

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 30 (1939)
Heft: 14

Artikel: Schalterfragen. III. Teil. Referate von Vertretern von Elektrizitätswerken
Autor: Leuch, H.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1058366>

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: 24.12.2024

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

d'expropriation est réglé, en mentionnant chaque fois l'article correspondant de la loi sur l'expropriation. Nous signalerons seulement la disposition importante de l'art 81, selon laquelle les modifications des plans qui pourraient intervenir entre les parties au cours de la procédure de conciliation ne deviennent valables que si l'office de contrôle a donné son agrément.

La nouvelle Ordonnance est suivie, comme les anciennes prescriptions, d'un tableau récapitulatif des pièces à présenter pour les installations électriques, avec l'indication des articles correspondants de l'Ordonnance, ainsi que d'une table des matières. Le maître de l'ouvrage peut ainsi se rendre immédiatement compte des pièces nécessaires et du nombre d'exemplaires qui doivent être présentés.

Schalterfragen.

Bericht

über die Diskussionsversammlung des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV) vom 26. November 1938, Kursaal Schänzli in Bern.

Fortsetzung des Berichtes von Nr. 13, S. 343.

III. Teil.

Referate von Vertretern von Elektrizitätswerken.

Schalter und Stadtwerke.

Von H. Leuch, St. Gallen.

621.316.57

Die Berechnungsgrundlagen für die Wahl der Schaltergrösse werden in grossen Zügen dargelegt. Die Eigenschaften der vorkommenden Schalterarten und deren Anwendungsmöglichkeiten werden vom Standpunkt des städtischen Betriebsleiters behandelt. Dann folgen Erfahrungen, die Stadtwerke mit Schaltern gemacht haben, und einige Anregungen, die daraus abgeleitet werden können. Dem Bericht liegt z. T. eine Umfrage zugrunde, die der Autor bei 12 Stadtwerken veranstaltete.

L'auteur expose dans leurs grandes lignes les calculs servant de base au choix de la grandeur des interrupteurs. Du point de vue du chef d'exploitation d'un réseau urbain, il examine les qualités des différents types d'interrupteurs et passe en revue les possibilités d'application. Il cite ensuite les expériences faites par les réseaux urbains et en déduit quelques suggestions. Ce rapport repose en partie sur une enquête que l'auteur a faite auprès de douze centrales urbaines.

Die Ueberschrift gibt nicht nur das Bestehen von Problemen zu erkennen, sondern sie weist auf die eminente Bedeutung hin, welche der Schalter, allgemein betrachtet, in Stadtwerken hat. Ich spreche vom Hochspannungsleistungsschalter, streife nur den Lastschalter und lasse alle anderen Probleme, wie Relais usw., beiseite. Man denke sich einen Augenblick alle Schalter aus den Netzen fort oder nehme an, die Schalterbautechnik sei auf einem weniger hohen Stand, als sie heute tatsächlich ist — dann kann man ermessen, welche Bedeutung dem Schalter in unseren Erzeugungs- und Verteilungsanlagen zukommt. Die Schalter müssen nicht nur arbeiten auf menschlichen oder zeitgebundenen Befehl, sondern sie haben im Schutz der Anlagen die sozusagen letzten Funktionen unter den ungünstigsten Bedingungen zu übernehmen. Nicht vielen anderen Organen wird nach so langen Ruhezeiten plötzlich unter derart schweren Arbeitsbedingungen eine bestimmte Funktion zugemutet.

Die Möglichkeit der Berechnung der Schalterbeanspruchung aus den Netzgrössen ist älter als die Möglichkeit, die Schalter auf das Genügen praktisch zu prüfen. Daraus ergab sich die für die Betriebsinhaber unangenehme Erscheinung, dass älteren Schaltern bei Nachprüfungen durch die Liefer-

firmen in neuerer Zeit gelegentlich niedrigere Abschaltleistungen zuerkannt wurden, als die beim Kauf garantierten Werte. Es sind mir Fälle bekannt, in denen die zuerkannte Abschaltleistung auf einen Drittel der ursprünglichen herabgedrückt wurde. Dadurch werden diese Schalter für den Eigentümer nicht in allen Fällen wertlos, aber man wird ihnen einen andern Aufstellungsort zuweisen müssen, wo sie weniger hoch beansprucht werden. Die Intensivierung der Elektrizitätsverteilung führt bei wenig steigenden Spannungen zu anwachsenden Strömen und Abschaltleistungen. Die Tendenz der Stadtwerke geht deshalb dahin, laufend leistungsfähigere Schalter anzuschaffen und die älteren Typen in die äusseren Teile ihrer Netze zu verschieben. Nicht in jedem Netz ist es möglich, einen passenden Wiederverwendungsort zu finden. Im Beispiel des EW St. Gallen betragen die niedrigsten Abschaltleistungen 84 bis 14 % des in der gleichen Spannung auftretenden Höchstwertes. Die nachträgliche Herabsetzung der zuerkannten Abschaltleistung ist in allen Fällen eine für das Werk sehr unangenehme Erscheinung. Von 10 eindeutigen Antworten lauten 8 auf die Berechnung der Abschaltleistung nach den Richtlinien des SEV aus dem Jahre 1924, wogegen die Schalterprüfung von 3 Werken nach VDE/REH 1929 verlangt wird.

Schalter sind Sicherheitsorgane. In der Berechnung ihrer Beanspruchung in den Netzen tritt eine Reihe von Fragen auf, bei deren Beantwortung das Gefühl mitspricht, weil das zeitliche Zusammentreffen ungünstiger Umstände im voraus mathematisch kaum zu erfassen ist — vielleicht durch die Wahrscheinlichkeitsrechnung, wenn sich dieser Aufwand lohnt. Weil die Netzsicherheit vom zuverlässigen Arbeiten der Schalter im Kurzschluss in hohem Masse abhängt, ist es begreiflich, dass der Netzberechner in Versuchung kommt, das zeitliche Zusammentreffen aller erdenklichen ungünstigen Umstände anzunehmen, die selbst wieder von den vielerlei Betriebszuständen abhängen, und vielleicht wird er noch Sicherheitszuschläge oder Faktoren einführen, die zu seiner Beruhigung dienen sollen. Ich möchte einmal diese verschiedenen Zuschläge beleuchten. In erster Linie ist zu bedenken, dass die vereinfachte SEV-Berechnungsmethode von 1924 Fehler von 5 % in Freileitungsnetzen und von gegen 15 % in Kabelnetzen ergeben kann. Es ist verständlich, dass nicht für jede errechnete Abschaltleistung ein genau angemessener Schalter auf dem Markt erhältlich ist. Die Wahl wird deshalb auf einen erhältlichen Typ höherer Abschaltleistung fallen. Aber nicht immer wird der nächsthöhere Typ gewählt, und dafür hört man die verschiedensten Begründungen unter den Bezeichnungen: Sicherheitszuschlag, Zukunftszuschlag, Auf rundung, Reserve usw. Jeder Rechner wählt diese Grössen nach seinem Gutdünken, bis zu 100 %, wie mir von einem Werk gemeldet wurde. Daneben hat er weiten Spielraum im Mass der Kumulierung ungünstiger Netzumstände. Er kann die Annahme treffen, dass der Anfangs-, nicht der Dauer kurzschlussstrom zu unterbrechen sei, was bei Druckluftschaltern eher begründet ist als bei Oelschaltern. Ausserdem spielen Eigenzeiten und Relaischarakteristiken hierin eine bedeutende Rolle. Glaubt man dann, dass der wirklichen Beanspruchung im Betrieb einigermaßen entsprechende Resultat gefunden zu haben, so stellt sich die weitere Frage nach der Eigenfrequenz der Netze. Von den angefragten Werken konnten hierüber zwei, aber auch diese nur teilweise Angaben machen. Es bleibt der eine Schluss zu ziehen: Weil die Eigenfrequenzen der Netze etwa eine halbe bis zwei Grössenordnungen kleiner sind als die der Prüfeinrichtungen, ist die Fabrikprüfung schärfer als die Beanspruchung im Netz. Damit ist man aber neuerdings über ein Mass der Sicherheit im ungewissen.

