

Zeitschrift:	Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber:	Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band:	49 (1958)
Heft:	20
Rubrik:	Energie-Erzeugung und -Verteilung : die Seiten des VSE

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: 11.01.2026

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

Energie-Erzeugung und -Verteilung

Die Seiten des VSE

Fragen des Brandschutzes und der Brandbekämpfung in elektrischen Anlagen

Bericht über die 18. Diskussionsversammlung des VSE vom 29. Mai 1958 in Bern

Brandmöglichkeiten und Brandschutz in elektrischen Anlagen

von M. Grossen, Bern

Nach einigen allgemeinen Bemerkungen wendet sich der Referent den Brandgefahren in elektrischen Anlagen, sowie den Verhütungs- und Schutzmassnahmen zu. Dabei werden die Möglichkeiten zur Verhütung von Transformatorenbränden eingehend besprochen. Sodann erläutert der Referent ausführlich die Schutzmassnahmen für den Fall eines Brandes und kommt zum Schluss auf die Brandbekämpfung in elektrischen Anlagen zu sprechen, bei welcher Gelegenheit auch die Frage behandelt wird, ob unter Spannung gelöscht werden darf oder nicht.

614.94 : 621.311.42

Après quelques remarques préliminaires générales, l'auteur passe aux dangers d'incendie dans les installations électriques, ainsi qu'aux mesures préventives et de protection. Il examine en détail les possibilités d'empêcher les incendies de transformateurs, puis il décrit les mesures de protection à mettre en œuvre en cas d'incendie et parle enfin de la lutte contre le feu dans les installations électriques, traitant en particulier la question de savoir s'il convient ou non d'éteindre sous tension.

Allgemeines

Durch Verkettung unglücklicher Umstände bestehen in elektrischen Anlagen unzählige Brandmöglichkeiten. Dabei wollen wir uns hier ausschliesslich auf die zu normalen Zeiten bestehenden Brandgefahren beschränken und nicht weiter auf die zusätzlichen Gefahren eintreten, die in einem Krieg durch Brand-, Brisanz- oder Atombomben auftreten könnten.

Unter elektrischen Anlagen verstehen wir in diesem Zusammenhang die Kraftwerke, Unterstationen, Schalt- und Transformatorenstationen, ohne die Anlagen und Hausinstallationen Dritter.

Unvorsichtigkeit im Umgang mit Lötlampen, Rauchwaren, Zündhölzern, Heizungseinrichtungen, speziell aber auch Unordnung, Selbstentzündung, Brandstiftung oder Sabotage können zu Bränden führen. Putzmaterial, Kleider, Holz, Öl, Benzin usw. sind besonders leicht entzündbar. Schränke, Werkbänke, Gestelle, anderes Mobiliar oder Materiallager können dadurch in Brand geraten. Selbst in massiven Gebäuden können durch die Entzündung von Türen, Fenstern, Decken, Wänden, Dachkonstruktionen und dergleichen ganz unwahrscheinlich grosse Brände entstehen.

Diese überall möglichen und allgemein üblichen Brände sollen hier nicht speziell behandelt werden. Sie sind vor allem durch Vermeidung unzweckmässiger Anordnungen und Einrichtungen, durch Vorsicht und Sorgfalt, Ordnung, Instruktion des Personals und Überwachung zu verhüten.

Als erster allgemein gültiger Grundsatz ist dabei zu beachten, dass es immer leichter und besser ist, einen Brandausbruch zu verhüten, als einen ausgebrochenen Brand zu löschen.

Als zweiter Grundsatz gelte, dass die Brandbekämpfung erleichtert wird und der Schaden kleiner ausfällt, wenn ein Brand nur einen Teil des Gebäudes oder eine Anlage ergreifen kann. Die Dispositionen sollen stets so getroffen werden, dass ein aus-

brechender Brand auf einen möglichst kleinen, von andern Anlageteilen getrennten Brandabschnitt lokalisiert bleibt.

Bei allen Anlagen muss man sich daher darüber Rechenschaft geben, was überhaupt brennen könnte und wie eine Entflammung denkbar wäre.

