verriegelung zwischen Schalter und Trenner vermeiden lassen. Man muss sich jedoch im klaren sein, dass systematische Verriegelungen in grösseren Schaltanlagen zu einem riesigen Aufwand an Steuerleitungen und Hilfsapparaturen führen und erst noch örtliche mechanische Verriegelungen notwendig machen, die nicht frei von Störungen sind. Es wäre schon sehr viel an Sicherheit gewonnen, wenn sich die Konstrukteure bei ihrer Arbeit gelegentlich in die Lage des Schaltwärters versetzen und etwas weniger Gedankengut an sogenannte schöne Anlagen verschwenden würden.

Weit wichtiger als schöne Ausführungen scheint mir zu sein, dass die Anlagen klar und übersichtlich aufgebaut sind, so dass man sich rasch orientieren kann. Leider wird unter Hinweis auf Raumeinsparung oft von diesem Grundprinzip abgewichen, indem auf kleinstem Raum 3...4 Schalter über- und hintereinander in verschiedenen Lagen montiert sind. Dazu kommen noch Überspannungsableiter, Schmelzsicherungen, Strom- und Spannungswandler. Besonders schlimm sind Querverbindungen, um die ausgefallensten Betriebsbedingungen beherrschen zu können. Solche Anordnungen sind gefährlich. Nach meinen Erfahrungen bilden nämlich Versehen und Täuschungen die Hauptursache von Unfällen in Schaltanlagen.

4. Arbeiten an Schaltanlagen

Nun besteht aber nicht nur ein Sicherheitsbedürfnis bei Kontrollgängen und anderen betrieblichen Verrichtungen. Im Vordergrund steht vielmehr das Arbeiten in den Anlagen. Soll an einer Hochspannungsanlage gearbeitet werden, so ist diese vorher auszuschalten, zu erden und kurzzuschliessen. Damit gefahrlos geerdet werden kann, muss eine Anlage sicher spannungslos sein. Obschon hierzu in der Schweiz fast überall Spannungsprüfer zur Verfügung stehen, legt man immer noch Wert auf die *Schaffung sogenannter sichtbarer Trennstellen*. Es müssen also Trenner in die Leitungsabgänge von Sammelschienen und vor wichtigen Anlageteilen eingebaut oder ausfahrbare Schalter verwendet werden. Dieses Grundprinzip gilt nach wie vor auch in vollisolierten und ferngesteuerten Anlagen, denn die Trennstrecke soll ja auch die Unterspannungsetzung einer ausgeschalteten Anlage durch einen Schalterdurchbruch vermeiden. Nach den schweizerischen Regeln für die Koordination der Isolation in Hochspannungsanlagen kann eine offene Trennstrecke nie durchschlagen. Beim Einlaufen einer Überspannungswelle erfolgt der Überschlag vielmehr gegen Erde. Hingegen ist ein Überschlag über die offene Schalterstrecke möglich.

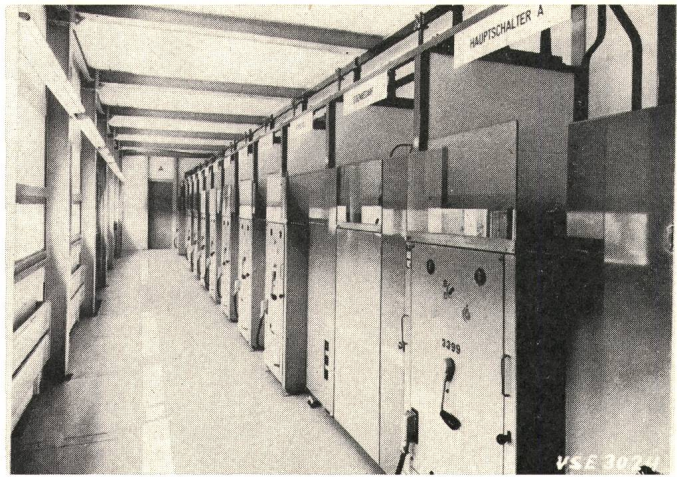


Fig. 3
16-kV-Schaltanlage mit ausfahrbaren Leistungsschaltern
Einzelne Schalter befinden sich in Trennstellung

Überspannungsableiter und Spannungswandler dürfen neuerdings ohne Trenner an Sammelschienen angeschlossen werden, weil die modernen Konstruktionen nur noch selten zu Störungen Anlass geben.