Das Einbeziehen von Zuschlägen unter verschiedenen Titeln und die Kumulierung ungünstiger Umstände haben auch eine wirtschaftliche Folge; sie können zur Wahl teurer Schalter führen. Wie stellen sich die Konstruktionsfirmen zu diesen Fragen ein? Sie haben alles Interesse, dass die Schalter die garantierten Werte der Abschaltleistung in den Prüflokalen aushalten. Auch dort werden gewisse Sicherheiten verborgen liegen, und ich vermute stark, dass die Konstrukteure die Bedingungen der Werke an sich schon als reichlich hoch angesetzt beurteilen. Wenn die vielerlei Sicherheitszuschläge hier ausführlich besprochen wurden, so regt dies

vielleicht an zum Nachdenken über die wirtschaftliche Seite und über den Einschluss von Sicherheitsprämien. Was hier ausgeführt wurde über die rechnerischen Grundlagen, soll nicht eine Unsicherheit in den Werken auslösen, sondern sie eher beruhigen.

Auf die Frage nach besonderen Massnahmen zur Begrenzung der Kurzschlußströme in den Netzen haben 7 von 10 Werken gemeldet, dass sie ihre Netze aufgeteilt betreiben, den Parallelbetrieb zu vieler primärer Transformatoren vermeiden oder solche mit Kurzschlußspannungen von mehr als 4,5 % anschaffen. Endlich werden daneben noch Begrenzungs-Drosselspulen angewendet. In den Stadtwerken überwiegt allgemein der Einfluss der Kabelnetze gegenüber Freileitungen. Trotz dieser günstigen Einwirkung werden die direkten Schalter auch mit grosser Phasenverschiebung geprüft, damit sie nötigenfalls an Stellen verwendet werden können, wo ungünstige Bedingungen herrschen.

Ueber den Sinn der mechanisch-elektrischen Eigenzeit der Schalter scheinen die Ansichten der Werksleute weit auseinanderzugehen. Abgesehen von der massgebenden Beeinflussung der Schalterarbeit durch die elektrische Eigenzeit bestehen Wünsche für kurze Eigenzeiten der Schalter, wobei die Netzverhältnisse und die verwendeten Relais-Schutzsysteme eine grundlegende Rolle spielen. Verlangt ein Werk für eine untere Hochspannung nur eine möglichst ausgeglichene Eigenzeit, so gibt es auch Werke, die für Hochspannungsschalter möglichst kurze Eigenzeiten wünschen mit Rücksicht auf die Stabilität der Netze oder zur Vermeidung zu hoher Kabeltemperaturen.

Die Mehrzahl der angefragten Werke wählt einen Schalter für einen gegebenen Aufstellungsort nach seiner Spannung und seinem Strom, bei Schaltern mit Selbstauslösung seiner Abschaltleistung, wobei zwei Werke ausdrücklich den Anfangskurzschlussstrom zugrunde legen. In einzelnen Fällen, z. B. bei Gleichrichtern, wird auch die Einschaltfestigkeit mitberücksichtigt. Neben diesen elektrischen Netzgrössen, unter denen der Abschaltleistung die dominierende Bedeutung zufällt, muss der Betriebsleiter noch andere Ueberlegungen berücksichtigen, wenn er für einen bestimmten Aufstellungsort einen Schalter zu wählen hat. Aufstellung im Freien oder in einem geschlossenen Raum, im zweiten Fall der verfügbare Platz und die Anordnung der Leitungen, schliesslich die Brandgefahr und der allfällige Schalllärm können zu sehr verschiedenen Entscheiden führen. Ich erinnere mich an einen Fall, in dem die Aufstellung von Druckluftschaltern vor etwa 7 Jahren noch nicht in Frage kam, weil sie in ihrer damaligen Form einen so grossen Schalllärm verursachten, dass man glaubte, ihn im Stadttinnern nicht in Kauf nehmen zu können. Diese Ueberlegung hat damals, als sich die zukünftige Entwicklung des Druckluftschalters schon abzeichnete, zur Aufstellung von Wasserschaltern geführt. Grosse Umwälzungen haben sich seither vollzogen. Der Wasserschalter, als dessen Haupt-

vorzug gegenüber dem Oelschalter die Vermeidung brennbarer Stoffe gepriesen wurde, ist inzwischen durch den Luftschalter in den Hintergrund gedrängt worden. Es hat sich aber auch ergeben, dass er mit inneren Schwierigkeiten zu kämpfen hatte, sowohl hinsichtlich der Brennbarkeit nichtkeramischer Isolierstoffe als auch hinsichtlich der Bewältigung der Abschaltleistung in den obersten Grenzen und bei niedrigen Strömen und grossen Phasenverschiebungen. Ich kenne eine Lieferung von Expansionsschaltern, die nicht mit destilliertem Wasser oder Glykollzusatz, sondern mit einem Spezialöl gefüllt sind. An Versuchen, das Öl als Löschflüssigkeit beizubehalten und seine Brennbarkeit einzuschränken, hat es seitens der Schalterbauunternehmen nicht gefehlt, und dennoch gibt es heute noch viele Fälle, in denen mit voller Berechtigung der klassische Oelschalter angewendet wird. Er ist und bleibt bei richtiger Anwendung und Pflege ein zuverlässiger, einfacher und vor allem billiger Apparat und als solcher verdient er Zutrauen. Der Druckluftschalter ist mechanisch komplizierter. Er bedarf, abgesehen vom Hartgasschalter, einer Druckluft erzeugungsanlage mit Rohrleitungen. Das waren vor einigen Jahren in den Werken fremde Elemente und sie brachten den Betriebsleuten vielfach Dichtigkeitsorgen. Wenn nicht ein kompressorloser Schalter wieder aufkommt, so ist anzunehmen, dass sich der Druckluftschalter für Spannungen bis etwa 150 kV in geschlossenen Räumen nur in Anlagen festsetzen wird, wo wenigstens 6 Schalter beisammen stehen. Für die mittleren und kleinen Hochspannungen ist er vom elektrischen Standpunkt betrachtet der ideale Unterbrecher. Ganz allgemein zeichnet sich unter den Werken eine Regel für die Schalterwahl ab, welche für den heutigen Stand des Schalterbaues kennzeichnend ist. Für die untersten Hoch-

ter, der in grösseren und vorwiegend in bedienten Stationen für kleine und mittlere Hochspannungen seine Berechtigung hat, rasch schaltet, brandsicher und raumsparend ist. Für die oberen Hochspannungen, etwa von 50 kV aufwärts bis zu den höchsten Spannungen, steht heute der ölarme Schalter im Vordergrund, der im Freien aufgestellt werden kann. Durch diese Entwicklung ist der Dreikesselölschalter in den Hintergrund gedrängt worden. Dem Wasserschalter kann heute schon, kaum 10 Jahre nach seinem Erscheinen, kein bestimmtes Anwendungsgebiet zugewiesen werden, in dem er seine Nebenbuhler aus dem Feld schlagen könnte; er wird deshalb kaum mehr reihenmässig hergestellt. Der Lastschalter hat in den letzten 3 Jahren in die schweizerischen Netze Eingang gefunden. Ihm fällt das Abschalten von Transformatoren oder Leitungen unterhalb der Nennlast und von Hand zu und dementsprechend wird er vorwiegend in Stationen verwendet, wo neben ihm noch Hochleistungsschalter stehen, die den Kurzschlußschutz übernehmen. Wird ihm trotzdem die Aufgabe der Kurzschlussabschaltung überbunden, so kann er zu diesem Zweck mit Hochleistungssicherungen zusammengebaut werden. Er hat den Vorzug, in allen Lagen montiert werden zu können, die Stelle eines Trenners zu versehen, sehr einfach und billig zu sein.

In den 12 Stadtwerken, welche auf die Rundfrage geantwortet haben, sind rund 4000 Hochspannungsschalter, mit Einschluss der Lastschalter, in den Netzen verschiedener Spannungen aufgestellt. Davon besitzen 84 % Selbstauslösung und über 99 % stehen in geschlossenen Räumen. Weitaus am meisten verbreitet, mit mehr als 90 %, sind in Stadtwerken die Oelschalter; darauf folgen die Druckluftschalter mit 4,4 % und die Wasserschalter mit 2,4 %; am schlechtesten vertreten sind die ölarmen Schalter mit kaum 1 %. Die zuletzt genannte Bauart kommt nur in wenigen grossen Werken vor; unter ihnen befinden sich auch die ältesten der gemeldeten Schalter, welche 34 Jahre im Betrieb stehen. Einkessel-Oelschalter für die unteren Hochspannungen stehen im gleichen Betriebsalter, während von den anderen Bauarten die Wasserschalter 6, die Druckluftschalter fast 3 und die Lastschalter ebenfalls 3 Betriebsjahre erreicht haben. Aus dieser Uebersicht über die Verbreitung der Schalter in Stadtwerken geht hervor, dass sie allein ein Kapital von mehreren Millionen Franken in diesen 12 Stadtwerken repräsentieren. Die Dichte der Aufstellung ist in diesen Werken sehr ungleich, im Verhältnis 1 : 7. Der Quotient: «Versorgte Einwohner pro Schalter» ergibt im Mittel aller Werke 292; er schwankt aber zwischen 98 und 700. In 5 Werken sind die Schalter stärker vertreten, als das Mittel angibt, und auffallenderweise sind darunter 3 kleine Werke. Tabelle I gibt die Verbreitung einiger Schalterbauarten und ihr Vorkommen in den verschiedenen Netzspannungen an mit den relativen Werten für die Anzahl Schalter und für das Produkt Schalter \times kV.