Diese Grundsätze gelten sowohl für die eigentlichen elektrischen Anlagen und Einrichtungen als auch für die damit im Zusammenhang stehenden Aufenthaltsräume, Werkstätten, Magazine, Transformatorenrevisionsräume, Putzmaterial-, Öl- und Benzinlager usw. Auch hier wird es stets zweckmässiger sein, möglichst brandsichere Dispositionen zu treffen, brandgefährliche Anlageteile feuersicher anzuzoordnen, leicht brennbare Materialien separat zu lagern und vor allem auch Ordnung zu halten, als sich auf Brandbekämpfungsmittel und die Feuerwehr zu verlassen.

Der heutige Stand der Feuerbekämpfungstechnik erlaubt es, jeden Brand erfolgreich zu bekämpfen, aber nur, sofern der Angriff rechtzeitig und mit den auch für den ungünstigsten Fall geeigneten und ausreichenden Mitteln erfolgt oder wenn automatisch wirkende Einrichtungen den noch im Entstehungsstadium befindlichen Brand ersticken. Es ist jedoch stets abzuwagen, ob die aufzuwendenden Mittel zur Erreichung grösstmöglicher Sicherheit in einem vernünftigen Verhältnis zu den Risiken stehen, welche ohne oder nur mit einem Teil des Aufwandes übernommen werden müssen.

Brandgefahren in elektrischen Anlagen, Verhütungs- und Schutzmassnahmen

Nach diesen allgemeinen Bemerkungen wollen wir uns den Brandgefahren zuwenden, die die elektrischen Anlagen mit sich bringen. Hierher gehören speziell Leitungen, Kabel, Schalt- und Steuereinrichtungen, Messinstrumente, Motoren, Generatoren, Transformatoren, Strom- und Spannungswandler, Schalter, welche bei Blitzschlag, Überspannung,

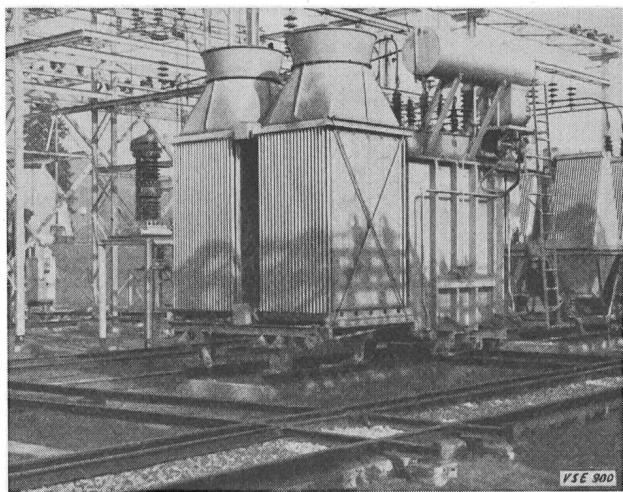


Fig. 1
50/16-kV-Unterstation der BKW

Überlast, Isolationsdefekten, ungenügenden Schaltleistungen oder Fehlschaltungen, zu Überschlägen, Kurzschlüssen, Lichtbögen oder auch Explosionen Anlass geben können.

Niederspannungsanlagen

Die *hausinstallationsähnlichen Anlageteile*, Sekundärinstallationen und Hilfsbetriebe, wie Mess- und Steuerleitungen, Niederspannungsinstallationen für Beleuchtung, Werkstätten, Servomotoren, Schützen, Pumpen, Ventilatoren und alle übrigen Einrichtungen des Eigenbedarfes der Kraft- und Unterwerke und der Schalt- und Transformatorenstationen, für Fernmessungen und Fernsteuerungen, Signal-, Schwachstrom- und Hochfrequenzanlagen brauchen hier nicht im Detail besprochen zu werden. Hierfür gelten die allgemein zweckmässigen Gesichtspunkte: Klare, saubere Anordnung (keine Drahtgewirre), vorschriftsgemäss Absicherung, thermische Schutzschalter, brandhemmende oder unbrennbare Isolationen, genügende Abstände von brennbaren Materialien, regelmässige Kontrollen, ständige Überwachung und gute Instandhaltung. Zur Bekämpfung von Bränden solcher Sekundärinstallationen dürften die üblichen Handfeuerlöscher genügen.