Durch die Verwendung ausfahrbarer Schalter (Bild 3) entfallen Trenner. Es ergibt sich ein wesentlich einfacherer Aufbau. Ausserdem lassen sich Schalt- und Trennstellung so miteinander verriegeln, dass der Schalter nur in ausgeschaltetem Zustand ausgefahren werden kann. Flammbogenunfälle durch Öffnen belasteter Trenner sind somit unmöglich. Bei dieser Gelegenheit sei an den *Hauptzweck des Erdens und Kurzschliessens* der Anlagen vor Arbeiten erinnert, nämlich Vermeidung von Potentialdifferenzen am Aufenthaltsort der Arbeitenden bei irrtümlicher Einschaltung der Zuleitung zur Arbeitsstelle. Die Erdung muss somit spannungssteuernd ausgelegt, und die Metallteile, die auf Nullpotential liegen sollen, müssen untereinander und mit der Erdung einwandfrei und vielfach verbunden sein. Mit dem Erden sind noch einige Nebenzwecke verbunden, und zwar vor allem die Absenkung von Spannungen, die durch kapazitive oder induktive Kopplung benachbarter, im Betrieb gebliebener Felder oder parallellaufender Leitungen entstehen können, ferner die Entladung von Kabelleitungen nach dem Ausschalten.

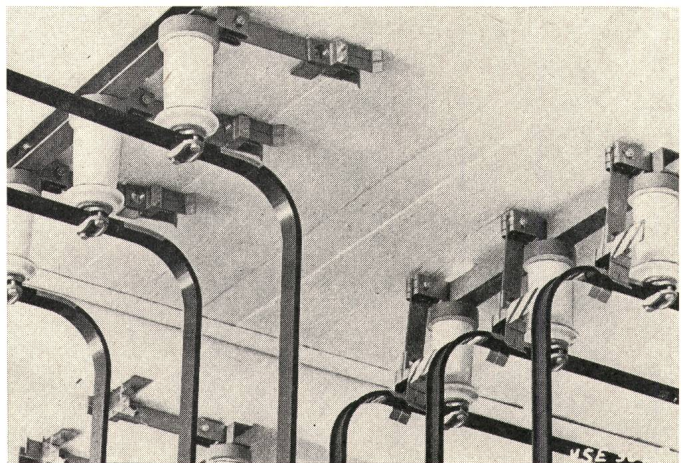


Fig. 4
Festeingebaute, handbediente Erdungstrenner in 16-kV-Anlage
Links offen, rechts geschlossen

Vielorts werden Erdungsvorrichtungen fest in die Anlagen eingebaut (Bild 4). Hierbei ist ein beträchtlicher Aufwand nötig, denn es müssen zwischen jeder Schaltstelle Erdungsvorrichtungen vorgesehen werden. Eine Beschränkung der Erdungsvorrichtungen auf wichtige Stellen wie Sammelschienen oder Knotenpunkte lehne ich ab, denn bei Arbeiten wird leicht übersehen, dass einzelne herausgetrennte Leitungsstücke innerhalb des Arbeitsbereiches noch zusätzlich zu erden wären. Eine Ausnahme von dieser Regel bilden jene Anlagen, in denen systematisch nur jedem Leitungsabgang eine Erdungsvorrichtung zugeordnet ist. Hier dient ja die Vorrichtung nur der Erdung der abgehenden Leitung. Wo auch überall Erdungsvorrichtungen eingebaut sind, müssen sie kurzschlussfest sein, das heisst den Kurzschlußstrom bis zur Ausschaltung ohne zu unterbrechen ertragen. Es gibt allerdings auch Elektrizitätswerke, die die Erdungsvorrichtungen nur für die erwähnten Nebenzwecke dimensionieren. In solchen Fällen ist unbedingt beidseits der Arbeitsstelle eine mobile, für den Kurzschlußstrom am Verwendungsort bemessene Erdungsvorrichtung anzubringen.