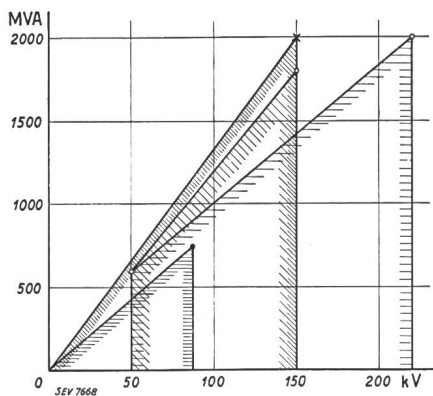


Fig. 1.
Abschaltleistungen und Nennspannungen verschiedener Schalterbauarten.

	Einkessel-Oelschalter		Druckluftschalter	
	Dreikessel-Oelschalter		Ölarme Schalter	

spannungen und kleine Stationen stellt der Oelschalter immer noch die zweckmässigste Lösung dar, in der Regel als Einkesselschalter, verwendbar im Freien, wie in geschlossenen oder sogar in feuchten Räumen, Fig. 1. Darauf folgt der Druckluftschal-

Verbreitung von Hochspannungsschaltern
in 12 schweizerischen Stadtwerken.

Tabelle I.

	Schalter Anzahl %	Schalter × kV %
mit } <i>Selbstausslösung</i>	84	87
ohne }	16	13
	100	100
<i>Aufstellung</i>		
in Räumen	99,62	96,4
im Freien	0,38	3,6
	100	100
<i>Bauart</i>		
Oel } <i>Hochleistung</i>	90,7	87,7
Wasser }	2,4	2
Luft }	4,4	3,9
Oelarm }	0,9	5
	1,6	1,4
	100	100
<i>Netzspannung</i>		
a) 2 bis 4 kV	32,5	13,9
b) 5 „ 8 „	50,68	39
c) 10 „ 12,5 „	5,9	7,7
d) 16 „ 18 „	7,6	17
e) 32 „	0,07	0,2
f) 45 „ 50 „	3,1	19,4
g) 100 „	0,15	2,8
	100	100

Im Betrieb stehende Schalter können in verschieden hohem Masse Störungen unterworfen und diese von mannigfaltiger Ursache sein. Unter den rein mechanischen Ursachen am Schalter selbst nehmen der Bruch von Klinken, das Abscheren von Stiften, das Herausfallen von Splinten, der Bruch von Holztraversen und das Verdrehen oder Lösen von Durchführungsbolzen den ersten Rang der Häufigkeit ein. Daneben gibt es gelegentlich Verklemmungen des Schaltermechanismus, aber auch Fehlauflösungen durch Erschütterung. An Oelschaltern kommt das Rinnen von Oelablassschrauben, Oelablasshahnen und Oelstandszeigern häufig vor. Ein Werk empfiehlt, an Oelschaltern bis 15 kV die Oelschrauben oder Hahnen wegzulassen und die Oelproben mit einem Spezialheber zu entnehmen. Den Oelstandgläsern werden Schwimmer mit guter Führung und Anzeige über dem Deckel vorgezogen.

Von den elektrischen Störungen stehen Ueberschläge an erster Stelle, wobei es sich aber zum Teil um Isolierabstände handelt, die den heutigen Vorschriften nicht entsprechen. Oelauswurf und Kontaktverschweissungen sind häufiger als Kontaktabhebungen. Insgesamt sind nur 4 Schalterexplosionen und 2 Zerstörungen aus anderen Gründen gemeldet worden.

Die Antriebe bilden eine Gruppe von Störungsquellen für sich. Mehrere Werke melden zu schwache Bauart oder elektrische Mängel, wie zu schwache Motoren oder ungenügende Isolierung in den Antrieben.

Tragen bisweilen die Schalter gewisse Mängel von Haus aus in sich, so gibt es naturgemäss auch Störungsursachen, die erst durch die Montage oder im Verlaufe des Betriebes hinzukommen. Die Schalter bedürfen deshalb nach der Prüfung durch den Lieferanten einer genauen Untersuchung auf ihr Funktionieren bei der Inbetriebnahme. Am zweckmässigsten erfolgt diese Kontrolle an Schaltern mit Selbstausslösern durch eine dem Betrieb möglichst ähnliche Prüfung gemeinsam mit dem Auslöser, um das Zusammenspiel genau beobachten zu können. Nur dieses Verfahren, etwa mit Relaisprüfapparaten, bietet dafür Gewähr, dass beim Einbau oder beim Zusammenbau keine Hemmungen und Klemmungen im beweglichen System entstehen. Sind die Schalter einmal dem Betrieb übergeben, so müssen sie weiter gewissenhaft überwacht und unterhalten werden. Ueber die Revisionsintervalle bestehen bei den befragten Stadtwerken im allgemeinen ziemlich übereinstimmende Auffassungen. Die äussere und mechanische Kontrolle unbewachter Schalter wird jährlich einmal vorgenommen, gemeinsam mit den Relaisprüfungen. Die innere Revision erfolgt nach einer bestimmten Zahl schwerer Abschaltungen, wobei auch das Oel geprüft wird. Die Oelproben werden sonst bei unteren und mittleren Hochspannungen nur alle 2 bis 5 Jahre, bei den Höchstspannungen jedoch alljährlich vorgenommen. Häufig unter Last betätigte Schalter, z. B. in Kraftwerken, weisen Revisions-Intervalle von nur einem halben Jahr auf. In grossen Werken hat sich gezeigt, dass es sich wohl lohnt, eine strenge Ordnung in der Schalterpflege einzuführen und bestimmte Spezialisten damit zu betrauen, um den Einfluss von Monteuren des Werks auszuschalten, die mit den Feinheiten des Schalterbaus und der Schaltereinstellung zu wenig vertraut sind.

Nach der Aufzählung von Erfahrungen folgen noch einige Wünsche und Anregungen von Werken. Bei Verwendung nicht keramischer Isolierstoffe kann trotz der Abwesenheit von Oel Qualm in störendem Ausmass entstehen. Von einem Werk wird die synthetische Herstellung einer Löschflüssigkeit angeregt, die die elektrischen Eigenschaften des Oels besitzt, aber weder qualmt noch brennt. Die keramischen Isolierstoffe sind nicht in allen Ausführungen hinreichend schlagfest. Mehrere Werke wünschen einen schweizerischen öl- und kompressorlosen Schalter mittlerer Spannung und Abschaltleistung zu annehmbarem Preis. Es wird auch die Herabsetzung des Arbeitsdrucks von Druckluftschaltern und eine wesentliche Dämpfung des für städtische Verhältnisse immer noch lästigen Ausschaltgeräusches von einem Werk verlangt. Eine Anregung betrifft die Kombination von Lastschaltern mit Hochspannungssicherungen und Thermo-relais als Transformatorenschutz in öllosen Anlagen.

Der Vorsitzende verdankt das Referat Herrn Direktor Leuch bestens. Die Anregungen, die der Referent für die weitere Entwicklung machte, waren besonders interessant.

Der Schalter im Ueberlandwerk. Betriebserfahrungen und Erfordernisse.

Von F. Hug, Baden.

621.316.57.0046

Es werden einige interessante Störungen an Hochspannungsschaltern im Netz der Nordostschweiz. Kraftwerke A.-G. kurz beschrieben und die Ursachen mitgeteilt. Dann folgt eine Reihe von Wünschen betreffend die Schalterkonstruktion an die Adresse der Hersteller.

L'auteur décrit brièvement quelques perturbations intéressantes survenues aux interrupteurs du réseau à haute tension des Forces Motrices du Nord-Est Suisse et en communique les causes. Il termine par une série de desiderata à l'adresse des constructeurs, au sujet des interrupteurs.

