

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 53 (1962)
Heft: 10

Rubrik: Diskussionsbeiträge

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 15.01.2026

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

wissen Schaltern heikel sei, dann nämlich, wenn diese Schalter mit Auslösekraftspeicher ausgerüstet sind.

Die Verwendung von Hauptstrom-Thermorelais in Leitungen mit automatischer Wiedereinschaltung ist nur dann möglich, wenn die Schalter mit einer Rückstellvorrichtung zum Wiederaufladen des Thermorelais-Kraftspeichers ausgerüstet sind. Ohne diese Einrichtung würde eine selbstdäigende oder ferngesteuerte Wiedereinschaltung zwangsläufig zur wiederholten Ausschaltung führen.

Einige besondere Vorkommnisse an Leistungsschaltern sind erwähnenswert:

Aus Versehen wurde irgendwo ein ölarmer Schalter neuer Konstruktion ohne Ölfüllung in Betrieb genommen und mehrmals damit betriebsmässige, jedoch keine kurzschlussartigen Schaltungen vorgenommen. Bei einer nachfolgenden Schalterrevision zeigte sich, dass die Kontakte und Löschkammern in durchaus einwandfreiem Zustand waren. Für einen ölarmen Schalter ist das immerhin eine bemerkenswerte Tatsache. Bei einer Kurzschlussabschaltung nach einer erfolglosen Wiedereinschaltung wurde ein Schaltstift verklemmt. Die Folge davon war eine Schalterexplosion mit erheblichen Schäden an Anlagen und Gebäudeteilen. Die Ursache der Störung waren Kupferperlen, die sich zwischen Schaltstift und Löschkammeröffnung verkeilten. Durch nachträgliches Anbringen von Filzdichtungsringen kann für die Zukunft eine solche Störung vermieden werden.

Dass auch der Ölschalter seine Existenz nicht ganz ausgespielt hat, beweist die Tatsache, dass er noch in sehr zahlreichen Exemplaren in Hochspannungsnetzen in Betrieb steht und vornehmlich da, wo die Kurzschlussleistung relativ klein ist, gute Dienste leistet. Da die Ausschaltzeit der Ölschalter relativ lang ist, können keine extrem kurzen Zeitstaffelungen bei den Maximalstromrelais vorgenommen werden. Dieser Umstand spricht in vielen Fällen zu Gunsten der ölarmen oder der Druckluftschalter.

Der neuzeitliche Ölschalter stellt geringe Ansprüche an den Unterhalt. Sein einziger Nachteil liegt in der grossen Ölfüllung und im beschränkten Kurzschlussabschaltvermögen. Verschiedene Kraftwerke begegnen diesem Umstand dadurch, dass die Netzkurzschlussleistung durch Netzteileitung begrenzt wird und leistungsschwache Schalter in entsprechende Netzbabschritte eingebaut werden. In den Fabrikationsprogrammen der Industrie spielen die Ölschalter nur noch eine sehr untergeordnete Rolle.

Zum Antrieb von Schaltern wird heute neben Druckluft vorwiegend die potentielle Energie einer gespannten Feder verwendet. Im allgemeinen bewähren sich diese Federkraftspeicherantriebe sehr gut. Immerhin sei auf einige Punkte hingewiesen, die sich im Betriebe zeigten. Für Einschalten auf Kurzschluss sind Handantriebe ungeeignet. Besonders bewährt haben sich aber solche mit Federspeicher, da damit ein zögerndes Betätigen ausgeschlossen ist. Vielerorts wird immer noch beanstandet, dass Reihenklemmen für den Anschluss

von Hilfsschaltern und der Antriebsorgane bei gewissen Konstruktionen zu schwach sind und die Schrauben beim Anziehen abgedreht werden. Oft lockern sich unter dem Einfluss von Erschütterungen die Klemmschrauben und fallen heraus. Aus dem gleichen Grunde eignen sich Schraubsicherungen nicht für den Einbau in Schalterantriebe. Sie sollten durch Stecksicherungen ersetzt werden.

Mechanische Antriebe sind in vermehrtem Masse Störungen durch Verschmutzung und Verkrustung unter dem Einfluss von Staub und Fett ausgesetzt. Klinken, Gelenke und Getrieb müssen daher sorgfältig überwacht und periodisch revidiert werden. Verschiedene Berichte weisen auf Funktionsstörungen an Antrieben hin, die auf eine Verschmutzung zurückzuführen sind.

Die Auffassungen über den zweckmässigen Einbau von Leistungsschaltern in Innenraumanlagen sind von Kraftwerk zu Kraftwerk verschieden. Einige bevorzugen den offenen Einbau in Schaltgerüste. Dabei werden die Eisenkonstruktionen so gewählt, dass bewegliche Platten zum Schutze der Arbeitenden zwischen spannungsführende und nichtspannungsführende Zellen eingeschoben werden können. Anderorts werden die einzelnen Schaltfelder durch festmontierte Gitter voneinander getrennt. Meistens aber werden heute für Spannungen bis etwa 20 kV feste, in Eisenrahmen fixierte Bauplatten als Trennwände gewählt.

Für höhere Spannungen wird die offene Bauweise oft bevorzugt. Diese Bauart hat den Vorteil der Übersichtlichkeit über die ganze Anlage. Das Wandern eines allfälligen Kurzschlusslichtbogens kann nicht verhindert werden. Ein massgebendes Kraftwerk allerdings vermutet, dass bei offener Bauweise die Explosionschäden geringer seien als bei der Zellenbauart. Feste Trennwände bilden nicht nur einen sicheren Schutz für das Personal, sondern auch gegen die Lichtbogenauswirkungen. Allseitig geschlossene Zellen und gekapselte Anlagen werden in Kraftwerkbetrieben nicht oft angetroffen, da die Übersicht und die Kontrollmöglichkeit schlechter sind. Sie sind da am Platze, wo nicht-instruiertes Personal in Schalträumen zu tun hat. Ölarme Schalter mit Steckkontakte auf ausfahrbaren Schaltwagen werden in Anlagen mit geringer Raumhöhe bevorzugt. Sie eignen sich daher besonders gut für unterirdische Anlagen. Ihr Einbau bedingt eine genaue Montage, damit beim Einfahren der Schalter ein richtiges Kontaktgeben gewährleistet ist.

Weil Erschütterungen an allen Leistungsschaltern beim Schaltvorgang nicht zu vermeiden sind, sollen die Hochspannungsanschlüsse flexibel gestaltet werden.

Abschliessend darf festgestellt werden, dass sich die neueren Schalterkonstruktionen sowohl der Druckluft- als auch der ölarmen Schalter bewährt haben.

Wenn einzelne Mängel kritisch beleuchtet worden sind, so diene diese Kritik einem gegenseitigen, sehr willkommenen Erfahrungsaustausch.

Adresse des Autors:

A. Strehler, dipl. Ingenieur, Direktor des Elektrizitätswerkes der Stadt St. Gallen, St. Gallen.

Diskussionsbeiträge

A. Brunner, Ingenieur der Bernischen Kraftwerke AG, Bern: In der Aera der Kesselölschalter bauten die BKW ihre Mittelspannungs-Schaltanlagen (16 kV) ab 1925 sozusagen ausschliesslich als Freiluftanlagen, um die bekannten, dem Kesselölschalter eigentümlichen Gefahren auf ein Minimum zu reduzieren.