Bei Arbeiten an spannungslosen Anlageteilen müssen Vorkehrungen getroffen werden, um zu verhindern, dass benachbarte, unter Spannung stehende Anlageteile die Arbeitenden gefährden. In Anlagen mit Betriebsspannungen bis etwa 30 kV lässt sich diese Forderung durch feste oder mobile Trennwände relativ leicht erfüllen (Bilder 5 und 6). Allerdings wird oft vergessen, auch die gegen den Bedienungsgang hin gerichtete Seite eingeschalteter Felder abzudecken. Da ja die Arbeitenden gelegentlich die Arbeitsstelle verlassen, besteht bei ihrer Rückkehr Gefahr, dass sie sich dem falschen Feld zuwenden.

Im mittleren Hochspannungsbereich besteht in den offenen Anlagen bereits etwelche Schwierigkeit, Trennwände anzubringen, und im Höchstspannungsbereich sind Trennwände undenkbar. Es besteht in diesen Bereichen nur noch die Möglichkeit, die Gefahrenzonen in auffälliger Weise abzugrenzen und abzusperren. Eine einwandfreie Lösung des angeschnittenen Problems ermöglichen eigentlich nur die vollgekapselten Anlagen, die heute in allen Spannungsberei-

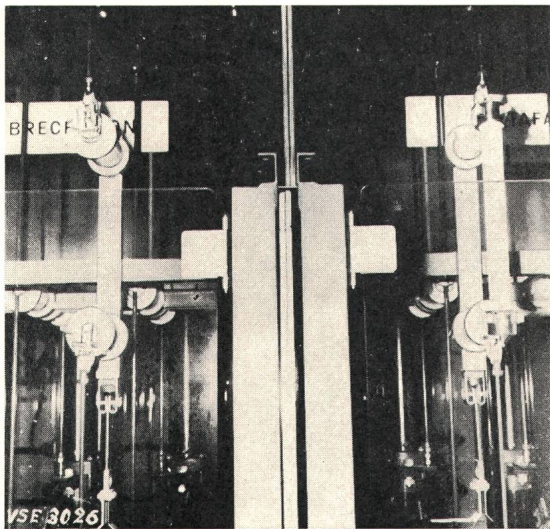


Fig. 5
Trennstelle zwischen 2 Hochspannungsfeldern mit eingeschobenen Berührungsschutzplatten



Fig. 6
Arbeit in einem mit mobilen Schutzwänden abgetrennten 16-kV-Feld

chen erhältlich sind, aber mit Rücksicht auf die hohen Kosten noch nicht zur Standardbauart gehören.

Im übrigen werfen gerade die *gekapselten Anlagen neue sicherheitstechnische Probleme* auf. Vorab im unteren Hochspannungsbereich ist man zur Verringerung der Abmessungen bestrebt, ganze Schaltanlagen als geschlossene Einheit zu erstellen. Um an solchen Stationen gefahrlos arbeiten zu können, müssten sämtliche Zuleitungen in den Nachbarstationen ausgeschaltet, abgetrennt und geerdet werden. Das Ausschalten, Sichern und nach der Arbeit das Wiedereinschalten erfordern vielfach einen beträchtlichen Zeitaufwand. Da nun aber ständig höhere Ansprüche an eine unterbrochslose Energieversorgung gestellt werden, ist das Betriebspersonal vermehrt versucht, gewagte Arbeiten im eingeschalteten Zustand vorzunehmen. Besonders gefährlich sind diesbezüglich jene Anlagen, die noch gewisse freie, für die Anbringung von Abdeckungen aber doch ungenügend bemessene Zwischenräume enthalten. Es fehlen hier die erforderlichen Führungen oder Befestigungseinrichtungen für Schutzplatten, weshalb sich die behelfsmässigen Einrichtungen während der Arbeit leicht verschieben oder direkt an unter Hochspannung stehende Teile angedrückt werden können. Die Gefahr einer direkten Berührung unter Spannung stehender Teile oder der Durch- beziehungsweise Überschlag der Schutzmittel ist also gross.