Die Betriebserfahrungen mit Hochspannungsschaltern lassen eine Fülle von Anregungen und Wünschen aufkommen, die dem Schalterkonstrukteur nicht verschlossen bleiben dürfen. Ohne auf spezielle Schaltertypen oder Fabrikate einzugehen, mögen hier einige Vorkommnisse kurz gestreift werden.

Ein 8-kV-Wasserschalter (20 kV Nennisolationsspannung) leitete nach erfolgter automatischer Kurzschlussabschaltung zufolge einer Gewitterstörung Erd- und Kurzschlüsse ein, die den Apparat zur Unbrauchbarkeit zerstörten. Eingehende Untersuchungen bestätigten die Vermutung, der Schalter sei der kritischen Beanspruchung zum Opfer gefallen, keineswegs. Die Schaltorgane liessen nicht die geringste abnormale Beanspruchung erkennen. Erst die Untersuchung des Störungfalles und der Leitungsanlage brachte den einwandfreien Beweis einer Ueberspannungseinwirkung auf den Schalter, der durch starke Brandspuren bestätigt wurde. Nach anstandsloser Abschaltung wurde nämlich die Lufttrennungsstelle des Schaltapparates von einer leitungsseitig eingetroffenen Ueberspannungswelle, vermutlich begünstigt durch die noch nicht völlig regenerierte Schaltstrecke, überschlagen und ein Stehlichtbogen an den sammelschienenseitigen Kontakten eingeleitet. Möglicherweise hat auch eine mit der Ueberspannung im Zusammenhange stehende Phasenopposition der Betriebsspannung den Ueberschlag erleichtert. Zu bemerken ist hierzu, dass die Leitungen dieser Schaltanlage nicht mit Ueberspannungsableitern ausgerüstet waren, die jedoch nach dieser Störung eingebaut wurden. Die 50periodige Ueberschlagsspannung der Lufttrennungsstelle dieses Schalters betrug ca. 50 kV und diejenige der Isolatoren der Schaltanlage ca. 70 bis 80 kV.

Eine andere Störung trat nach erfolgtem Parallelschalten eines Generators bei einem Betriebswechsel auf ein 8-kV-Sammelschienensystem ein. Kurze Zeit nach Vollbelastung des Generators erfolgte ein Kurzschluss, der einige Hartpapier-Schleifenstromwandler und Wasserschalter sehr stark zerstörte. Die langwierige Abklärung der Ursache ergab Undichtheiten der Verschlusschrauben einiger Schaltkammern, wodurch die Schaltflüssigkeit Expansin auf die Stirnseite der darunterstehenden Kondensatordurchführungen der Wandler gelangen konnte und dadurch die Spannungsbeanspruchung längs der Schichtung bis in die kritische Nähe des Erdbelages brachte. Explosion einiger Stromwandler und beträchtliche Zerstörungen an der Anlage waren die Folgen dieser Undichtheiten.

Weiter wurde nach Zuschalten und Belasten eines Generators am dauernden zischenden Luftaustritt eines pneumatisch betätigten Expansionsschalters festgestellt, dass derselbe in der Einschaltstellung nicht verklint war — die Druckluft hielt ihn dauernd in der Endstellung. Eine heikle Situation bestand für das Ausschalten, weil sich der Schaltstift nur relativ langsam von der Kontaktstelle und der Schaltflüssigkeit entfernen konnte und eine vergrösserte Lichtbogendauer mit ihren Gefahren bestand. Ursache dieser Funktionsstörung war das allmähliche Losschrauben der Kontaktspitze — infolge ungenügender Sicherung — die vorzeitig auf dem Grunde des Tulpenkontaktes ihren Anschlag fand und die normale Verklintung des Antriebsmechanismus verunmöglichte. Das wiederholte, schlagartige Einführen des Schaltstiftes in den Tulpenkontakt hatte nämlich die Gewindehülse gestaucht und erweitert, wodurch die vorhandene ungenügende mechanische Sicherung zerstört wurde.

Bei einem 50-kV-Oelschalter verriet die abnormal hohe Erwärmung des Oeles einen schlechten Kontakt im Innern. Die Revision ergab, dass die unter der Kontaktfeder liegende ursprünglich ebene Fläche in scharfer Umgrenzung auf genau gleiche Tiefe ausgefressen war. Elektrolytische Korrosion war hierfür die erste Vermutung, doch durch Wechselstromwirkungen nicht ohne weiteres zu erklären. Auf Grund neuerer Forschungen wird als Ursache ein Einfluss von geringer Feuchtigkeit des Oeles, seiner sauren Alterungsprodukte, sowie elementarer Funkenbildung an den Kontakten, die den Wechselstrom zum Teil in den korrodierenden Gleichstrom gleichrichten können, angesehen. Dieser Korrosionsfall wurde begünstigt durch eine unrichtige Verstiftung von Schalter und Antrieb, so dass beim Einschalten der Kontaktdruck nach kurzzeitigem Ueberschreiten eines Maximums wieder auf einen kritischen Wert abnahm.

Beunruhigt durch beobachtete Betriebsunregelmässigkeiten im Höchstspannungsnetz wurde der 150-kV-Schalter des Speisepunktes untersucht. Bei einem der drei mechanisch gekuppelten einpoligen Schalter stellte sich ein Isoliergestängedefekt heraus; die beweglichen Schalterteile fand man im Grunde des Oelkessels. Der namhafte Energietransit war somit vorübergehend nur über zwei Leiter erfolgt.

Ein ganz ähnlicher Fall eines ausgesprochenen Konstruktionsfehlers führte zur Abänderung einer grösseren Anzahl 50-kV-Oelschalter.

Leitungsarbeiten nach festgelegtem Programm erforderten die beidseitige Abschaltung der Strecke,

wobei wohl der elektrische Teil der Fernsteuerung des einen 150-kV-Schalters richtig funktionierte, während deren mechanischer Teil dem gegebenen Impuls nicht folgte. Da die gestörten Organe des mechanischen Antriebes nicht ohne weiteres zugänglich waren, konnte nur eine unverzügliche Abschaltung des ganzen betreffenden Netztes, ohne jegliche Betriebsrücksichten, einen weitgreifenden schweren Unfall verhüten.

Als hauptsächlichste Betriebsanforderungen an Hochspannungsschalter mögen kurz folgende herausgegriffen werden:

Der konstruktiv einfache, übersichtliche Aufbau eines Schalters soll mit einem Minimum an Bauteilen bei einfachster Wirkungsweise erreicht werden. Die einem Abbrand unterworfenen Kontakte müssen in kürzester Zeit auf einfachste Weise freigelegt werden können. Die Phasendistanz der Schalter soll sich mit den Leiterabständen der Werkinstallationen, vor allem bei Freiluftanlagen, in Einklang bringen lassen. Die Schalterkonstruktionen sollen derart durchgebildet werden, dass eine grosse Freizügigkeit in der Leitungsführung, den Leiteranschlüssen und dadurch im Bau von überspannungstechnisch günstigen Schaltanlagen gewährleistet ist. Auch beim Umbau von bestehenden Anlagen vereinigen solche Schalter wesentliche Vorzüge. Ausserdem ist ein geringer Raumbedarf, insbesondere Grundrissbedarf, anzustreben, der oft bei Umbaufragen von ausschlaggebender Bedeutung ist (Oelschalterersatz). Geringe statische und dynamische Massenwirkungen sind erstrebenswert, um Fundamente und Baukonstruktionen zu schonen und möglichst zu verbilligen und um Lockerungen der Hochspannungsanschlüsse oder Schaltanlage-Isolatorendefekte zu vermeiden. Elastische Leiteranschlüsse sind im Hinblick auf die meist hohen Kurzschlußströme eher unerwünscht. Ganz allgemein soll von Konstrukteur, Werkstätte und Monteur auf sorgfältige und solide Sicherung aller Verbindungsteile, Schrauben, Kontaktbolzen usw. sowie auf einfache, kräftige Verankerungen geachtet werden.

Ein Kapitel für sich bildet das Gebiet der Dichtungen gegen Oel-, Wasser- oder Luftaustritte. Aber auch mangelhafte Dichtungen gegen atmosphärische Einflüsse bei Freiluftapparaten haben dem Betrieb schon ernstlich zu schaffen gegeben.

Die Dämpfung des Schaltgeräusches im Hinblick auf Betriebspersonal und Nachbarschaft bleibt immer noch ein erstrebenswertes Ziel.