Seit der Einführung der ölarmen und ölfreien Schalter hat sich nun die Praxis radikal geändert, indem sämtliche neu erstellten Mittelspannungs-Schaltanlagen als Innenraumanlagen ausgeführt werden. Die offene Bauart hat sich (Fig. 1) wegen ihrer Übersichtlichkeit durchgesetzt; die Schalter sind einheitlich auf

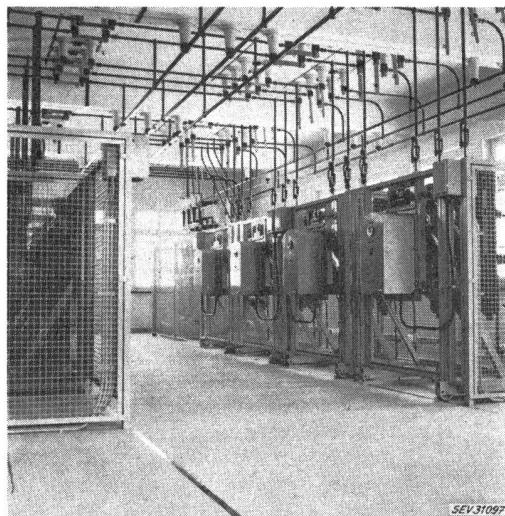


Fig. 1

16-kV-Schaltanlage, offene Bauart

Fahrgestellen montiert; die Trennwände zwischen den einzelnen Feldern (1,70 m hoch) und die Abschrankungen bestehen aus engmaschigen Drahtgittern.

In diesem Zusammenhang sei ein Wunsch an die Adresse der Schalterfabrikanten geäussert: Eine Vereinheitlichung der äusseren Abmessungen der Fahrgestelle (Höhe, Breite, Spurweite) zwischen den verschiedenen Fabrikaten würde eine sehr willkommene Rationalisierung des Schaltanlagenbaus bedeuten.

In den Unterstationen (Transformierung 50/16 kV) mit einer maximalen Kurzschlussleistung von rund 400 MVA werden allgemein ölarme Schalter (Fig. 2), in den Schaltanlagen der Kraftwerke Druckluftschalter (Fig. 3) verwendet.

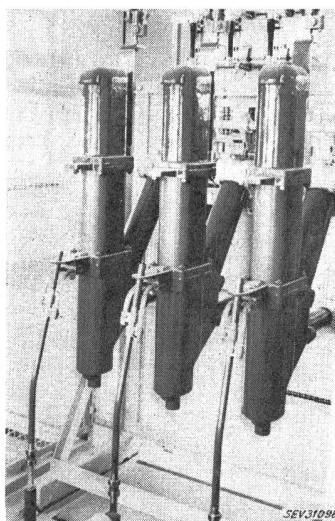


Fig. 2

Ölarmer Schalter, 16 kV

Die offene Bauweise hat neben unbestreitbaren Vorteilen auch Nachteile, von denen der wesentlichste die Möglichkeit des Wanderns eines Lichtbogens ist.

Das beste Mittel, die Schäden durch Lichtbogeneinwirkung klein zu halten, ist die Verkürzung der Brenndauer des Lichtbogens. Diese lässt sich auf relativ einfache Weise erreichen nach dem von *Ch. Jean-Richard* im Bull. SEV Bd. 51(1960)2, S. 62 (Der Schutz von 16-kV- und 50-kV-Sammelschienen) angegebenen Prinzip des gesteuerten Sammelschienenschutzes. Damit kann bei Nichtansprechen der vorgelagerten Feederrelais oder nachdem sie

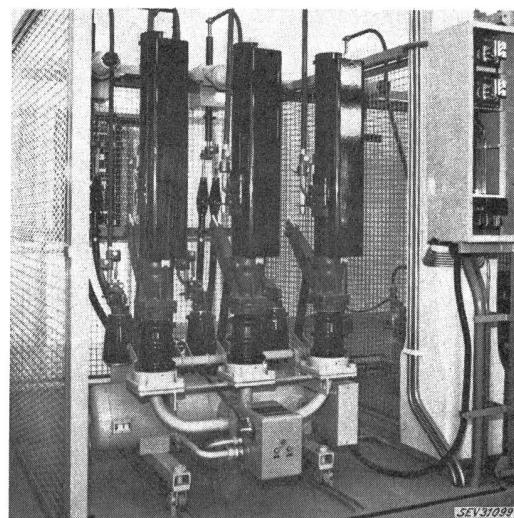


Fig. 3

Druckluftschalter, 16 kV

zurückgefallen sind, ein auf 0,2 s eingestelltes Hilfsrelais die einspeisenden Transformatoren abschalten, sofern der Kurzschluss dann noch besteht. Die normale Staffelung der Relaiszeiten wird somit bei Eintreten eines Sammelschienenkurzschlusses durchbrochen, so dass die Lichtbogenschäden bei den in den 16-kV-Anlagen der BKW auftretenden Kurzschlußströmen von etwa 14 kA (Effektivwert) auf ein Minimum beschränkt bleiben.

Prof. Dr. A. Hochrainer, Hochspannungsinstitut der AEG, Kassel: Es scheint zweckmäßig, die Ausführungen von *P. Joss* in einigen Punkten zu ergänzen:

Zunächst ist darauf hinzuweisen, dass die von ihm in der Tabelle angegebenen Kurzschlussleistungen die Klemmenleistungen, zum Teil sogar die dabei auftretenden Einschaltleistungen der Maschinen darstellen. Diese Leistungen können aber nicht voll ausgenutzt werden. Massgebend sind die in den Versuchszellen zur Verfügung stehenden Kurzschlussleistungen, die sich infolge des Einflusses der Reaktanzen der Verbindungsleitungen und der Transformatorenreaktanzen ergeben. Auch die Kurzschlussfestigkeit der Transformatoren begrenzt oft die ausnutzbare Leistung. Man muss daher die angegebenen Leistungen der Tabelle von *P. Joss* im Mittel vielleicht durch zwei dividieren, um die ausnutzbaren Leistungen zu erhalten. Es besteht auch wenig Hoffnung, dass die ausnutzbaren Leistungen in den nächsten Jahren oder im nächsten Jahrzehnt wesentlich grösser werden. Auf Grund meiner Kenntnis fast der meisten grossen Hochleistungsprüffelder und deren Kosten habe ich geschätzt, dass eine in die Maschine installierte zusätzliche Prüfleistung von 1 GVA auf ungefähr 5 Millionen Franken kommt. Da nun die Zahl der Schalter extrem grosser Leistungen beschränkt ist, so ist der auf den einzelnen Schalter entfallende Betrag der Investitionskosten der Prüfleistung immer grösser, je höher die Leistung wird. Es kommt noch hinzu, dass bei der Aufstellung weiterer Maschinen der effektive Gewinn an ausnutzbarer Leistung mit zunehmender Zahl der Maschinen immer kleiner wird, da sich bei einer grösseren Zahl von Maschinen zwangsläufig längere Entfernung und damit ein immer stärker werdender Leistungsabfall ergeben.

Dies alles ist einer der wesentlichen Gründe, warum man sich so sehr mit der Entwicklung der synthetischen Schaltungen befasst. Dabei ist die Entwicklung schon weiter vorgeschritten, als sie *P. Joss* geschildert hat, und die synthetischen Schaltungen haben nicht nur die Hoffnung, sondern auch schon den Beweis geliefert, dass es mit ihnen möglich ist, auch Schalter grösserer Leistung mit voller Leistung zu prüfen. Ich will mich hier in erster Linie auf die Weil-Schaltung beziehen, für die *P. Joss* schon anerkennende Worte gefunden hat und darauf hinweisen, dass man bei dieser schon seit mehreren Jahren von der Be-

schränkung auf eine Halbwelle frei ist. Das von der AEG verwendete Verfahren zur Prüfung mit mehreren Halbwellen ist sogar so zweckmässig, dass wir es im laufenden Betrieb heute fast ausschliesslich anwenden und auch bei den Schaltern, bei denen man an und für sich mit einer einzigen Halbwelle prüfen kann. Die Probleme der Steuerung sind dabei keineswegs besonders schwierig, wenn man nur einmal begonnen hat, damit richtig zu arbeiten. Die synthetischen Schaltungen sind dabei, immer mehr an Verbreitung zu gewinnen, und in vielen Versuchsfeldern wird daran gearbeitet, sich die Einrichtungen für solche Prüfungen zu schaffen.