Hochspannungsleitungen

Mehr nur der Vollständigkeit halber seien auch die *Hochspannungsleitungen* erwähnt. Sie sind zwar nicht so ausgesprochen brandgefährlich und geben den Feuerwehren selten Gelegenheit zum Eingreifen. Ausser den durch Isolatorendefekte verursachten Stangenbränden sind speziell gelegentliche Brände der Dachkonstruktionen von Ortstransformatorenstationen bekannt, wo Vögel unmittelbar bei den Einführungsisolatoren Kurzschluss verursachten und der Lichtbogen den hölzernen Dachvorsprung entzündete. In einzelnen, derartigen Fällen hat der brennende und einstürzende Dachstuhl zur totalen Zerstörung der Transformatorenstation geführt. Holzkonstruktionen unmittelbar in der Nähe von Hochspannungsteilen sollten daher auch bei Ortstransformatorenstationen vermieden oder zum

mindesten durch Gipsplatten feuersicher verschalt werden.

Hochspannungsleitungen können gelegentlich indirekt auch als Brandstifter in Hausinstallationen wirken, wenn durch unglückliche Umstände bei Störungen irgendwo im Freileitungsnetz Hochspannung in ein Ortsverteilnetz übertritt.

Einen besondern Fall von Brandstiftung erlebten wir kürzlich: Infolge Erdenschluss in einem 16 kV-Netz explodierte ein Überspannungsableiter, welcher an der Außenwand einer vom gleichen 16 kV-Netz gespiesenen Transformatorenstation angebracht war. Teile des Überspannungsableiters trafen einen zufällig in unmittelbarer Nähe der Station arbeitenden Bauern und entzündeten sein Hemd. Andere Teile entzündeten an zwei Stellen in etwa 8 m Entfernung von der Station sich im Freien befindlichen Heu- und Strohlager, so dass die Feuerwehr eingreifen musste.

Nicht nur Freileitungen, sondern auch *Hochspannungskabel* können brandgefährlich werden. Die stark angestiegenen Kraftwerkleistungen und der Ausbau des Hochspannungsnetzes bringen sehr grosse Kurzschlussleistungen mit sich. Kabel in Kraftwerken und Unterstationen, aber auch in den Hochspannungsnetzen, müssen diesen Leistungen angepasst werden, wenn sie nicht trotz kurzer Abschaltzeiten von höchstens einigen Sekunden Schaden nehmen oder gar explodieren und in Brand geraten sollen. Es sei hier an eine solche im Bull. SEV Bd. 44 (1953), Nr. 2 beschriebene Gewitterstörung in der Unterstation Bätterkinden erinnert. Dieser Gefahren muss man sich bei der Verwendung polyäthylenisolerter Hochspannungskabel wie bei Papierbleikabeln stets bewusst sein.

Generatoren

Unser besonderes Interesse wollen wir nun den Hauptobjekten unserer Hochspannungsanlagen zuwenden, wobei wir zuerst rotierende Maschinen, Generatoren, grosse Umformer, Synchronmaschinen für die Phasenkompenstation usw. betrachten wollen. Ausser der Wicklungsisolation kann an diesen Maschinen kaum etwas in Brand geraten. Brennt aber einmal eine Wicklung, dann bleibt der Brand fast von selbst auf die Maschine beschränkt und bei einigermassen zweckmässig ausgebauten Überwachungseinrichtungen und vernünftigem Verhalten des Personals kann der Brand auf einen Teil der Wicklung beschränkt bleiben. Neuere und grössere Maschinen arbeiten in der Regel mit einem geschlossenen Kühlluftkreislauf. Dieses System erlaubt dann in einfacher Weise eine Ergänzung durch stationären CO_2 -Schutz. Die Kohlensäure verunmöglicht die Weiterentwicklung eines Brandes, sobald deren Anteil im Kohlensäure-Luftgemisch ca. 20% beträgt. Um das Ersticken des Brandes sicher zu gewährleisten, kann man nach der Faustformel rechnen: 1 kg Kohlensäure für 1 m^3 Rauminhalt. Ausser Kohlensäure sind auch noch andere gasförmige Löschmittel bekannt, die für solche Fälle in Frage kommen können. Sie haben den grossen Vorteil, dass sie nichtleitend, frostsicher und nicht korrodierend sind. In einfacher Art kann ihr Einsatz automatisch,