Der Hochspannungsteil ist von den Niederspannungs-Steuer- und Meldekreisen (Auslösemagnete, Aus- und Einschaltventile, Meldekontakte usw.) grundsätzlich durch Schutzwände, Verschaltungen und dergleichen zu trennen (Lichtbogenschutz). Eine gute Zugänglichkeit der Antriebsseite mit all den Steuer- und Meldeleitungen ist von besonderer Bedeutung. Der Abnutzung unterworfenen, nachstellbaren Antriebsorgane dürfen unter keinen Umständen von anderen Mechanismen verbaut und unzugänglich gemacht werden.

Bei grossen mechanisch gekuppelten Schalterpolen sollen diese möglichst gleichzeitig schalten,

um die Ausbildung von Ueberspannungen und deren Folgen in grossen Netzen zu verhindern.

Der elektromechanische Schalterantrieb darf auch bei katastrophalen elektrischen Zerstörungen durch Stehlichtbogen, Explosionen und dgl. unter keinen Umständen versagen, so dass z. B. der Schaltermechanismus zufolge Zersplitterung der keramischen Stützisolatoren im Stehlichtbogen nur noch von den Leiteranschlüssen festgehalten wird (Probenschaltung!). Sämtliche Isolatoren, auch die keramischen, sind kittlos zu befestigen. Die Verwendung von lichtbogensicherem, splitterfreiem Isoliermaterial mit grosser Umbruchfestigkeit ist deshalb eine spezielle Forderung des Betriebes. Eine gewisse Elastizität des Isoliermaterials könnte die Beanspruchungen gegenüber keramischen Stützern herabsetzen.

Die Fernsteuerungen sollen Pendelungsfreiheit und eine absolute Betriebssicherheit aufweisen, wobei erfahrungsgemäss besonders die Auslösespulen für weitestgehende Toleranz der Betätigungsspannung zu dimensionieren sind (z. B. + 10% und - 40%). Die kürzeste Kontaktgabe des Steuerschalters oder Relais soll die Schalterbetätigung einleiten. Eine bis zur Vollendung des Schalterspiels dauernd notwendige Kontaktgabe ist unzweckmässig und gefährlich. Auch die Kontaktgabe der Relais kann unter Umständen sehr kurzzeitig erfolgen (Stoterschutz). Vor allem sollen die Steuerschalter robust gebaut und mit kräftigen Kontakten ausgerüstet sein. Besonders die in schematische Anordnungen eingebauten Befehls-Quittungsschalter zeigen oft durch ihre Ausführung, dass der Konstrukteur ihre sehr grosse Bedeutung in der allgemeinen Energieversorgung verkennt. Zum Schutz der Kontakte gegen Ueberspannungen empfiehlt es sich, Parallelwiderstände an den Betätigungsspulen anzubringen. Auch auf die Bedeutung einer einfachen, sicheren Rückmeldung, ohne Verwendung von Kunstschaltungen, braucht kaum näher eingegangen zu werden.

Von neuzeitlichen Schaltern und deren Antrieben sind ferner speziell im Hinblick auf den Selektivschutz kleinste, von der Raumtemperatur möglichst unabhängige Schaltzeiten zu fordern. Während Selektivschutzsysteme mit ausserordentlich kleinen Zeitstreuungen arbeiten, muss eine entsprechende Eigenzeitkonstanz auch von den Schaltern gefordert werden, dies um so mehr, als die Teilzeiten beider Organe nicht nur von derselben Gröszenordnung, sondern sogar von gleicher Grösse sein können (Schnelldistanzschutz). Ueberdies ist zu beachten, dass Schalter, die sehr häufig und solche, die äusserst selten betätigt werden, auch bei niederen Temperaturen unveränderliche Eigenzeiten ergeben sollen (Hallenbau, Freiluftanlagen).

Gewisse Einflüsse können Schmiermittel mit verschiedener Viskositätsänderung und analytischem Verhalten auf das Funktionieren der Schalter ausüben. Werkvorschriften über Oel- oder Fettqualitäten sollten jede Schalterlieferung begleiten. Es dürfte empfehlenswert sein, diesbezügliche Abnahmeversuche von kompletten Schaltern in rein mechanischer Hinsicht in bezug auf Kälteeinfluss in Kühlräumen vorzuschlagen. Die periodische Be-

stimmung der Schaltereigenzeiten bei verschiedenen Temperaturen im Betriebe sollte sinngemäss, wie dies bei der Distanzrelaiskontrolle bereits üblich ist, ebenfalls angeregt werden.

Der Korrosionsbeständigkeit von Schaltern und Antrieben ist besondere Aufmerksamkeit zu schenken, z. B. den elektrolytischen Korrosionen in den Kammern der Wasserschalter (Gleichstromkorrosion), den Korrosionen der Kontakte von Oelschaltern (Wechselstromkorrosion), der Oxydation zufolge Kondenswasser in Druckluftanlagen, Ventilen usw. Auch Hemmungen oder Klemmungen zufolge Aufquellens oder Schwammigwerdens von Dichtungsmaterialien bei Kolben und Ventilen muss begegnet werden.

Um bei Druckluftanlagen die Dauerverluste möglichst einzuschränken, empfiehlt es sich, zu viele Absperrschieber und Ventile zu vermeiden. Weitgehende Umschaltmöglichkeiten, wie sie dem Elektriker geläufig sind, müssen mit grösseren Luftverlusten erkauft werden, so dass in extremen Fällen diese Dauerverluste die Betriebsluftmengen überschreiten. Die Aufstellung von Druckluftbehältern ist auch möglichst unter Beachtung von Bomben- oder Splittersicherheit zu projektieren. Die Revisionsmöglichkeit der Kessel soll gewahrt bleiben (behördliche Vorschriften). Bei diesem Anlasse wäre von Interesse zu vernehmen, welchen Sicherheitsfaktor die Konstruktionsfirmen den Organen ihrer Schaltapparate zugrunde legen (statische oder dynamische Beanspruchung).

Bei öllosen Schaltern bildet oft der Ueberschlag der Lufttrennungsstelle eines ausgelösten Schalters einen gefährlichen Störungsherd. Die Schaltstrecke kann bei asynchronen Separatbetrieben, besonders bei Erdschluss oder Ueberspannungen und Reflexionen in einem dieser Betriebe ausserordentlich

hoch beansprucht werden. Derartige Ueberschläge an Schaltern können durch wandernde Lichtbogen oft verheerende Wirkungen in Schaltanlagen, besonders in neuzeitlichen Hallenbauten, hervorrufen. Die Stoss-Ueberschlagssicherheit solcher Lufttrennstellen sollte unbedingt grösser als die Stoßsicherheit der Schaltanlageisolation gewählt werden (Koordination der Isolation). Bei konstruktiven Schwierigkeiten für einen ausreichenden Schaltweg sind an Wasser- und Luftschaltern zusätzliche, selbsttätige Trenner zu kombinieren.

Die elektrische Stromübertragung auf das bewegliche Kontaktsystem soll bei voller Kurzschlussbelastung des Schalters einwandfrei funktionieren.

Ferner ist ein guter Schutz gegen Berührung spannungsführender Konstruktionsteile durch auffallende Hochspannungsmarkierung anzustreben.

Die sichere Bewältigung der zu schaltenden Leistungen hängt somit im Betriebe von einfachen, zum Teil ganz selbstverständlichen Forderungen ab, welche die Wertigkeit eines Schalters mitbestimmen. Es wäre erfreulich, wenn begründete Anregungen und Wünsche von Seite der Werke von den Konstruktionsfirmen auch angenommen und konstruktiv verwertet würden.

Der Vorsitzende dankt Herrn Hug bestens für das sehr nette Referat, in welchem er Sünden der Konstrukteure in konkreten Beispielen dargestellt hat. Dem Betriebsleiter fällt die grosse Aufgabe zu, Erfahrungen zu sammeln. Diese Aufgabe wird sich in Zukunft auch auf die Frage der Koordinierung der Stossfestigkeit ganzer Netze beziehen müssen. Die Konstrukteure machen bei der Entwicklungsarbeit umfassende Versuche, wenn es sein muss auf dem Jungfrauoch und auf dem Säntis. Die Mitarbeit des über langjährige Erfahrung verfügenden Betriebsleiters ist zur Versuchsarbeit des Konstrukteurs die notwendige Ergänzung. — Nachdem wir nun den Vertreter eines städtischen Werkes und denjenigen eines Ueberlandwerkes gehört haben, werden wir nun noch den Vertreter der Schweizerischen Bundesbahnen hören.

Der Schalter im Bahnnetz; Kurzschlussversuche im Betrieb.

Von H. Habich, Bern.