In diesem Zusammenhang sei auf eine neuartige, von G. Irresberger, Oberösterreichische Kraftwerke, Linz, beschriebene, aus rasterartig angeordneten Kunststoffstegen und einer lichtdurchlässigen Überdeckung bestehende Abdeckung hingewiesen¹⁾. Nebst der hohen Spannungsfestigkeit besteht die neue Einrichtung vor allem durch ihr geringes Gewicht, so dass sie fast an jedem beliebigen Ort eingefügt werden kann. Da sich auf einfache Weise Führungsrol-

¹⁾ Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, Jahrgang 1972, Nr. 12, S. 665...669.

len anbringen lassen, kann man sie auch sehr leicht ein- und ausfahren.

Es ist gerechterweise festzustellen, dass dank der zunehmenden Vervollkommnung des Materials und der betrieblichen Schutzmittel Reparaturarbeiten an den Schaltanlagen je länger desto seltener werden. Hingegen werden immer wieder Erweiterungs- und Verstärkungsarbeiten an den in die Anlagen eingeführten Leitungen nötig sein. Auch die Wandler müssen gelegentlich ausgewechselt werden. Um die Betriebsinhaber vor Überraschungen zu bewahren, bezeichnet neuerdings das Stärkstrominspektorat bei der Projektgenehmigung diejenigen Anlagen, bei denen Arbeiten nur durch Ausschaltung aller Zuleitungen möglich sind.

5. Der Einfluss des schemamässigen Aufbaues eines Netzes auf die Sicherheit bei Arbeiten

Bei der Anordnung von Schutzmassnahmen wird dem schemamässigen Aufbau des Netzes oft zu wenig Rechnung getragen. Die Schemata I und II (Bilder 7 und 8) vermitteln einen Überblick über die beiden wichtigsten Arten des Netzaufbaues im Mittelspannungsbereich, wobei das Schema I eher für großstädtische und das Schema II eher für mittelstädtische Verhältnisse gilt. Mit zunehmender Dichte der Stationen pro Flächeneinheit wird das Einschlaufen der Leitungen in jede Station gemäss Schema II mehr und mehr sinnlos. Es zeichnen sich deshalb verschiedene vereinfachte Lösungen ab. Diese Entwicklung ergibt sich aus den Detailschemata 1...3 (Bilder 9...11). In der Schweiz sind bereits weitergehende Bestrebungen zur Vereinfachung im Gange, indem entsprechend dem Grundschemata I bei den einzelnen Verteilstationen auf einen Überlast- und Kurzschlußschutz verzichtet und den Stationen nur noch ein Lastschalter vorgeschaltet werden soll. Hierbei ergibt sich die Möglichkeit, die Schalteinrichtung und den Transformator zu einer Einheit zusammenzubauen und steckbar wie ein Hausinstallationsgerät an die Hochspannungsleitung anzuschliessen. Bei allen aufgezeichneten Lösungen besteht Rückspannungsfahrer bei einseitiger Ausschaltung einer Anlage. Schon heute ist jedoch die Vermaschung der Netze so stark verbreitet, oder es kommen Notstromgruppen zum Einsatz, dass sich das Montage-

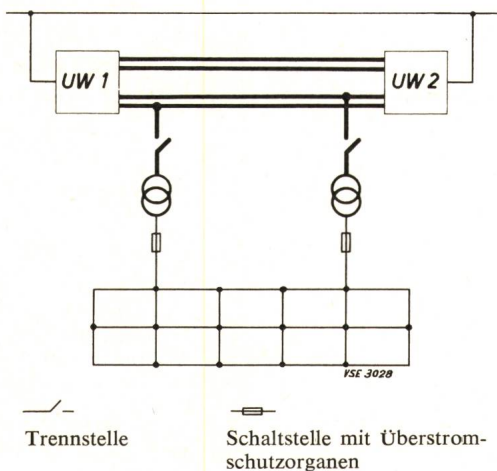


Fig. 7
Prinzipisches Schema einer Elektrizitätsversorgung
Schema I (UW = Unterwerk)