schlagartig erfolgen. Die höchstmögliche Raschheit des Einsatzes ist die erste Voraussetzung für die Reduktion eines Brandschadens.

Bei älteren oder kleineren Maschinen mit offener Ventilation ist das Löschen eines beginnenden Brandes der Wicklung weniger einfach. Auch wenn die Maschine sofort abgeschaltet werden kann, hat sie doch eine längere Auslaufzeit, während welcher das Löschmittel durch die Kühlung weggeblasen wird, was die Löschwirkung der hier meistens in Frage kommenden Handlöscher stark beeinträchtigt.

Noch besser als einen Brand rasch zu ersticken ist jedoch, seine Entstehung zu verhüten. Die Möglichkeiten für den indirekten Brandschutz — schwer- oder unbrennbarer Isolationen, Kurzschluss- und Überstromschutz, Blitzschutz, Temperaturüberwachung, Überwachung der Reibungsverhältnisse der Lager und Kollektoren — haben heute ein sehr hohes Niveau erreicht, so dass Generatorenbrände höchst selten sind.

Transformatoren

Grösser als bei den eigentlichen Maschinen sind die Brandrisiken bei ölenthaltenden Apparaten. Mineralöl, das gute Isolier- und Kühlmedium unserer Transformatoren und Messwandler, ist auch ein ausgezeichneter Brennstoff. Dieser Tatsache muss man sich im Umgang mit Transformatoren, bei deren Konstruktion, Fabrikation, Aufstellung, Überwachung und Revision immer bewusst sein. Man hat daher, wohl schon seit Öltransformatoren gebaut werden, besondere Massnahmen ergriffen, um der Gefahr, die die brennbare Flüssigkeit darstellt, zu begegnen. Grosstransformatoren enthalten oft 10, 20, 30 und mehr Tonnen Öl!

Ölbrände sind besonders gefürchtet, weil sie sich mit rasender Schnelligkeit entwickeln und durch wegfließendes Öl rasch zu grossen Flächenbränden und zum Übergreifen auf benachbarte Objekte führen können. Ölbrände sind aus diesen Gründen nicht

immer leicht zu löschen und speziell im Innern von Gebäuden infolge der starken Rauchentwicklung höchst unangenehm. Schon der Brand von wenigen Litern Öl kann genügen, das grösste Schalthaus zu schwärzen und ursprünglich am Brand ganz unbeteiligte Anlageteile durch Überschläge zu beschädigen.

Glücklicherweise sind jedoch unsere Isolieröle — weil sie keine leicht flüchtigen Stoffe enthalten — verhältnismässig schwer entzündbar und daher nicht besonders feuergefährlich. Der Flammpunkt, der zwar noch sehr wenig über die Entzündlichkeit aussagt, liegt in den Grenzen von 145...175 °C. Von dieser Temperaturgrenze an werden aus dem Mineralöl flüchtige Anteile frei, die aber nur dann sich entzünden, wenn eine Flamme in die Nähe gebracht wird. Auch dabei handelt es sich nicht etwa um ein Brennen des Öles, sondern nur um ein momentanes Aufflammen der frei gewordenen brennbaren Anteile, das infolge ungenügender Nachlieferung nicht von selbst aufrecht erhalten werden kann. Vergleichshalber sei erwähnt, dass zum Beispiel der Flammpunkt von Benzin zwischen —56 und +10 °C liegt und derjenige von Brennsprit bei etwa +12 °C. Die eigentliche Entzündungstemperatur des Mineralöls liegt sehr hoch, bei ca. 400...500 °C, gegenüber zum Beispiel etwa 300...350 °C für Steinkohle. Die bei üblichen Betriebsverhältnissen in Transformatoren auftretenden Temperaturen liegen somit weit unterhalb des Flammpunktes oder gar der Entzündungstemperatur von Mineralöl. Man kann sich nicht vorstellen, dass im Betrieb ein auch nur eingeschlossener oder überwachter Transformatoren, sei es durch dauernde Überlast oder durch längere Zeit anhaltenden Windungsschluss, bis zur Selbstentzündung erhitzt werden könnte.