621.316.57.0046

Die Betriebs- und Störungs-Statistik der Oel-Leistungsschalter in den drei Netzen der SBB (15 kV, 66 kV und 132 kV) über die Jahre 1923 ... 1937 wird zusammengestellt. Die meisten Störungen sind auf mangelhafte Lichtbogenlöschung zurückzuführen. Die aus den Störungen gewonnenen Erfahrungen werden mitgeteilt. Schliesslich wird über Schalterkurzschlussversuche im Betrieb berichtet, die allein gewisse Schalterfragen erschöpfend abklären können.

L'auteur expose la statistique de l'exploitation et des perturbations des interrupteurs à huile dans les trois réseaux des CFF (15 kV, 66 kV et 132 kV) au cours des années 1923 ... 1937. La plupart des perturbations sont dues à l'extinction insuffisante des arcs. L'auteur communique ensuite les expériences qui ressortent de ces perturbations et décrit des essais de court-circuit effectués en service, qui seuls peuvent contribuer à éclaircir certains problèmes que posent les interrupteurs.

A. Art und Zahl der Schalter.

Die Schalter, über die ich berichten will, sind ausschliesslich *Leistungsschalter*, die in den Kraft- und Unterwerken der Schweizerischen Bundesbahnen eingebaut sind; ausgeschlossen sind die Lokomotiv- und Streckenschalter auf den Schaltposten der Bahnstationen, beide mit sehr beschränkten Abschaltleistungen. Es sind folgende 3 Gruppen von Schaltern vorhanden:

1. **15-kV-Betriebsspannung:** Maschinen-, Transformator- und Fahrleitungs-Schalter; einpoliger Oelschalterttyp 16% Hertz, nur im Spannungspol eingebaut (der geerdete Pol des 15-kV-Netzes besitzt keinen Schalter), bestellt für

150 ... 250 MVA Abschaltleistung, 50 ... 57 kV Prüfspannung; mit niederohmigen ein- bis zweistufigen Schalterschutzwiderständen ausgerüstet; Anzahl 205¹⁾, wovon 150 Freilufttypen.

2. **66-kV-Betriebsspannung:** Transformatoren-, Kabel- und Freileitungsschalter, zweipoliger Oelschalterttyp, 16% Hertz, Einphasensystem mit Mittelpunkt hochohmig geerdet oder über Drosselspulen kompensiert, bestellt für 200 ... 500 MVA Abschaltleistung, 170 kV Prüfspannung, in der Regel mit hochohmigen Widerständen ausgerüstet; Anzahl 181¹⁾, wovon 124 Freilufttypen.

3. **132-kV-Betriebsspannung:** Transformatoren- und Freileitungsschalter, zweipoliger Oelschalterttyp, 16% Hertz, Einphasensystem mit direkt geerdetem Nullpunkt; bestellt für

¹⁾ Die Anzahl bezieht sich auf Ende 1937 ohne das Kraftwerk Etzel.

500 MVA Abschaltleistung, 280 kV Prüfspannung, mit hochohmigen Widerständen; Anzahl 28¹⁾, Freilufttyp.

Alle Schalter sind Schweizer Fabrikat; jede der 4 Firmen A.-G. Brown, Boveri & Cie., Maschinenfabrik Oerlikon, Carl Maier & Cie. und Sprecher & Schuh haben Schalter von jeder der 3 erwähnten Gruppen geliefert.

B. Betriebs- und Störungsstatistik.

Die Schalter der 3 Netze der Bundesbahnen werden ganz verschieden mit Kurzschlüssen beansprucht, wie folgende Tabelle zeigt:

Die Zahl der Kurzschlussabschaltungen pro Schalter und Jahr beträgt:

	15jähriges Mittel 1923...1937	Mittel 1937
a) für das 15-kV-Netz	29,1	23,7
b) » » 66-kV-Netz	0,78	0,67
c) » » 132-kV-Netz	2,61	0,5

Es wurde angenommen, dass jeder Kurzschluss in der Regel von wenigstens 2 Schaltern abgeschaltet wird.

Gewiss fällt die grosse Zahl der Kurzschlüsse auf, aber es ist zu beachten, dass die Mittelwerte für das Jahr 1937 gegenüber dem Mittel der 15 Jahre ganz erheblich zurückgegangen sind. Zur Beruhigung des reisenden Publikums sei aber ausdrücklich darauf aufmerksam gemacht, dass nur 6,6 % aller Kurzschlüsse die Speisung der Fahrleitung mehr als 5 Minuten unterbrochen haben.

Die Gründe für die vielen Störungen im 15-kV-Netz, die allen Bahnbetrieben eigen sind, kennt man wohl allgemein: Ein Pol des Systems ist geerdet; die Kontaktleitung leidet sehr unter der Bügelbeanspruchung; Gewittereinflüsse sind auf dem 4700 km langen, über die ganze Schweiz ausgedehnten Netz nicht zu vermeiden; viele Schaltmanöver müssen durch Nichtfachpersonal ausgeführt werden.

In den 15 Jahren von 1923 . . . 1937 sind an allen Oelschaltern total 121 Störungen vorgekommen, nämlich 75 in der ersten Gruppe (15-kV-Schalter), 30 in der zweiten Gruppe (66-kV-Schalter) und 16 in der dritten Gruppe (132-kV-Schalter); die Störungen verteilen sich nach Ursachen folgendermassen (Tabelle I):

Tabelle I.

	Gruppe		
	1	2	3
	%	%	%
Lichtbogenlöschung	24	27	31
Innen-Isolation	19	3	—
Aussen-Isolation	15	37	62
Durchführungen			
Widerstände	13	—	6
Antrieb	10	10	—
Elektrodynamische Kraftwirkungen	19	23	1
Steuerorgane			
Verschiedene und unangeklärte Ursachen			
Durchschnittliche Anzahl Schalter während der Jahre 1923 . . . 1937 . . .	100	100	100
	165	147	27 (1927-1937)

Die meisten Störungen traten in allen 3 Gruppen wegen mangelhafter *Lichtbogenlöschung* auf, wenn man absieht von den Störungen an den Durchführungen der Schalter, welche ein Isolator, nicht ein Schalterproblem darstellen. Dies ist erklärlich, weil die Schalter wohl für genügende Abschaltleistung bestellt worden waren (wie eingangs erwähnt), dass aber keiner der erwähnten Schalter auf Kurzschluss in der Fabrik geprüft werden konnte, weil die Einrichtungen dazu damals noch nicht vorhanden waren. Die Bundesbahnen sahen sich daher gezwungen, selbst Kurzschlussversuche im eigenen Netz durchzuführen. Auf Grund solcher Versuche wurden beispielsweise folgende Verbesserungen an Schaltern durchgeführt: Verstärkung des Kessels und Verbesserung der Schweissnähte, Verstärkung von Löschkammern, richtige Dimensionierung der Auspufföffnungen, um einerseits eine gewisse Entlastung bei Gasbildung zu erreichen und andererseits (bei zu grosser Oeffnung) nicht zu grossen Oelauswurf zu bekommen; Ausbildung der Kontaktfinger mit Rücksicht auf die Wirkung elektrodynamischer Kräfte; genügend grosser Kontaktdruck; ausreichendes Einschaltmoment zur sicheren Ueberwindung der bei Einschalten auf Kurzschluss auftretenden elektrodynamischen Kräfte, Verstärkung der Klemmvorrichtungen der Schalter auf dem Fundament und Verwendung von für die stossweise Beanspruchung dieser Befestigungsmittel geeignetem Material.

Zur Verbesserung der *Innen-Isolation* der Schalter (2. Gruppe von Störungen) wurde in manchen Fällen die Kesselwand durch einen Isolierzylinder abgeschirmt; zwischen Kesselwand und Isolierzylinder ist ein Oelmantel von 2 . . . 3 cm Dicke vorhanden. Ferner wurde die Isolation im Schalter durch Vergrösserung der Kriechwege (wegen Russablagerung) verbessert und die schädliche Wirkung von Lichtbögen durch Isolierwände verhindert.

Ohne auf die Frage der *Schalterdurchführungen* näher einzugehen, möchte ich nur auf die Kräfte hinweisen, die auf die Bolzen der Durchführungen wirken können, insbesondere dann, wenn in die Durchführungen Löschkammern eingebaut sind. Bei Kondensator-Durchführungen ist es vorgekommen, dass der feste Zusammenhalt zwischen Leiter, Isoliermaterial und Stanniol sich lockern konnte und dadurch Störungen entstanden sind.