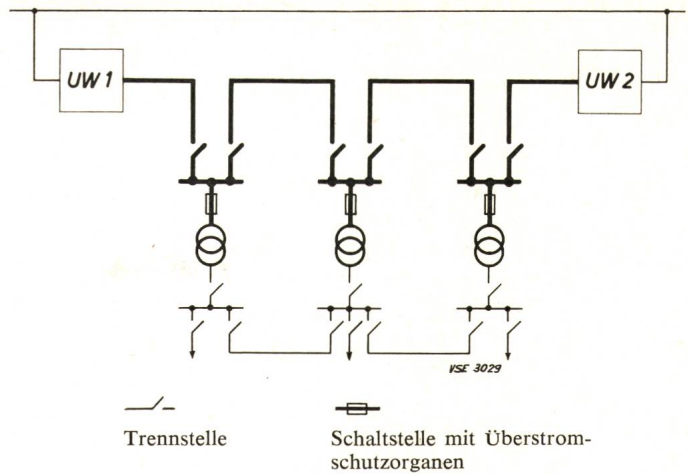


Fig. 8
Prinzipisches Schema einer Elektrizitätsversorgung
Schema II

personal allmählich daran gewöhnen muss, die Anlagen bei Arbeiten allseitig auszuschalten. Bei kompakten und steckbaren Schalt- und Transformatoreinheiten wird es indessen schwierig oder gar unmöglich sein, die Spannungslosigkeit der Anlage zu prüfen. Nun ist aber zu erwähnen, dass bei Arbeiten an einer bestehenden Kabelleitung die gleichen Schwierigkeiten bestehen. Man darf also nicht ohne weiteres von einer neuen oder zusätzlichen Gefahrenquelle sprechen.

6. Sicherung gegen irrtümliche Wiedereinschaltung der für Arbeiten ausgeschalteten Anlagen

In vermaschten Netzen und vor allem in Netzen, wo an den Anlagen nur bei Abtrennung aller zugeführten Leitungen ausgeführt werden können, gewinnt die Sicherung gegen irrtümliche Wiedereinschaltung mehr und mehr an Bedeutung. Man bedenke, dass im vorerwähnten Falle unter Umständen unbedacht Betriebe von einer Ausschaltung betroffen werden, die auf eine kontinuierliche Stromversorgung angewiesen sind. Auf Reklamationen hin müssen unter Umständen während der Arbeiten Umschaltungen vorgenommen werden. Da die Schaltstellen oft weit auseinanderliegen, kann der Arbeitsleiter die Umschaltungen meist nicht selbst vornehmen. In einer solchen Situation besteht die Gefahr einer irrtümlichen Unterspannungsetzung der Arbeitsstelle durch einen Zweitbeauftragten.

Es ist deshalb notwendig, an den ausgeschalteten Schaltern nicht nur Aufschriften, die das Wiedereinschalten verbieten, anzubringen, sondern die Schalter abzuschliessen. Den einzigen zur Verfügung stehenden Schlüssel soll der Arbeitsleiter auf sich tragen. Können von einer Schaltstelle aus verschiedene voneinander unabhängige Arbeitsstellen beeinflusst werden, so muss für jeden der beteiligten Arbeitsleiter ein Schloss mit separatem Schlüssel zur Verfügung stehen.

Vielorts bleiben einzelne Schalter betriebsmässig ausgeschaltet, weil sie als Trennstelle in einem Ringnetz oder bei einer Notanschlußstelle dienen. Solche Schalter dürfen nicht abgeschlossen und mit Aufschriften «Nicht einschalten, man arbeitet» versehen werden, es sei denn, im Zuge der Leitung, dem sie dienen, werde tatsächlich gearbeitet. Schutzmassnahmen dürfen unter keinen Umständen ihrem Zweck entfremdet werden.

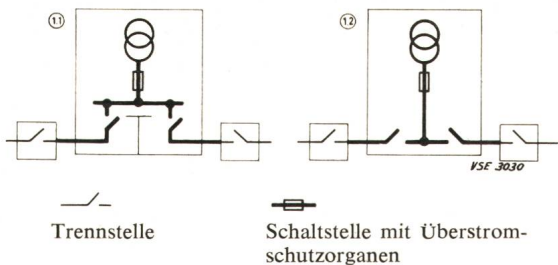


Fig. 9

Station mit doppelseitiger Einspeisung (Nachbarstationen angedeutet)

Variante 1.1.: Konventionelle Bauart mit festen Trennwänden zwischen den Leitungsfeldern

Variante 1.2.: Sammelschiene zu Knotenpunkt reduziert
Alle Leitungsfelder im gleichen Raum