Im elektrischen Lichtbogen, bei Durchschlägen oder in Schaltern wird nun allerdings Mineralöl zerstört, wobei die freiwerdende Gasmenge zu ungefähr zwei Dritteln aus Wasserstoff und zu einem Drittel aus Methan, Äthylen und andern schweren Kohlenwasserstoffen besteht. Mit Luft beziehungsweise mit Sauerstoff gemischt explodieren diese Zersetzungsgase bei der Entzündung, wobei für das Gas/Luftgemisch ca. 8 Volumprozente Gas als untere und ca. 40 Volumprozente als obere Explosionsgrenzen festgestellt worden sind. Die entstehende Gasmenge ist ungefähr proportional der Schalterarbeit und beträgt nach früheren Versuchen des SEV im Mittel ca. 46 cm³ Gas pro kW.

Möglichkeiten zur Verhütung von Transformatorenbränden

Zur Verhütung von Bränden bestehen zahlreiche Möglichkeiten: bei der Konstruktion der Transformatoren, durch Überspannungsschutz, Buchholzschutz, durch mannigfaltige Relais, Schutzschaltungen und andere Überwachungsapparate, sowie in Spezialfällen durch Verwendung unbrennbarer Isolierflüssigkeiten oder von Trockentransformatoren in Schutzgas.

Die Konstruktion der Transformatoren gewährt heute einen hohen Grad der Sicherheit. Grosses Transformatoren müssen in der Regel so bemessen

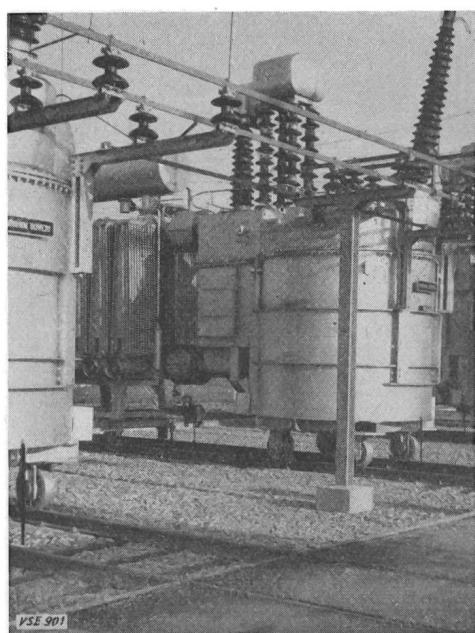


Fig. 2

220-kV-Freiluftstation des Kraftwerkes Laufenburg

sein, dass die Wicklungsübertemperatur die übliche Grenze von 65 °C auch bei Dauerkurzschlußstrom (3...5 Sekunden) im Anschluss an Nennlast nicht überschreitet, wobei die Öltemperatur bei einem solchen Kurzschluss nur unerheblich erhöht werden darf.

Auch gegen die Gefahren, die bei Überschlägen oder Wicklungsdefekten auftreten könnten, sind die heutigen Transformatoren weitgehend geschützt. Die Isolation ist mit der Zeit wesentlich verbessert worden und sie wird durch Stoßprüfung, die alle jene Einwirkungen nachbilden soll, denen ein Transformator im Betrieb durch atmosphärische Entladungen in den angeschlossenen Freileitungen ausgesetzt ist, auf ausreichende Bemessung und einwandfreie Herstellung geprüft.

Die höchstmögliche Überspannung wird zudem durch das gewählte Schutzniveau der *Überspannungsableiter* oder der Funkenstrecken begrenzt.