Es ist interessant, auch die Kostenfrage zu betrachten. Im Mittel kann man mit einer synthetischen Schaltung, wie der AEG-Schaltung nach *Weil-Dobke*, die Leistung des Generators verzehnfachen. Rechnet man, dass die Einrichtungen für die Weil-Schaltung ungefähr 50...60 % des Aufwandes für einen Generator erfordern, so kann man für diesen Betrag die Leistung von 9 Generatoren erhalten, d. h. die Einheit der Leistung kostet nur ungefähr 5...6 % des Betrages, den man bei der Aufstellung von Generatoren aufwenden müsste. Die synthetischen Schaltungen stellen mit Sicherheit das Verfahren der Zukunft dar und bei der Untersuchung der von dieser oder jener Seite noch gemachten mehr oder weniger theoretischen Einwände möge man bedenken, dass es noch immer besser ist, einen Schalter mit voller Leistung bei vielleicht 1 % theoretischem Fehler synthetisch zu prüfen, als mit direkter Prüfung bei halber Leistung.

G. Plüss, Chef der Bauabteilung der Elektra Birseck, Münchenstein: Auf zwei im Vortrag behandelte Fragen möchte ich kurz näher eintreten:

1. *Zellenbauweise oder offene Anlagen*. Es wurde erwähnt, dass viele Elektrizitätswerke die Zellenbauweise mit festgemauerten Trennwänden beibehalten, andere wiederum die neuzeitlichere, offene Bauweise vorziehen. Für Kraftwerke und Unterwerke mit ihren oft langen Schalterreihen scheint die offene Bauweise wegen der guten Übersichtlichkeit zweckmässiger zu sein. Dabei ergeben sich aber zwischen Anlagen mit frontseitig eingebauten Druckluftschaltern und solchen für Bodenmontage bedeutende Unterschiede im Bezug auf Übersichtlichkeit, gute Beleuchtung, Leitungsführung und Eisenkonstruktionen. Als Schutzmassnahme bei Montagearbeiten in den Schaltzellen dienen dabei mobile Schutzwände, welche in besondere Schlitze eingeschoben werden können. Wichtig ist, dass diese Wände auf ihrer ganzen Höhe gegen beide Nachbarzellen lückenlos schliessen.

Dem Einwand, dass gemauerte Wände und Sammelschienenabdeckungen den besten Schutz gegen wandernde Lichtbögen bilden, kann entgegengehalten werden, dass wir die Anlagen besser gegen solche Störungen schützen, wenn wir deren Ursachen möglichst beseitigen. Eine häufige Ursache sind die Fehlschaltungen. Wir haben mit den bekannten elektrischen und pneumatischen Verriegelungen, die wir seit 15 Jahren für alle neuen Unterwerke anwenden, gute, ja sehr gute Erfahrungen gemacht. Schenkt man für die Bedienung grösserer Anlagen auch der personellen Seite alle Sorgfalt, so gehören grosse Störungen zu den Seltenheiten.

Für Netztransformatorstationen ist die Frage, ob offene Bauweise oder Zellenbauweise, wiederum vielleicht mehr von der Seite der Personalsicherheit her zu entscheiden. Doch gibt es auch hier neuere Wege. Gegenüber den aufgemauerten Bauplatzmauern haben z. B. Holzspanplatten den Vorteil, dass sie bei geeigneter Konstruktion einfach eingeschoben und belassen, oder auch nur zu Montagezwecken angewendet werden können. Auch hier ist es nötig, dass die Wände lückenlos schliessen.

2. *Einbaufragen für ölarme Schalter*. Grosse und mittlere Elektrizitätswerke sind schon vor Jahren dazu übergegangen, ihre Bauweise für Hochspannungsanlagen zu normen, also für ihre Netze einheitlich zu gestalten. In neuerer Zeit, nachdem dies bei Konstruktionen der Schaltanlagen-Industrie schon lange üblich ist, geht man auch dazu über, eigene Baukastensysteme zu entwickeln. Ein Baukastensystem ist aber nur dann nützlich, wenn es vielgestaltig in der Anwendung und rationell in der Montagemethode ist. Der Bau, der Betrieb und die spätere Erweiterung der Anlagen sollen nicht an einzelne Apparatefabrikate gebunden sein, d. h. die Befestigungsmethoden gleichartiger

Apparate der verschiedenen Fabrikate müssen vom Anlagenkonstrukteur her auf die gleiche Linie gebracht werden.

Für Anlagen in Mittelspannungsnetzen gibt es Lösungen, welche geeignet sind, das gesteckte Ziel zu erreichen. Eine Möglichkeit soll am Beispiel der fest montierten ölarmen Schalter erklärt werden:

Um eine ganz allgemeine Befestigungsbasis auf dem Schaltgestell zu erhalten, bedienen wir uns der Ankerschienen, welche unsichtbar in die Vertikalstützen der Hochspannungsgestelle geschweißt werden. Damit erreichen wir volle Freiheit in der Wahl der Einbauhöhen und der Traversedistanzen; ferner ist gleichzeitig für die Befestigung aller übrigen Teile, wie Trennschalter, Endverschlüsse, Gitter- oder Glastüren gesorgt. Neben der Einbauhöhe und der Traversedistanz muss noch der unterschiedliche Lochabstand überbrückt werden. Dies geschieht hier durch zwei parallel geführte Vierkantrohre pro Traverse, welche zusammen einen durchgehenden Schlitz bilden. Mit jedem Schalter, welcher bestellt wird, läuft parallel eine Bestellung für den passenden Zellenabschluss.

Aus dieser Methode resultiert der Vorteil, dass Auswechselungen von Schaltern gleichen Fabrikates aber verschiedener Abschaltleistung oder verschiedener Antriebsart, sowie Auswechselungen von Schaltern zweier Fabrikate gegeneinander, unvorbereitet, also auch im Störungsfall, ohne Schwierigkeiten bewerkstelligt werden können.

W. Ryf, Chef des Netzrevisionsdienstes des Elektrizitätswerkes der Stadt Zürich, Zürich: Im Anschluss an die interessanten Ausführungen von Direktor *A. Strehler* erlaube ich mir zu erwähnen, dass auch unsere Erfahrungen seine Darlegungen weitgehend bestätigen.

Wegen der wesentlich erhöhten Kurzschlußleistung haben wir für unser 11-kV-Netz in Zürich über 700 ölarme Schalter von 500 MVA und Druckluftschalter von 600 MVA Leistung angeschafft, weil die Rundkesselschalter seit längerer Zeit nicht weiter entwickelt wurden.

In Hochspannungsanlagen können durch kleinste Ursachen grosse Schäden entstehen. Es ist daher von grösstem Nutzen, wenn der Netzrevisionsdienst zuverlässiges Personal besitzt, das nicht den Weg des geringsten Widerstandes wählt, sondern immer wieder darauf ausgeht, Fehler rechtzeitig zu entdecken. Dies ganz besonders an Schaltapparaten. Es darf auch nicht nachgegeben werden, bis die Ursachen, wenn nötig in Zusammenarbeit mit den Fabrikanten, erforscht und einwandfrei behoben sind.

Mit den ölarmen Schaltern hatten wir in den letzten Jahren, bei der Kontrolle, viele Auslöse-Störungen, wegen häufig verrosteter Kugellager. Die Ursache dafür bildeten kleine Spuren von Härtesalz-Rückständen, die im Wellenende, und zwar im Drehspitzen-Zentrum vorgefunden wurden. Später konnten die Schalter wegen zahlreicher Verharzungen der Kugellager infolge Fehlens von geeignetem Lagerfett bei der Kontrolle nicht ausgelöst werden.

Schalter konnten aber auch wegen wiederholten Brechens kleiner Auslöser-Bestandteile nicht mehr aus- und eingeschaltet werden. Durch Verbesserung der Schlagbegrenzung konnte dieser Fehler behoben werden.

Auch zu harter Abzug des Schaltermechanismus anlässlich der Relaisprüfungen verhinderte bei langsam ansteigendem Strom ein einwandfreies Ausschalten. Als Ursache konnte das Fehlen der Auslösekraft-Speicher, die bei bestimmten Schalttypen nötig sind, festgestellt werden. Zu dünne Dichtungen, unsaubere Dichtungsfächen, poröser Guss, ungenauer Pass-Sitz usw. führten zu Dichtungsschwierigkeiten.