7. Grossanlagen im Höchstspannungsbereich

Die bisherigen Ausführungen galten eher dem mittleren und unteren Bereich der Hochspannung. Im Höchstspannungsbereich, in dem die Schaltanlagen ja meist in der Freiluftausführung erstellt werden, kommen zusätzliche und zum Teil andere Schutzmassnahmen zur Anwendung als in geschlossenen Anlagen. Eine vollständige Abschaltung solcher, ganze Regionen speisender Anlagen kommt kaum in Frage, so dass wohl immer in der Nachbarschaft unter Spannung verbliebener Anlagenteile gearbeitet werden muss. In den weiträumigen Anlagen kommen oft auch Fahrzeuge zum Einsatz, die ein gewisses Profil nie verlassen dürfen. Die einzelnen Anlagenteile werden wohl immer von einer Schaltwarte oder sogar von einer weit entfernten Betriebsstelle aus gesteuert. Neuerdings kommen auch Prozessrechner zum Einsatz, die Schaltvorgänge samt dem Erden und Kurzschliessen der Anlagen automatisch ausführen. Die einwandfreie Abschaltung und Sicherung gegen Wiedereinschaltung hat hier zentrale Bedeutung.

Im Rahmen dieses Vortrages ist es nicht möglich, auch die Sicherheitsprobleme solcher Anlagen zu behandeln. Es soll lediglich auf eine Studie über den Einfluss der Sicherheitsanforderungen auf die Konstruktion einer Anlage hingewiesen

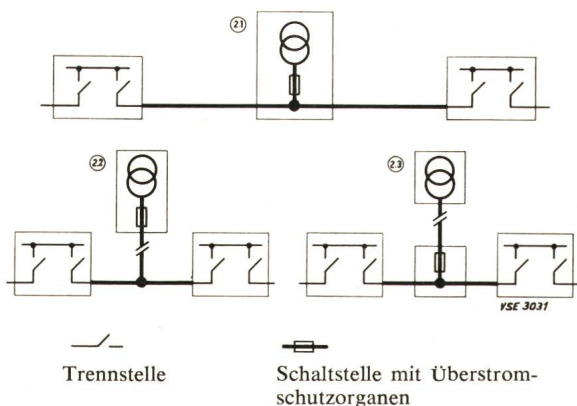


Fig. 10

Station im Abzweig einer Speiseleitung (Nachbarstationen gemäss Fig. 9)

Variante 2.1.: Speisekabel in Station eingeführt
Nur Zuleitung zu Transformator ist abtrennbar

Variante 2.2.: Station von Speisekabel entfernt
Keine Trennmöglichkeit an der Abzweigstelle

Variante 2.3.: Station von Speisekabel entfernt
Trennmöglichkeit an der Abzweigstelle

werden, die die CIGRE²⁾, internationale Konferenz für Hochspannungssysteme, ausarbeiten liess und in ihrem Publikationsorgan «Electra», Jahrgang 1971, Nr. 19, veröffentlicht hat.

8. Niederspannungsanlagen

Leider lässt sich nur allzuoft feststellen, dass die Niederspannungsanlagen in sicherheitstechnischer Beziehung als Stiefkinder behandelt werden. Wohl verharmlost der Elektrofachmann die Niederspannung nur allzusehr und nimmt ohne oder mit ungenügenden Schutzvorkehrungen Arbeiten vor, die ihm eines Tages zum Verhängnis werden. Meist haben die Verteilanlagen das Ihre zu solchen Vorfällen beigetragen. Wiederum im Bestreben, Raum einzusparen, werden die einzelnen Anlagenteile so ineinander verschachtelt, dass eine Arbeit im eingeschalteten Zustand kaum mehr möglich ist. Eine Ausschaltung kommt aber vielfach ebenso wenig in Frage wie in der Hochspannungsanlage. Reparatur- und Ergänzungsarbeiten kommen hingegen viel häufiger vor,