Tritt trotzdem ein Überschlag ein, dann wird der Transformator infolge der entstehenden Gase durch den *Buchholzschutz* sofort abgeschaltet. Größere Transformatoren, schon von etwa 800 kVA an, werden heute auch kaum mehr ohne Expansionsgefäß gebaut, so dass sich im Bereich spannungsführender Teile im Transformatoren-Innern nirgends Luft befindet, die mit Zerstörungsgasen ein explosives Gemisch bilden und durch Entzündung explodieren könnte.

Zum Schutz gegen die Folgen von Überlastungen, Erdschluss, Windungsschluss oder ähnlichen Gefahren dienen zahlreiche *Relais*, *Schutzschaltungen* und *andere Überwachungseinrichtungen*, die eine sehr hohe Entwicklungsstufe erreicht haben, so Überstrom- und Thermorelais, thermische Abbilder, Differentialrelais, Minimal-Impedanzrelais, Summenstromrelais, Energierichtungsrelais, Thermostaten und Kontaktthermometer, Durchflussmelder bei Ölbeziehungsweise Wasserkühlern, Ölstandsmelder für die Ausdehnungsgefässe, sowie Temperatur-Mess- und Alarm-Einrichtungen für die Wicklungs-, Eisen- und Öltemperaturen. In Kraftwerken und Unterstationen werden Leistungstransformatoren wohl ausnahmslos mindestens mit Überstrom-, Thermos- und Buchholzschutz ausgerüstet, so dass gleichzeitig

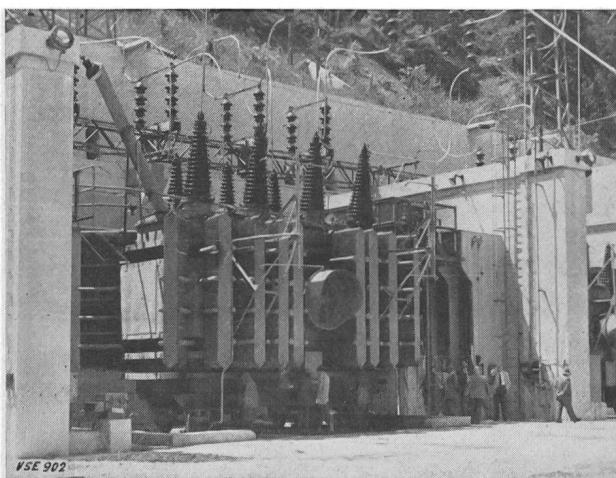


Fig. 3

220-kV-Transformator des französischen Kraftwerkes Cordéac

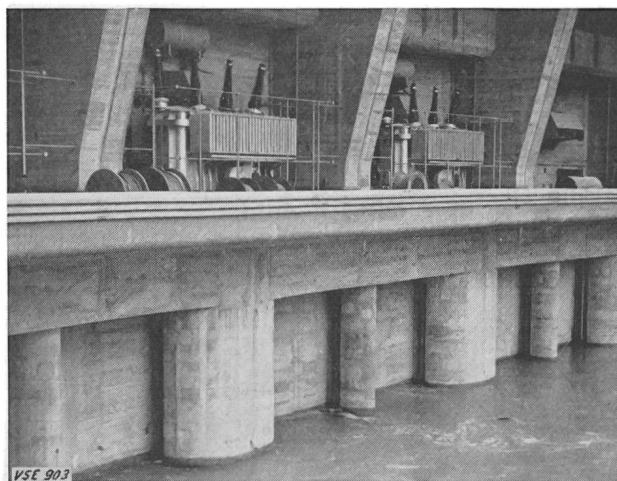


Fig. 4
220-kV-Transformatoren des Rhonekraftwerkes Génissiat

mit einem Transformatorendefekt auch noch gerade ein Versagen der Schalterauslösung auftreten müsste, um zu einer merklichen Temperaturerhöhung in einem Transformator zu führen. Neuestens werden Grosstransformatoren auch durch Distanzrelais geschützt.