Schweifelhaltige Gummidichtungen verursachten gefährliche Kontakt-Erwärmungen infolge Bildung von schlecht leitendem Schwefelsilber an den Kontakten.

Falls die Vorkontakte nicht mit Wolfram-Einsatz ausgerüstet sind, entsteht schon bei verhältnismässig kleinem Abschaltstrom ein übermässiger Kontaktabbrand.

Die Folge von zaghaftem oder zu wenig kräftigem Einschalten auf Kurzschluss kann ein Verschweissen und Verbrennen der Kontakte verursachen. Es ist daher ein Federspeicher-Antrieb bei ölarmen Schaltern unerlässlich.

Zu bemerken ist, dass diese Fehler bei uns keine Netzstörungen bewirkt, sondern vorzeitig durch Revision erfasst wurden.



Fig. 1
Die in den Zellen festmontierten ölarmen Schalter werden für die Revision ausgefahren

Dabei sei ausdrücklich betont, dass erfreulicherweise alle die erwähnten Nachteile durch enge Zusammenarbeit mit den Fabrikanten restlos behoben wurden.

Starke Kontakterwärmung wirkt sich bis zum Verbrennen des Öles und der Kontakte viel rascher aus, als dies bei Rundkesselschaltern der Fall ist. Die Erwärmungen werden daher meistens zu spät bemerkt. Wir konnten zufällig einen beängstigenden Fall in einer unbedienten Station des Netzbetriebes beobachten, wo vom Beginn der starken Erwärmung an, innert etwa 20 min

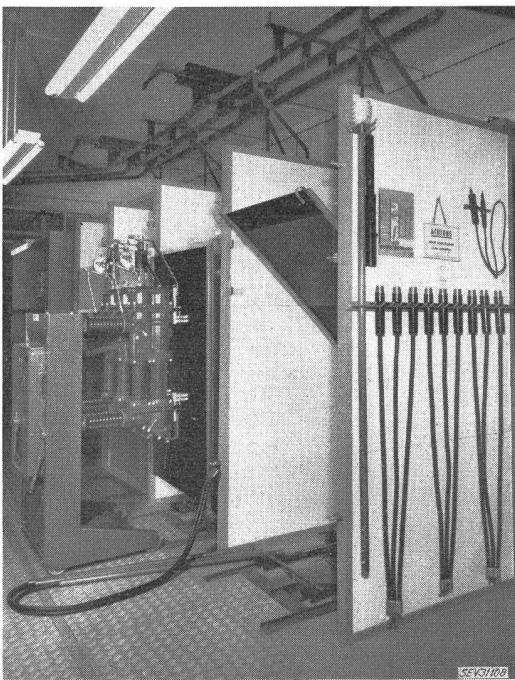


Fig. 2
Die ausrückbaren ölarmen Schalter sind fest an (zum Schalter gehörenden) Wagen montiert und bilden mit diesen eine Einheit

das Öl und die Kontakte eines Poles fast vollständig verbrannten. In einem andern Fall verbrannten Kontakte durch zaghafte Einschalten auf Kurzschluss (laut Relais-Zeit) innert 1,7 s.

Aufmerksam zu machen ist ferner darauf, dass in unterirdischen Stationen bei Überschwemmungen, die z. B. durch Leitungsbruch, Platzregen, Rückstauung usw. entstehen können, die ölarmen Schalter wegen der tief gelegenen Polanschlüsse und besonders wegen der am Boden montierten Kabelendverschlüsse gefährlich sind.

Die den Schaltern aufgebauten Primärrelais sind im Grunde genommen als zum Schalter gehörend zu betrachten. Es sei daher erwähnt, dass diese in etwa 400 Hochspannungsstationen in der Stadt Zürich seit 20 Jahren mit Ausnahme von nur 2 Fällen, bei Kurzschluss planmäßig ausgelöst haben (Zeitstaffelung 0,3 s). Dadurch wurden die Störungen im stark vermaschten Netz möglichst eingeschränkt. Mit der erhöhten Kurzschlussleistung wurde diese Zuverlässigkeit nachweisbar in Frage gestellt. Prüfungen mit Hochstrom, die der Sprechende im Prüfraum des SEV durchgeführt hat, ergaben z. B. an einem 240-A-Primärrelais bei einem Effektivstrom von 20,6 kA Einschaltspitzen von 55 kA, wobei mehrere Relais mechanisch versagten. Auch diese Fehler wurden an diesen Apparaten inzwischen behoben.

Störungsbehebungen und Revisionen der Antriebe von ölarmen Schaltern sind zeitraubend. Auf meinen Vorschlag wurden dann die Antriebe so hergestellt, dass der komplette Antrieb durch Lösen zweier Stifte und vier Schrauben ausgebaut und durch einen revidierten ersetzt werden kann.

In unseren engen Zellen war die Revision der übrigen Schaltenteile sowie das Ein- und Ausbauen der fest montierten ölarmen Schalter umständlich. Daher hat der Revisionsdienst einen neuartigen Ausbauwagen mit Winde hergestellt.

Am Wagen von nur 32 kg Gewicht wird der Schalter aufgehängt und mit Hebelgriff befestigt (Fig. 1). Damit zum Ausfahren aus der Zelle kein Gerüstholz aufgebockt werden muss, habe ich eine leicht transportable ineinander verschiebbare Laufschiene konstruiert, die rasch jeder Zelle angepasst werden kann. Der am Motorwagen befestigte ölarme Schalter ist nach dem Ausfahren von allen Seiten gut zugänglich. Damit das Wenden des Wagens in kleinem Bogen erfolgen kann, bedienen wir uns einer besonders konstruierten Heberstange mit Laufrolle. Nebst Druckluftschaltern und den in den Zellen fest montierten Schaltern,



Fig. 3
Lehre für die feste Montage der Trennisolatoren und der Laufschienen in den Zellen

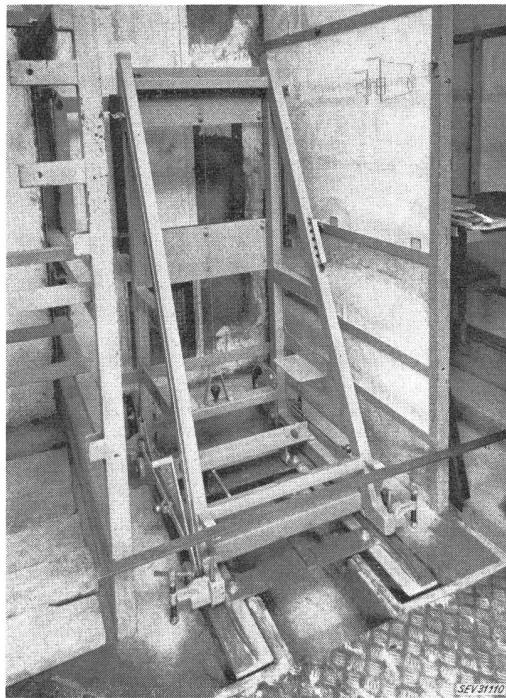


Fig. 4
Die Lehre in der Zelle

bestellen wir in neuester Zeit fast ausnahmslos ölarne Schalter, die, auf Wagen montiert, eine Einheit bilden. Diese Wagenschalter bieten den grossen Vorteil, dass die ganze Einheit ohne das Losschrauben von Verbindungen, also ohne jegliche Zeitverzögerung aus der Zelle herausgezogen werden kann (Fig. 2). Es ist nun aber auch dafür zu sorgen, dass die Schalterwagen unter sich oder z. B. gegen einen Reserveschalterwagen ausgewechselt werden können. Dies bedingt, dass zwischen den Schaltkontakten und den in der Zelle fest montierten Trennisolatoren in allen Fällen ein einwandfreier Kontakt zustande kommt. Dies kann nur dann erreicht werden, wenn 1. die Wagenschalter in der