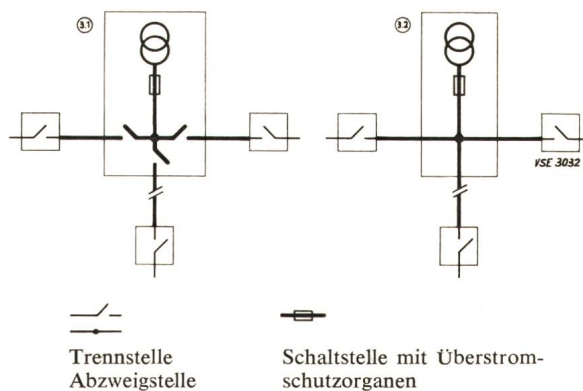


Fig. 11

Station mit verschiedenen Zuleitungen

Variante 3.1.: Jede Zuleitung abtrennbar

Variante 3.2.: Zuleitungen nur in Nachbarstationen abtrennbar

als man wahrhaben will. Vor allem ist es immer wieder nötig, zusätzliche Leitungen anzuschliessen oder bestehende Leitungen zu verstärken. Die Anschlußstellen sollten deshalb gefahrlos zugänglich und so ausgebildet sein, dass beim Anschliessen keine unter Spannung stehenden Teile berührt werden. «Gesündigt» wird vor allem oft in blechgekapselten Anlagen, indem in einer Nische auf der Rückwand an den beiden Seitenwänden und erst noch in der Türe Apparate mit offenen Klemmen angeordnet werden. Ich konnte gar schon offene Hochleistungssicherungen in dieser Anordnung feststellen, deren Schmelzeinsätze kaum ohne Berührung der Nachbarbestandteile ersetzt werden können. Einwände des Konstrukteurs, wie etwa: «Der Fachmann weiss, was er tut», sind nicht stichhaltig, denn auch der Fachmann kann sich nur entweder auf die Arbeit oder auf die Umgebung seiner Arbeitsstelle, aber nicht auf beides konzentrieren.

Missachtet werden vielfach auch die möglichen Kurzschlussströme, weil ohne Rücksicht auf den Einbauort Normverteilungen ab Lager aufgestellt werden. Es fehlt die nötige Unterteilung der Sammelschiene dort, wo sie nötig wäre. Dünne Steuerstromdrähte werden an einer günstigen

²⁾ CIGRE: Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques.

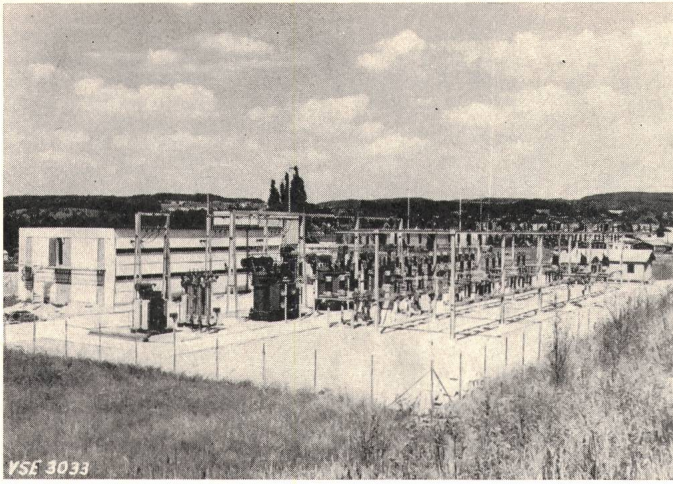


Fig. 12
50/16-kV-Unterstation
 50-kV-Anlage in Freiluftausführung,
 15-kV-Anlage in Innenraumausführung

Stelle der Sammelschiene angeschlossen und ungesichert über grosse Strecken durch scharfkantige Schlitzlöcher über die verschiedensten Konstruktionsteile geführt. Ein etwas ungewohnter Druck oder Zug auf solche Leiter bei Ergänzungsarbeiten genügt, um einen Erdschluss mit unabsehbaren Folgen einzuleiten. Man kann auch horizontal über Augenhöhe liegende Blechtafeln feststellen, die als Leitungsträger dienen, die aber in gewissen Abständen mit Öffnungen für allfällig von unten kommende Leitungen versehen sind. Solche unbenutzten Öffnungen sind unbedingt zu schliessen, denn früher oder später fällt einem Monteur ein auf das Tafel abgelegtes Werkzeug durch die Öffnung in die Verteilung hinunter, wo ein Kurzschluss fast unvermeidlich ist. Solche Kurzschlüsse mit Flammbögen sind nicht nur wegen der Sachbeschädigung, sondern wegen der Gefahr von Oberflächenverbrennungen und der Entzündung von Kleidungsstücken der beteiligten Monteure zu fürchten.