Die *Widerstände in den Schaltern* haben wir oft als unerfreuliche Beigabe kennen gelernt. Der einfache Schalteraufbau leidet darunter; verschiedenartige Störungen an solchen Widerständen sind auf Isolations- und Materialfehler zurückzuführen oder sie konnten überhaupt nicht restlos abgeklärt werden. In 2 Fällen haben Schalterversuche gezeigt, dass niederohmige Widerstände in 15-kV-Schaltern ohne Nachteil ausgebaut werden konnten.

Die *Schutzerdung der Schalter* ist bei einpolig geerdeten Systemen besonders wichtig, fliesst doch bei einem Schalterdefekt durch die Erdleitung der volle Kurzschlussstrom, in unseren Unterwerken in der Grösse von 6000 bis 10 000 A. Wird bei Zer-

störung des Schalterdeckels auch die daran befindliche Erdungsklemme abgerissen und damit die Erdleitung unterbrochen, so kann man sich lebhaft vorstellen, welche Verheerungen entstehen, wenn der Kurzschlussstrom seinen Rückweg durch das geerdete Steuerkabel des Schalters selbst sucht, ganz abgesehen von der Gefahr für das Personal wegen zu hoher Berührungsspannung. Die Erdung des Oelschalters muss daher sowohl am Kessel, als auch am Deckel so erfolgen, dass angenommen werden kann, eine von beiden bleibe bei Störungen sicher intakt (siehe Verordnung über Starkstromanlagen Art. 40). Verbinder oder Muttern aus Messing sind für Erdleitungen im Freien unbrauchbar, weil sie wegen kristallinischer Umlagerung des Gefüges zerfallen; sie sind durch Kupfer oder Bronze, ohne Zink, zu ersetzen.

Die Revision eines Speisepunktschalters erfolgt in der Regel nach ca. 20 normal verlaufenen Kurzschlussabschaltungen.

Seit zwei Jahren haben wir zwei 15-kV-Speisepunkte in einem Kraftwerk mit *Druckluftschaltern* ausgerüstet und festgestellt, dass diese Schalterart für $16^{2/3}$ Hertz sich sehr gut eignet und im Betrieb bewährt hat (einfache Revision, wenig Kontaktabbrand). Der Druckluftantrieb ist im Aufbau einfacher als der Magnetantrieb.

C. Schalterkurzschlussversuche im Betrieb.

Wie eingangs erwähnt, sahen sich die Bundesbahnen schon vor Jahren gezwungen, Kurzschlussversuche mit Schaltern im Netz durchzuführen. Die Versuchseinrichtungen sind heute einfach: Der Schalter wird auf einen Kurzschluss eingeschaltet und durch ein sofort wirkendes Relais wieder ausgeschaltet; für den Fall des Versagens des Versuchsschalters schalten der oder die den Versuchsschalter speisenden Schalter mit einer geeignet eingestellten Verzögerung von weniger als einer Sekunde ab. Als Messinstrument dient der Oszillograph; es ist

vorteilhaft, wenn er ein ablaufendes Band (Film oder Papier) besitzt, dann kann er beim Versuch mit dem Schalter von Hand ein- und ausgeschaltet werden, so dass die umständlichen Kupplungseinrichtungen der Steuerung des Schalters und des Oszillographen wegfallen. Wie verhält sich das Netz bei solchen Versuchen? Aus der mitgeteilten Störungstatistik geht hervor, dass es ziemlich viel «Erfahrung» darin hat und tatsächlich benimmt es sich bei den Proben auch «anständig». Ein Beispiel: Kurzschluss im 132-kV-System, abgeschaltete Leistung 278 MVA, Dauer des Kurzschlusses (Ein- und Ausschalten mit dem gleichen Schalter) 0,65 s, wiederkehrende Spannung 82 % der Anfangsspannung; nach 75 s Wiederholung des gleichen Versuches; das Netz bleibt intakt, keine andern Schalter haben ausgelöst; Schalter in Ordnung. Bei allen diesen Kurzschlussversuchen haben wir nie Defekte an Generatoren oder Transformatoren gehabt; liegt der Kurzschlussort vom Kraftwerk entfernt, so geht natürlich die Beanspruchung der speisenden Werke sehr zurück.

Wenn ich die Erfahrungen mit unsern Schaltern zusammenfasse, so darf ich sagen, dass sie den schweren Anforderungen des Bahnbetriebes im allgemeinen gewachsen waren, dass aber sehr wertvolle Erkenntnisse aus dem Betrieb und aus den Versuchen die Weiterentwicklung gefördert haben. Trotz der in den Fabriken heute möglichen systematischen Untersuchungen der Schalter werden aber gewisse Schalterfragen nur durch Netzversuche erschöpfend abgeklärt werden können und dazu müssen wir Betriebsleute den Herstellerfirmen unsere Netze zur Verfügung stellen.

Der Vorsitzende dankt das interessante Referat bestens. Die SBB verfügen über ein grosses, umfassendes Netz und entsprechend über grosse Erfahrungen. Besonderer Dank gebührt Herrn Sektionschef Habich für seinen beherzigenswerten Appell zur Zusammenarbeit zwischen Werken und Fabrikanten. Der Vorsitzende eröffnet die

Diskussion.

Herr L. Piller, Oberbetriebsingenieur der Entreprises Electriques Fribourgeoises, Freiburg: Die Angaben und statistischen Tabellen des Herrn Leuch sind sehr wertvoll. Der Vergleich der Anzahl Schalter jeder Kategorie (Oelschalter, ölarne Schalter, Druckluftschalter usw.) ist interessant, gibt aber nicht genügend Aufschluss über die Wichtigkeit der verschiedenen Arten und Typen. Es scheint mir deshalb wünschenswert, einen neuen Begriff einzuführen, nämlich den Begriff «Schalter \times kV», ähnlich dem Begriff «Tonnenkilometer» im Transportwesen. Ich würde sehr begrüßen, wenn es Herrn Leuch möglich wäre, seine Angaben noch in dieser Hinsicht zu vervollständigen¹⁾.

Der Vorsitzende dankt Herrn Piller und bittet Herrn Leuch, dem Wunsch Herrn Pillers Rechnung zu tragen¹⁾. — Es wäre nun interessant, von den Herren Betriebsleitern zu vernehmen, wie sich die Schalter bei grosser Kälte verhalten. Es ist denkbar, dass die Eigenzeit der Schalter von der Temperatur abhängig ist, bzw. von der Zahl der in einer gegebenen Konstruktion vorhandenen Gelenke, die bei grosser Kälte «schwerer gehen».

Herr H. Marty, Ingenieur der Bernischen Kraftwerke A.-G., Bern: Vor einigen Jahren machten wir eine sehr starke

Kälteperiode durch; es traten Temperaturen bis -25° auf. An den Schaltern beobachteten wir keine Störungen oder andere aussergewöhnliche Erscheinungen. Ueber die Eigenzeit der Schalter bei diesen Temperaturen machten wir allerdings keine Messungen. Ich habe zwar den Eindruck, dass sich die Auslösezeiten nicht merkbar ändern. Ungünstige Erfahrungen machten wir allerdings mit den neuen Antrieben, namentlich mit den Federspeicherantrieben. Es scheint mir, dass diese zu wenig Sicherheit aufweisen; das Ueberschussdrehmoment ist zu klein, weshalb sie hin und wieder versagen. — Die Verhandlungen mit den Konstruktionsfirmen zeigten, dass je nach Jahreszeit verschiedene Schmiermittel verwendet werden sollten.

Herr F. Aemmer, Betriebsleiter der Kraftwerke Oberhasli A.-G., Innertkirchen: In Innertkirchen wurden an 150-kV-Oelschaltern, Fabrikat Brown Boveri, die mit einer Ölheizeinrichtung ausgerüstet sind, Versuche durchgeführt, um zu bestimmen, bei welchen Aussentemperaturen die Heizeinrichtung in Betrieb gesetzt werden muss, um eine unzulässige Verlängerung der Ausschaltzeit zu verhindern. Dabei hat sich gezeigt, dass bis zu Öltemperaturen von -10° C keine merkliche Verlängerung der Abschaltzeit eintritt. Auch bei tieferen Lufttemperaturen, die während einiger Stunden in kalten Nächten eintreten, wird die Öltemperatur infolge

¹⁾ Ist im veröffentlichten Referat geschehen. (Red.)

der grossen thermischen Zeitkonstante der Oelschalter kaum unter -10°C sinken, so dass also die Oelheizvorrichtung überhaupt nicht benötigt wird. Der Stockpunkt des bei den Versuchen verwendeten Schalteröles beträgt ca. -30°C .