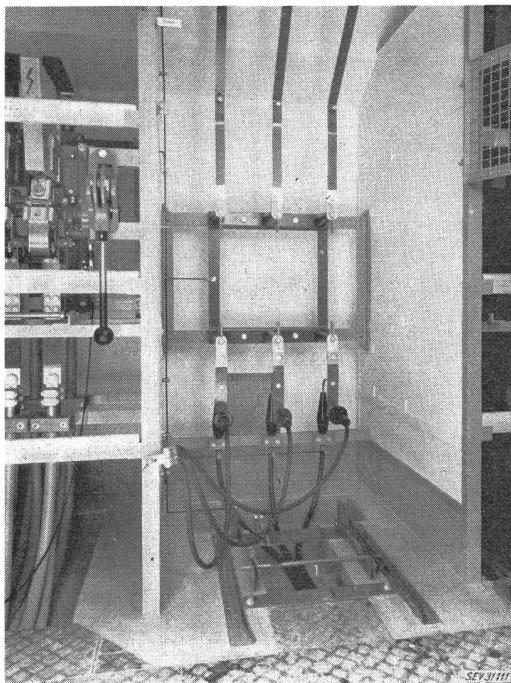


Fig. 5
Fertig montierte Zelle

Fabrik mit Lehre hergestellt und 2. die fest in den Zellen der Hochspannungsstation zu montierenden Laufschienen und die Trennisolatoren gegenseitig äusserst genau eingestellt, bzw. einbetoniert werden. Auf Anregung des Sprechenden ist für die Montage in der Station, in Zusammenarbeit mit den Schalter-Fabrikanten, eine zweckmässige, fahrbare Lehre hergestellt worden.

An dieser Lehre werden in der im Bau befindlichen Station zuerst die Trennisolatoren mit Isolierrahmen befestigt (Fig. 3). Dann fährt man mit der Lehre über die lose am Zellenboden liegende einzubauende Fahrschiene. Mit Flügelschrauben wird die Fahrschiene provisorisch an der Lehre befestigt, und mit vier Stellschrauben auf richtige Bodenhöhe eingestellt (Fig. 4). Gleichzeitig wird mit eingebautem Senklot und Anschlagschiene alles miteinander genau gerichtet. Dann werden hinten die Zelleneisen und (wie die an der Zellenwand angebrachte Skizze zeigt) die Differenz zwischen diesen und den Isolatorenrahmen einreguliert, endgültig festgeschraubt und die Laufschiene einbetoniert. Anstatt den Isolatorenrahmen auf Zelleneisen zu montieren, kann er auch mit Steinschrauben direkt in die Rückwand eingemauert werden. Nach dem Antrocknen werden die Isolatoren und die Fahrschienen von der Wagenlehre losgeschraubt und die Lehre ausgefahren (Fig. 5). Nur durch diese einwandfreie Montage der Fahrschienen und Trennisolatoren ist auch nach dem eventuellen Auswechseln der Schalter einwandfreier Kontakt zwischen Schalter und Trennisolatoren gewährleistet und der Zweck der Wagenschalter voll erfüllt.

H. Ruckstuhl, Ingenieur der AG Brown, Boveri & Cie., Baden: Vor einigen Jahren ereignete sich in Deutschland in einer Innenraumschaltanlage ein tragischer Unfall mit umfangreichem Personen- und Material-Schaden, verursacht durch Öffnen eines Trenners unter Last mit anschliessender Lichtbogenbildung. Angeregt durch dieses Ereignis führte die AG Brown Boveri & Cie. in ihrem Hochleistungsprüfstand eine ausgedehnte Versuchsserie durch, um die Auswirkungen von Kurzschluss-Lichtbögen in Schaltanlagen zu ermitteln und daraus die Schlussfolgerungen für deren zweckmässigste Bauweise ziehen zu können. Die Versuche erstreckten sich auf offene Schaltzellen verschiedener Bauformen (Fig. 1), und blechgekapselte Schaltfelder (Fig. 2).

Innerhalb der geprüften Versuchsobjekte, der Reihenspannungen von 10...30 kV, wurden künstlich Kurzschlusslichtbögen bis 66 kA (Effektivwert) und einer Brenndauer bis 1 s gezündet, und zwar bei offenen Schaltzellen in der Gegend der Trenner und Leistungsschalter, bei blechgekapselten Schaltfeldern in den verschiedenen durch Blechwände geschotteten Kammern. Mit Textilien, Haaren, Tierhäuten usw. behangene Drahtgitter, sowie Zeitlupenfilme dienten dazu, die Auswirkungen der Lichtbögen auf die Versuchsobjekte und deren unmittelbare Umgebung zu ermitteln. Die Momentaufnahme (Fig. 3) einer Zelle mit horizontaler Lichtbogenschutzdecke lässt erkennen, wie die Lichtbogen-

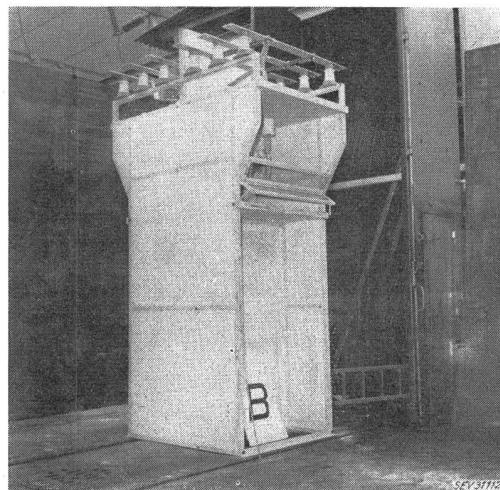


Fig. 1
Beispiel einer offenen Schaltzelle, verwendet für Lichtbogen-Versuche

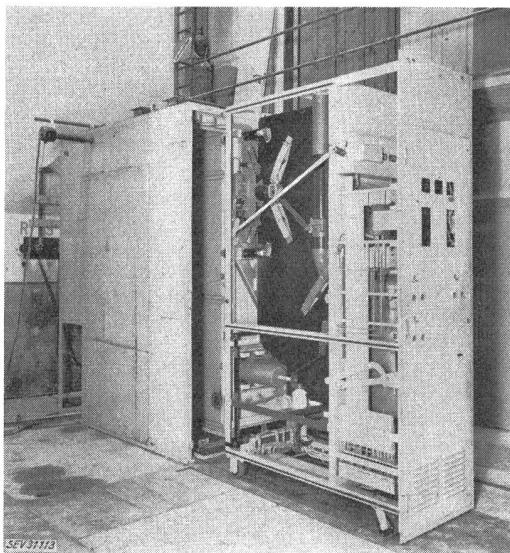


Fig. 2

Blechgekapseltes Ausziehschaltfeld mit Druckluftschalter 10 kV, unmittelbar vor den Lichtbogen-Versuchen

gase horizontal auf der Vorder- und Rückseite ausgestossen werden. Der Kurzschlußstrom betrug bei diesem Versuch 21 kA während 0,2 s. Oben auf den Zellen aufgebaute Druckentlastungskamine — wie sie hin und wieder propagiert werden — hatten sich bei diesen Versuchen nicht als sehr wirksam erwiesen.

Die hauptsächlichsten Erkenntnisse, welche aus den Versuchen gezogen werden konnten, lassen sich etwa folgendermassen zusammenfassen:

Alle denkbaren Vorsichtsmassnahmen sind zu treffen, welche von vornehmesten zur Verhütung der Lichtbogenbildung in Anlagen beitragen, wie einfache und übersichtliche Anlagedispositionen, Wahl geeigneter Geräte, wirksame Verriegelung von Trennern usw.