9. Zusammenfassung und Schlussbemerkung

Zusammenfassend seien nochmals die sicherheitstechnischen Hauptbedingungen für Schaltanlagen aufgeführt:

1. Ausreichender Berührungsschutz gegen unter Spannung stehende Teile für das Kontroll- und Betriebspersonal. Als selbstverständlich wird vorausgesetzt, dass blanke, unter Spannung stehende Teile einem nichtinstruierten Laien ohne Anwendung von Gewalt nicht zugänglich sein dürfen.

2. Übersichtliche Anordnung der einzelnen Anlageteile mit der Möglichkeit, den Leitungsverlauf auf einfache Weise verfolgen zu können. Abzweige in den einzelnen Schalterfeldern und Umwegverbindungen sollen vermieden werden.

Alle Abzweige haben von den Sammelschienen aus zu erfolgen.

3. Einbau von Trennern bei den Sammelschienen-Abzweigen und vor wichtigen Anlageteilen, um bei Arbeiten sichtbare Trennstellen schaffen zu können.

4. Einbau von Führungsschienen so, dass eine Arbeitsstelle einwandfrei gegen benachbarte, unter Spannung verbliebene Teile abgetrennt werden kann. Das bloss Anlehnen von Isolierplatten an unter Spannung stehende Teile (beispielsweise in die offene Trennstrecke von Trennern) ist nicht zulässig. Kleinanlagen, an denen sich im eingeschalteten Zustand keinerlei Arbeiten ausführen lassen, müssen auf einfache, sichere Weise vom Netz abgetrennt werden können.

5. Erdungseinrichtungen müssen kurzschlussfest sein. Sie dürfen also bei irrtümlicher Zuschaltung auf eine geerdete Anlage weder unterbrechen noch schmelzen.

6. Schaffung einer Abschlussmöglichkeit von Schaltern im Haupt- und Steuerstromkreis zur Sicherung gegen Wiedereinschaltung bei Arbeiten in der Anlage und auf den abgehenden Leitungen.

7. Klare, eindeutige Beschriftungen an den Schalt- und Trennstellen und anderen wichtigen Anlageteilen.

Es liesse sich noch eine Reihe weiterer Forderungen aufzählen, wie ausreichende Beleuchtung, genügende Abstände von Gebäudeteilen, richtige Anordnung der Fluchtwege usw. Vieles ist in den in allen Ländern vorhandenen Vorschriften eindeutig geregelt, anderes nur angedeutet. Wichtig ist jedoch, dass die Vorschriften auch beachtet und richtig interpretiert werden. Kontrollen durch zuverlässige und gutausgebildete Sicherheitsbeauftragte erscheinen mir deshalb unerlässlich. Aber trotz Kontrollen kommen immer wieder fehlerhafte Anlagen in Betrieb. Die Schuld an unbefriedigenden Ausführungen trägt nicht immer der Konstrukteur oder Hersteller. Vielfach macht sich der Besteller oder Betriebsmann mitschuldig, indem er noch in einem Spätzustand neue Bedingungen aufstellt oder die Hersteller gegeneinander ausspielt, etwa so: «Wenn Sie es nicht können, so kann es ein anderer.» Es ist sicher nützlich, hat sich aber auch nicht immer als einwandfrei erwiesen, wenn Konstrukteur und Sicherheitsbeauftragter schon im Projektstadium zusammenarbeiten. Schon oft wurden Schutzvorrichtungen angebracht, die vom Betriebsmann kurzerhand wieder entfernt wurden, weil sie den Betrieb störten. Es gibt nur eine Ideallösung, die zum Guten führt: Es müssen von allem Anfang an alle drei, Konstrukteur, Betriebsmann und Sicherheitsbeauftragter, zusammenwirken.

Adresse des Autors:

E. Homberger, Obering. des Eidg. Starkstrominspektorates, 8008 Zürich.