Herr Sektionschef H. Habich, Schweizerische Bundesbahnen, Bern: Unter den zahlreichen Fahrleitungs-Oelschaltern der SBB gibt es im Winter immer wieder, wenn auch recht selten, kleine Störungen, die auf tiefe Temperatur zurückzuführen sind, besonders wenn die Schalter lange nicht mehr gebraucht waren. Diese Störungen treten meistens im Mechanismus auf; oft ist das Schmiermittel schuld. Als solches verwenden die SBB kein Oel, sondern kältebeständige Fette, die bei grosser Kälte sehr dick werden. Neuerdings versagte auch ein pneumatischer Antrieb, weil die Dichtung der Kälte nicht standhielt. Es wäre zweckmässig, die Antriebe in Kühllhäusern systematisch zu untersuchen.

Der Vorsitzende verdankt die Beiträge und regt an, die Frage der Eigenzeit des Schalters mit Rücksicht auf eine gute Selektivität des Ueberstromschutzes im Netz zu diskutieren.

Herr A. Kleiner, Generalsekretär des SEV und VSE, benützt die Gelegenheit, um auf das Netzmodell des VSE aufmerksam zu machen. Dieses Modell steht allen Werken zur Verfügung. Man braucht die Kurzschlussverhältnisse der Netze nicht mehr zu rechnen; mit dem Modell kann man alles messen, nachdem der Netzaufbau nachgebildet ist²⁾. — Wenn man die Referate der Herren Dr. W. Wanger und H. Leuch gehört hat, scheint es, dass es relativ leicht ist, die Schaltdaten zu berechnen. Es taucht nun die Frage auf, ob die Schalter in Zukunft auch noch nach der wiederkehrenden Spannung gestuft werden sollen. Es scheint fast, als ob man früher oder später bei der Wahl der Schalter auch die Eigenfrequenz der Netzteile und deren Einfluss auf die wiederkehrende Spannung berücksichtigen, ja vielleicht in Regeln festlegen müsse. Dazu müsste man allerdings vorher noch sehr viele Erfahrungen sammeln; bis das so weit ist, besteht aber die Gefahr der Unsicherheit bei den Bestellern.

Herr Dr. A. Roth, Direktor der Sprecher & Schuh A.-G., Aarau: Ich bin mit dem Herrn Vorsitzenden einig, dass man mit der Einführung der Ergebnisse der an sich sehr interessanten Studien über den Einfluss der Eigenfrequenz in die Praxis noch zuwarten muss. Wir hätten wohl besser getan, diese Frage überhaupt noch nicht in der Öffentlichkeit zu erörtern, denn es ist zu fürchten, dass die Betriebsleitungen, die ja ohnehin mit Sorgen aller Art belastet sind, hinsichtlich des guten Funktionierens der Schalter unsicher werden. Die Betriebsleitungen können jedoch ganz ruhig sein, da uns die Natur zu Hilfe kommt, denn in Wirklichkeit wirken sich diese Fragen nicht so schlimm aus, wie die Theorie vermuten lässt; warum, weiss man noch nicht, es bestehen hierüber nur Hypothesen. Bauen wir Forschung und Theorie vorläufig weiter aus und lassen wir sich die Sache noch während einiger Jahre entwickeln. Zweifellos werden wir später in der Lage sein, die Rückwirkung der wiederkehrenden Spannung zuverlässig zu überblicken. Vielleicht werden wir

²⁾ Siehe Bull. SEV 1927, Nr. 11, Seite 713, Bull. SEV 1937, Nr. 17, Seite 394.

(Fortsetzung des Berichtes folgt.)

Ueber den Einbau von Lautsprechern.

Von W. Furrer, Bern.

621.395.6:3.7

Der Einbau eines Lautsprechersystems in eine Schallwand hat den Nachteil, dass für eine gute Wiedergabe der tiefen Frequenzen grosse Abmessungen nötig sind; ferner wird die Frequenzkurve durch die Art der Aufstellung der Schallwand stark beeinflusst. Durch Einbau in einen geschlossenen Kasten, dessen Volumen und Dämpfung passend dimensioniert sind, lassen sich diese Nachteile vermeiden.

sogar sehen, dass der Anstieg der wiederkehrenden Spannung keine so grosse Rolle spielt, wie wir heute annehmen.

Herr A. Schmidlin, Ingenieur des EW Basel: Ich möchte versuchen, darzustellen, wie die Frage der Schalterwahl vom Betriebsstandpunkt aus aussieht. Der massgebende Kurzschlussstrom an einer bestimmten Netzstelle kann besonders bei dem heute vorkommenden Zusammenschluss grosser Netze je nach Einspeisung und Schaltung sehr verschieden sein, ebenso die Eigenfrequenz des Netzes. Auf Grund dieser variablen Grössen und der wiederkehrenden Spannung ist der Schalter zu wählen, und zwar so, dass er mindestens 20 Jahre allen Anforderungen genügt. Die Entwicklung der Einspeisungsverhältnisse in dieser Zeit ist womöglich auch noch abzuschätzen. Nur sehr ausnahmsweise wird ein Schalter für ganz bestimmte Verhältnisse vorzusehen sein. Die Wahl eines Schalters wird deshalb nicht leicht. Im allgemeinen werden Schalter grosser Abschaltleistung verlangt werden. Dabei wird keine grosse Rücksicht mehr auf die Abschaltung bei kleinen Strömen genommen werden können. Vor 10 Jahren wurden im Basler 6-kV-Netz 150-MVA-Schalter eingebaut und vor kurzem wurden Schalter für dieses Netz für 300 MVA dimensioniert. Die Absicht besteht, in Zukunft Schalter von mindestens 400 MVA zu verlangen. Früher war die Kabelerwärmung für die zulässige Abschaltleistung im 6-kV-Netz massgebend; heute sind die Abschaltzeiten so kurz geworden, dass mit Rücksicht auf die Kabelerwärmung viel grössere Abschaltleistungen zugelassen werden können und der vorgesehene Einbau von Drosselspulen zur Kurzschlussbegrenzung deshalb wahrscheinlich nicht nötig wird. — Das EW Basel hat bisher für das 6-kV-Netz meist 24-kV-Schalter und für das 50-kV-Netz 73-kV-Schalter verwendet und mit dieser erhöhten Isolation gute Erfahrungen gemacht. — Es wäre noch interessant, zu vernehmen, welche Sicherheit in die Schalter einkalkuliert ist. Bewältigt ein Schalter von 300 MVA Nennleistung auch noch 400 oder mehr MVA?

Der Vorsitzende: Herr Schmidlin hat so richtig gezeigt, wie schwierig die ganze Schalterfrage sich für den Betriebsleiter stellt. Aber ich kann ihn versichern, dass die Wirklichkeit viel einfacher ist als die Theorie.

Herr S. Rump, Brown Boveri, Baden: Herr Schmidlin hat von der Isolationsfestigkeit der Schalter gesprochen; auch in dieser Beziehung kann er beruhigt werden. Gefährliche Schalterspannungen treten nur unter besonderen Umständen, d. h. in ganz vereinzelter Stationen auf und in diesen erreichen sie nur selten höhere Werte als 2mal verketete Betriebsspannung. Für solche Ausnahmefälle ist es wirtschaftlicher, die Schaltüberspannungen durch geeignete Massnahmen, z. B. durch Vorschriften über die Reihenfolge, in welcher die Ober- und Unter-Spannungs-Schalter eines Transformators geschaltet werden müssen, oder durch Vorschaltwiderstände zu unterdrücken, als alle Schalter für die höchst-vorkommenden Schaltüberspannungen zu isolieren, d. h. bei Bemessung der Isolation der Schalter ist es technisch durchaus begründet, nur die wiederkehrende Spannung bei Kurzschlussabschaltungen, nicht die eventuell bei Abschaltung von kleineren Strömen ausnahmsweise entstehenden Ueberspannungen zu berücksichtigen.

L'installation d'un système de haut-parleur dans une paroi acoustique présente l'inconvénient d'exiger, pour une bonne reproduction des basses fréquences, une paroi de dimensions encombrantes; d'autre part, la courbe de fréquence est fortement influencée par l'emplacement de la paroi acoustique. En installant le haut-parleur dans une caisse étanche ayant un volume et un amortissement appropriés, on arrive à supprimer ces inconvénients.

Ueber den zweckmässigsten Einbau von elektrodynamischen Lautsprechern herrscht heute noch vielfach grosse Unklarheit. Es soll hier der Fall

von separat einzubauenden Systemen besprochen werden, die häufig für hochwertige Wiedergabe von Musik verwendet werden. Für den Einbau von