Wenn eine derartige Störung trotzdem auftritt, soll durch eine geeignete Schutztechnik der Fehler selektiv abgeschaltet werden. Die Dauer des Störlichtbogens, welche auf das Ausmass der Zerstörungen einen massgebenden Einfluss hat, ist so kurz wie nur irgendmöglich zu halten. Trenner sollten ferngesteuert werden, so dass sich für deren Betätigung kein Bedienungspersonal in den Schalträumen aufhalten muss. Die Ausbreitung von Störungen auf benachbarte Schaltfelder lässt sich praktisch verhindern durch Einbau von geeigneten Zellenzwischenwänden. In der in Fig. 4 dargestellten Anlage sind diese Zwischenwände aus Hartgips — welcher sich als Baustoff unter Lichtbogenein-

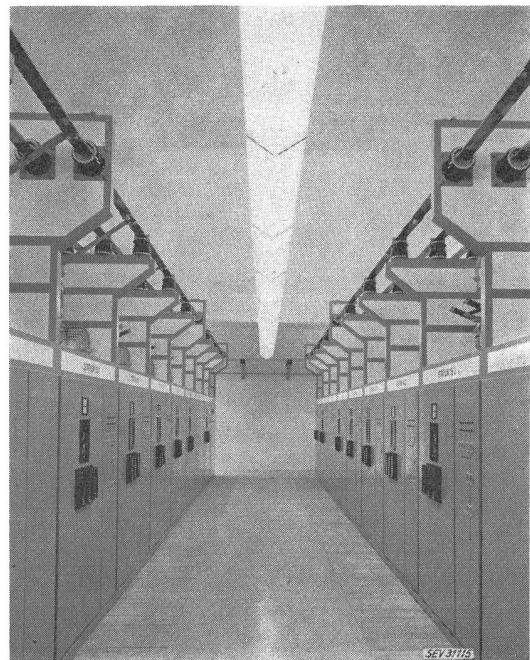


Fig. 4

Offene Schaltanlage für 8 kV Betriebsspannung, gebaut nach neueren Erkenntnissen

wirkung übrigens ausgezeichnet bewährt hat — nach jeder vierten Zelle bis gegen die Decke hochgezogen, um das Wandern eines allfälligen Lichtbogens längs der Sammelschienen über die ganze Anlage zu verhindern.

Türen von Leistungsschalterkammern aus Stahlblech haben sich gut bewährt, sofern sie mit starken Riegeln und Schlössern versehen werden, um zu verhindern, dass sie bei Störungen weggeschleudert werden und so unter Umständen Personen gefährden. Türen aus Drahtgitter können selbstverständlich das Personal nicht vor der Lichtbogeneinwirkung schützen; solche aus Sicherheitsglas halten der durch einen grösseren Lichtbogen erzeugten Druckwelle nicht stand; sie wurden bei den Versuchen vollkommen zertrümmert und die Glassplitter über viele Meter weit weggeschleudert.

Sinngemäße Schlussfolgerungen konnten aus den Versuchen mit den blechgekapselten Schaltfeldern gezogen werden. Die Anlage gemäss Fig. 5 besteht aus einer grösseren Anzahl von Feldern mit ausziehbaren Magnetschnellschaltern. Deren Frontseiten weisen zum Schutz des Personals doppelte Blechwände auf; benachbarte Zellen sind ebenfalls durch zweifache Wände

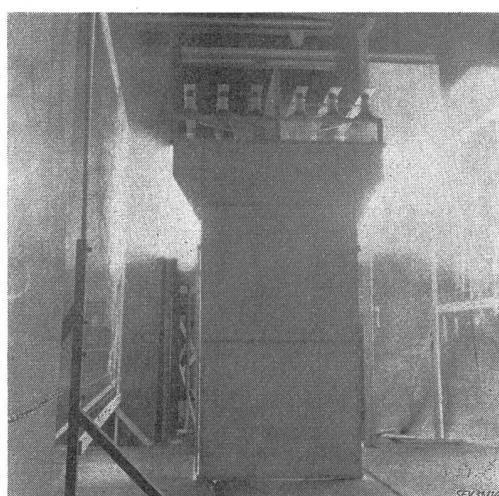


Fig. 3

Momentaufnahme eines Lichtbogen-Versuches mit einem Kurzschlußstrom von effektiv 21 kA während 0,2 s

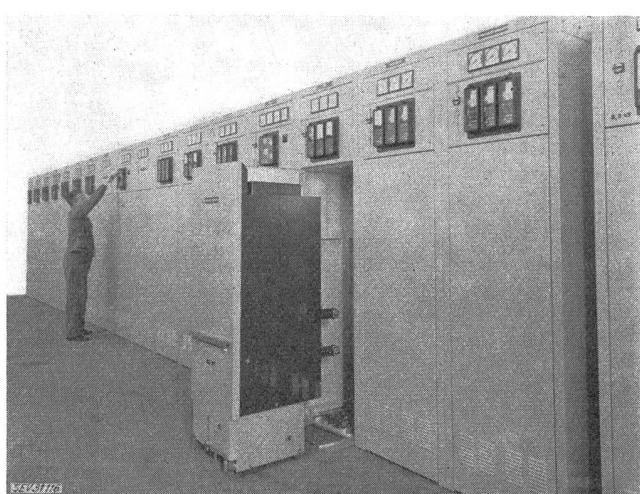


Fig. 5

Moderne blechgekapselte Schaltanlage mit Magnetschnellschaltern für 3,6 kV Betriebsspannung

voneinander getrennt. Der Schalterraum ist nach oben druckentlastet. Sind die Sammelschienen isoliert ausgeführt, besteht kaum die Gefahr, dass in diesem Raum ein Lichtbogen entsteht; im ungünstigsten Falle (Isolationsfehler) bliebe die Störung auf einen weit harmlosen einphasigen Erdschluss begrenzt.

Alle aus den Versuchen gewonnenen Erkenntnisse haben dazu beigetragen, betriebssichere Anlagen entwerfen zu können, welche zudem dem Bedienungspersonal weitgehenden Schutz bieten.

Prof. Dr. K. Berger, Versuchsleiter der Forschungskommission des SEV und VSE für Hochspannungsfragen, Zürich: Direktor *A. Strehler* und *H. Hartmann* haben Fälle beschrieben, wo Löschkammern von Ölschaltern bei der Kontrolle nach vielen Betriebsstunden starke Kriechspuren aufwiesen. *H. Hartmann* hat auch das Bild einer solchen Löschkammer gezeigt. Im Anschluss daran erlaube ich mir, eine Beobachtung zu schildern, die wir um 1940 herum bei Schaltversuchen beim Kraftwerk Wäggital in Siebenen machen konnten.

Beim Leerschalten mit einem dortigen Ölschalter für 150 kV, Baujahr etwa 1925, ergaben sich recht bescheidene Überspannungen, und der Kurvenverlauf der Spannung wies deutlich darauf hin, dass im Schalter ein Widerstand von der Größenordnung 5 kΩ vorhanden sein müsse. Der Betriebsleiter, der inzwischen leider verstorbene Direktor *Kraft*, war höchst erstaunt, als wir ihm von diesem Widerstand sprachen. Die hierauf geholten Zeichnungen des Schalters zeigten keinerlei Widerstand. Beim Öffnen des Schalters löste sich das Rätsel, indem über die Kammer auch mit Niederspannung tatsächlich ein Widerstand der Größenordnung 5 kΩ gemessen werden konnte, der von einem Russbelag an der innern Kammeroberfläche herrührte. Der Russbelag wurde in der Folge auf das Gewissenhafteste entfernt, und die Schaltversuche wiederholt. Das Ergebnis war, wie zu erwarten: Die Überspannungen fielen ganz beträchtlich höher aus.

Prof. Dr. D. Th. J. ter Horst, Technische Hogeschool Eindhoven, te Eindhoven (Niederlande): Wenn wir die Vorträge von *P. Joss*, *Prof. K. Berger*, *J. Schneider*, *G. Marty* und den von *P. Baltensperger*, *A. W. Roth* und *R. Petitpierre* gehört haben, dann wissen wir, dass die Prüfung von Schaltern noch immer von ausschlaggebender Bedeutung ist. Es ist dabei gleichgültig, ob es sich um Druckluft-, Gas-, Magnet-, Öl-, Vakuum- oder Wasserschalter handelt.

Wie gross die Unterschiede zwischen den verschiedenen Typen auch sein mögen, sicher ist, dass alle Leistungsschalter, soweit es den Abschaltvorgang betrifft, eine Eigenschaft gemeinsam haben und zwar die, dass es außerordentlich schwierig ist, einen guten Schalter nur im Konstruktionsbüro zu entwerfen. Man kann nun einmal des Versuchsfeldes nicht entbehren. Wir können Generatoren und Transformatoren mit ziemlicher Genauigkeit berechnen. Warum kann man dann Leistungsschalter nicht berechnen, warum brauchen wir eigentlich Hochleistungsprüffelder, und warum ist es notwendig, Abschaltversuche auf wahre Grösse durchzuführen?

P. Joss hat gezeigt, wie vorsichtig man sein muss bei Versuchen, die von den wirklichen Netzverhältnissen abweichen.

Warum kann man diese Versuche nicht in verkleinertem Maßstab ausführen, also mit kleineren Spannungen und Strömen?

Diese Fragen sind darum so wichtig, weil die Einrichtungen einer Hochleistungsanlage außerordentlich kostspielig sind. Es ist klar, dass die Kosten solcher Anlagen und die der Versuche in einem Kurzschlussprüffeld den Preis des Leistungsschalters beeinflussen werden.

Die Antwort auf die Fragen findet man darin, dass wir die Eigenschaften und Ähnlichkeitsgesetze von transientes Hochdruckgasentladungen nicht in dem Masse kennen, dass wir den Abschaltvorgang im voraus bestimmen, oder aus Versuchen in verkleinertem Maßstab ableiten können.

Die Konstrukteure können dafür schliesslich die Physiker verantwortlich machen. Sie haben den Konstrukteuren bis heute nicht die Grundlagen dieser Gasentladungen in genügender Detaillierung zur Verfügung gestellt.

Wir könnten aber noch einen Schritt weiter gehen und fragen, warum wir immer wieder Schalter konstruiert haben, die

auf dem Prinzip basieren: Trenne zwei Kontakte, zünde ein Feuer an, und versuche den Brand so schnell wie möglich und ohne Schaden zu löschen.

Das haben wir jetzt schon über 60 Jahre immer wieder mit grösseren Strömen versucht. Wir hatten dabei den Vorteil, dass Wechselströme in Funktion der Zeit Nulldurchgänge des Stromes aufweisen. Ich befürchte aber, dass wir mit dieser Methode in Schwierigkeiten geraten, sobald wir das Schaltproblem von sehr hoch gespanntem Gleichstrom betrachten. Ich glaube sogar, dass dieses Schaltproblem eines der wesentlichen Probleme ist, die der Weiterentwicklung der Gleichstromübertragung im Wege stehen.

Es ist aber bis heute noch nicht abzusehen, ob wir andere Methoden für die Unterbrechung von Kurzschlüssen bei sehr hohen Spannungen finden können. Auch die stürmische Entwicklung auf dem Halbleitergebiet gibt uns noch nicht viel Hoffnung. Man wird wahrscheinlich vorläufig beim gleichen Löschprinzip und auch bei analogen Prüfmethoden bleiben.

Wenn wir aber beachten, dass die Kurzschlussleistungen immer zunehmen werden, sogar manchmal mehr als linear mit der Nennleistung, dann wird es völlig klar, dass die Leistungen der Prüffelder damit nicht Schritt halten können. Sowohl die Prüffelder der Hersteller von Schaltern als auch diejenigen der neutralen Prüfstellen können das einfach nicht.

P. Joss hat in einem Lichtbild die maximalen Leistungen einiger Prüffelder gezeigt, daraus geht klar hervor, dass diese Leistungen auch für die elementweise Prüfung nur noch knapp ausreichen.

Man muss also, wenn wir beim selben Löschprinzip bleiben, notwendigerweise die Erkenntnisse über die Eigenschaften des Lichtbogens so schnell wie möglich erweitern, und zugleich zu anderen Prüfmethoden greifen. *P. Joss* hat in seinem Vortrag auf die Möglichkeiten hingewiesen, wodurch man vielleicht mit der Prüfleistung weiter kommen kann. Bei vielen Firmen, die Schalter, hier in der Schweiz und im Ausland bauen, sind Untersuchungen von prinzipieller Art über transiente Starkstromentladungen im Gang. Ob man davon schnell so weitreichende Resultate erwarten kann, dass wir in nächster Zeit Leistungsschalter berechnen können, ist sehr schwer zu sagen. Dass aber dieses Problem von der Lichtbogenlöschung, oder im allgemeinen, von der Abschaltung von Kurzschlüssen, vor allem bei hochgespanntem Gleichstrom, sehr wichtig ist, davon bin ich überzeugt.

A. W. Roth, Direktor der Sprecher & Schuh AG, Aarau: Zu den Bemerkungen und Beobachtungen verschiedener Referenten und Vortanten sei noch folgendes festgehalten:

Verschiedentlich wurde angeführt, dass Druckluftschneellschalter in Unterwerken wegen kürzerer Schaltzeiten bevorzugt würden. Der Vergleich der Schaltzeiten mit einigen mir bekannten ölärmigen Schaltern zeigt jedoch, dass diese im wesentlichen gleich sind, indem sie bei älteren Schaltern 4 Perioden, bei neueren Schaltern 3 Perioden und in Spezialfällen gegen 2 Perioden betragen können. Bezüglich der Frage der Sicherheit von Anlagen gegenüber Lichtbogenkurzschlüssen bzw. dem Schutz des Personals gegenüber solchen Vorgängen decken sich die von Sprecher & Schuh gemachten Feststellungen im grossen und ganzen mit denjenigen von *H. Ruckstuhl*. Die aus Versuchen gewonnenen Erkenntnisse finden auch in den Konstruktionen von gekapselten Mittelspannungsanlagen einen Niederschlag in ähnlichem Sinne. In engem Zusammenhang mit der Frage der Personalsicherheit in Anlagen steht die Möglichkeit der raschen Kurzschlussabschaltung auf Sammelschienen. Wir haben in dieser Beziehung in unserer eigenen Prüfanlage den raschesten mir bekannten diesbezüglichen Schutz eingebaut, werden doch in Zusammenarbeit mit einem ölärmigen Schalter Kurzschlüsse mit einer totalen Kurzschlussdauer von 0,06 s abgeschaltet. Die Eigenzeit der Schutzrelais selbst beträgt 0,01 s. Sie wird durch die Verwendung von Photozellen erreicht. Ihre Funktion ist unabhängig von der normalen Raumbeleuchtung und kann jederzeit mit geringstem Aufwand überprüft werden. Der Vorteil eines solchen Schutzes ist dessen völlige Unabhängigkeit vom normalen Relaischutzkreis (Überstrom-, Distanz- oder Differentialschutz), so dass ein Nichtfunktionieren dieses Ultraschnellschutzes eine Auslösung mit normaler Relaiszeit in keiner Weise behindert.

Aus den Darlegungen der verschiedenen Referenten konnte sicher der Eindruck gewonnen werden, dass die Mannigfaltigkeit der Löschsysteme im Bereich der mittleren Spannungen sehr hoch ist. Es wurden erwähnt: Die Ölkesselschalter, die ölärmiger Schalter, die Druckluftschalter und die Magnetschalter. Alle diese Schalter wurden in ihrer grundsätzlichen Bauweise vor 20 und mehr Jahren entwickelt. Zu diesen 4 Systemen kommen heute noch 2 weitere dazu, die in den letzten Jahren eine gewisse Bedeutung in der Fachpresse gefunden haben, SF₆ und Vakuum.

Wenn in den Referaten von diesen beiden Systemen wenig oder nicht die Rede war, so bedeutet dies nicht, dass sich die Industrie in der Schweiz völlig daran desinteressiert, sondern ist vielmehr dem Umstand zuzuschreiben, dass diese Systeme heute gegenüber den auf dem Markt befindlichen Geräten keine erhebliche Vorteile zu bieten vermögen. Sobald sich diese Sachlage ändern sollte, bin ich überzeugt, dass sich die schweizerische Industrie auch für die Verbreitung dieser oder anderer neuer Löschsysteme einsetzen wird.

Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

Hubschrauber für den Bau von Freileitungen

629.135.423 : 621.315.17

[Nach H. C. Weiler: Hubschrauber für den Bau von Freileitungen. ETZ-B 13 (1961) 24, S. 647..651]

Für die Verwendung von Hubschraubern im Freileitungsbau auf breiterer Basis sind die Maschinen mit grosser Tragkraft notwendig. In Übersee, insbesondere in den USA, wurden schon vor einigen Jahren Versuche mit grossen Hubschraubern gemacht. Im Jahre 1957 wurden dort bereits Holzmasten mit Gewichten zwischen 450 und 750 kg transportiert. Der Hubschrauber hat sich bei diesen Arbeiten bewährt, und es konnten Kosten-Einsparungen von etwa 40 % erzielt werden.

Als Folge der guten Erfahrungen wurde 1958 in Kalifornien bereits begonnen, in bergigem und unzugänglichem Gelände den Beton für die Fundamente zu den Mastenbaustellen zu fliegen. Dann wurden auch leichtere Stahlgittermäste in Teilstücken von 1,5 t direkt auf die Baustellen transportiert. Es gelang sogar routinierten Piloten, die Mäste in drei Teilen genau auf die Betonfundamente und übereinander zu setzen, so dass mit Hilfe von wenigen Monteuren, die vom Boden aus mit Seilen nachhalfen, innert kürzester Zeit ganze Mäste aufgebaut werden konnten. Der Transport solcher Mäste über Entfernungen von 6,4...9,4 km erforderte im Durchschnitt eine Flugzeit von 24 min.

1959 wurden in Puerto Rico auch die Leitungsseile mit einem Hubschrauber verlegt, wobei die Seiltrommeln am Boden drehbar installiert waren und das Freileitungsseil-Ende am Hubschrauber befestigt war. So konnten Seillängen bis zu 3000 m ausgezogen werden.

In den folgenden Jahren wurden in den USA weitere Versuche bei grösseren Bauvorhaben gemacht, so dass man schliesslich ganze Leichtmetall-Portalmaстen von 24 m Höhe transportierte. Nach Angaben der American Power Company konnten die Bauzeiten wesentlich, d. h. bis zu einem Drittel der früheren üblichen Dauer verkürzt werden.

Bisher erfolgte der Hubschraubereinsatz fast ausschliesslich bei schwierigen Geländeverhältnissen. Die günstigen Angaben aus den USA können aber kaum auf europäische Verhältnisse übertragen werden. Insbesondere spielt hier das ganz anders geartete Lohn-Preisgefüge eine wesentliche Rolle. Mangel an Arbeitskräften und Termintschwierigkeiten könnten allenfalls auch in Westeuropa dazu führen, vermehrt Hubschrauber im Freileitungsbau einzusetzen, sofern geeignete Maschinen zur Verfügung stehen. Eine Zunahme von deren Verwendung ist sicher dann zu erwarten, wenn man auch in Europa über Hubschrauber mit grösserer Tragkraft verfügt. Neue, grössere Maschinen, welche in den USA bereits im Dienst stehen, können Gewichte von 3,7 t, auf kurze Distanzen sogar bis 4,2 t tragen.

In England werden zur Zeit Experimente mit dem sog. «Rotodyne» gemacht. Es handelt sich dabei um eine Mischung zwischen Verkehrs-Frachtflugzeug und Hubschrauber, das in der Lage sein soll 8 t zu tragen. Allerdings ist bei solchen Typen die Wirtschaftlichkeit bei überwiegender Verwendung als fliegender Kran in Frage gestellt.

Gesamthaft darf heute jedoch gesagt werden, dass die Versuche, Hubschrauber im Freileitungsbau zu verwenden, deren Eignung als Transportmittel und als fliegender Kran erwiesen haben. Sofern durch neuere grössere Hubschrauber mit wesentlich höherer Tragkraft die Anwendungsmöglichkeiten im Freileitungsbau erweitert werden können und diese Typen auch im Betrieb wirtschaftlicher werden als die heute verbreiteten Bauarten, könnten damit bei entsprechender Bauplanung günstige Ergebnisse erzielt werden.

Bemerkungen des Referenten:

Es mag den Leser interessieren, dass auf Grund der guten Erfahrungen in den USA die Nordostschweizerischen Kraftwerke AG im Sommer 1956 beim Bau ihrer 220-kV-Leitung Mühleberg — Laufenburg Hubschrauber für den Leitungsbau verwendeten. Seither hat sich der Hubschraubereinsatz für den Freileitungsbau in der Schweiz des öfteren wiederholt. Er erwies sich als sehr einfach, zweckmässig und vor allem zeitsparend, so dass sich die Wirtschaftlichkeit auch weiterhin in topographisch schwierigem Gelände jederzeit bestätigen wird.

Vor kurzem konnte auch der Transport von Holzstangen beim Bau einer Leitung im Tessin erfolgreich durchgeführt werden.

W. M. Niggli

Faser-Optik¹⁾

666.189.2 : 77.02

Das erste photographische Kolloquium im Jahr 1962 brachte einen Vortrag von PD W. Lotmar über das Thema «Faseroptik».

Die deutsche Bezeichnung für dieses Spezialgebiet der Optik leitet sich vom englischen Ausdruck «Fiber optics» ab und kann umschrieben werden mit «Bildübertragung durch Glasfaserbündel». Der im Referat vorgetragene Überblick zeigte ein Fachgebiet, das sich aus unbedeutenden Anfängen, vor allem in den letzten sechs Jahren, dank intensiver Forschung in den Vereinigten Staaten stürmisch entwickelt hat. Die Faseroptik findet in Wissenschaft und Technik in verschiedener Weise Anwendung und gewinnt dadurch stets an Bedeutung.

Die Grundlage stellt die Totalreflexion im Innern eines Glasstabes dar. Wird eine Stirnfläche eines gewöhnlichen Glasstabes beleuchtet, so tritt innerhalb eines geeigneten Winkels Totalreflexion an der Zylinderwand ein, das Licht kommt beim anderen Ende des Stabes praktisch quantitativ wieder heraus. Auch gekrümmte Stäbe zeigen dieselbe Erscheinung, wenn die Krümmung nicht so gross ist, dass der Winkel der Totalreflexion unterschritten wird. Dieses Phänomen kann nicht nur zur Lichtleitung verwendet werden, sondern ebenfalls zur optischen Bildübertragung, wenn man an Stelle eines einzelnen Glasstabes ein Bündel von tausenden von feinen, parallel ausgerichteten Glasfasern nimmt. Wird auf das eine Ende eines solchen Bündels ein Bild projiziert, so erscheint dieses ohne wesentliche Lichtverluste am andern Ende, jedoch in ein Raster aufgelöst, welches der Feinheit der Fasern entspricht. Die Intensitätsverluste entstehen fast ausschliesslich durch die Eigenabsorption der verwendeten Gläser. Mit geeigneten Sorten kann diese jedoch sehr klein gehalten werden. So lassen z. B. gebogene Glasfaserbündel von zwei bis drei Metern Länge noch rund 50 % des eingestrahlten Lichtes austreten.

Das Prinzip der Lichtleitung, welches in der Faseroptik angewandt wird, ist schon lange bekannt. So wurden vor rund hundert Jahren Experimente ausgeführt, welche die Übertragung von Licht durch einen gekrümmten Wasserstrahl zeigten. In den Dreissigerjahren unseres Jahrhunderts wurden die ersten Versuche unternommen, diese Methode zur Bildübertragung in Endoskopen für medizinische Zwecke und zur Vergrösserung des Bildes von Kathodenstrahlzosillographen zu benützen.

Zur Übertragung eines Bildes von brauchbarer Qualität sind zwei Voraussetzungen notwendig, die ihre technische Lösung erst in neuerer Zeit fanden und damit der Glasfaseroptik zu grossem Aufschwung verhalfen. Eine dieser Forderungen besteht darin,

¹⁾ Bericht über das fünfte Kolloquium des Wintersemesters am Photographischen Institut der ETH vom 11. Januar 1962.