Vergegenwärtigt man sich noch, dass heute alle Anlagen und Schutzeinrichtungen viel sorgfältiger überwacht und revidiert werden als früher, dann erscheint die Entzündung eines grösseren Transformators im Betrieb noch unwahrscheinlicher.

Trotz der riesigen Anzahl von Transformatoren, welche überall im Betriebe stehen, sind bisher nur wenige Fälle von Ölbränden bekannt geworden, wobei auch bei diesen wenigen Fällen meistens genaue Angaben über die Schutzeinrichtungen der Transformatoren und über die Brandursache fehlen. Man darf wohl kaum annehmen, dass diese Transformatoren dem heutigen Stande der Technik entsprechend geschützt waren.

Es ist denn auch nicht verwunderlich, dass auf eine Umfrage weder die grossen Transformatoren-Baufirmen des Landes noch die Vertretungen für unbrennbare Isolierflüssigkeiten — ausser dem Fall Chandoline¹⁾, wo bekanntlich der Transformator nicht im Betrieb entzündet wurde — auch nur einen einzigen Fall eines Brandes eines normalgeschützten Transformators angeben konnten.

Wo ganz besondere Verhältnisse vorliegen, kann ausser den besprochenen Schutzmaßnahmen zur Verhinderung eines Transformatorenbrandes unter Umständen auch die Verwendung *nichtbrennbarer Isolierflüssigkeiten* geprüft werden.

Derartige Flüssigkeiten waren schon vor Jahrzehnten auf dem Markt. Sie haben in den letzten Jahren bedeutende Verbesserungen erfahren. Die heute meist verwendeten unbrennbaren Öle, allgemein als Askarele bezeichnet, werden unter verschiedenen Markennamen in den Handel gebracht: als «Pyranol» in den USA durch General Electric, als «Pyrochlor» in England durch Montesanto, London, als «Pyralène» in Frankreich durch Prodelec, Paris, und als «Clophen» in Deutschland durch die Bayerwerke Leverkusen.

¹⁾ s. Bull. SEV, Bd. 42(1951), Nr. 20, S. 786 ff.

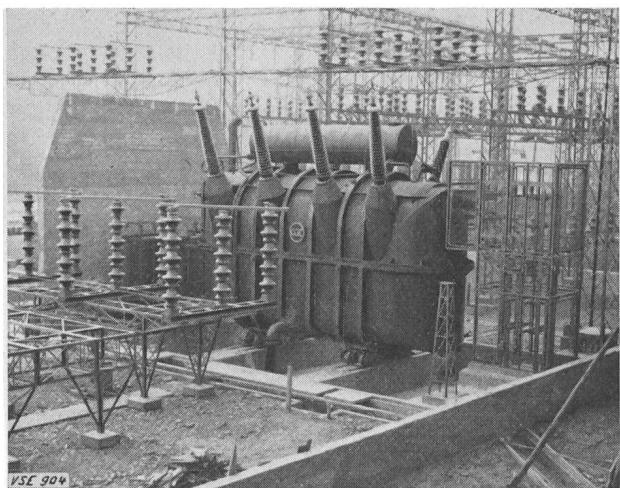


Fig. 5

Ölauffangwanne eines Transformatoren der Freiluftstation des italienischen Kraftwerkes Cedegolo

Es handelt sich bei den Askarelen um Chlorderivate von Benzol und Diphenyl. Sie sind nicht brennbar, sehr temperaturbeständig, versäuern und verschlammen nicht. Die Viskosität kann durch Zusätze dem Verwendungszweck, ob für Kabel, Kondensatoren oder Transformatoren, angepasst werden. Die Durchschlagsfestigkeit ist ca. 20...30 % höher als für Transformatorenöl. Ebenso ist die Dielektrizitätskonstante im allgemeinen doppelt so hoch wie bei Mineralöl. Die dielektrischen Verluste sind etwas höher. Die Wärmeausdehnung der Askarele ist meistens grösser als die von Transformatorenöl, die spezifische Wärme dagegen wesentlich kleiner. Die Wärmeleitfähigkeit ist besser als beim Transformatorenöl. Das spezifische Gewicht beträgt ca. 1,6 gegenüber 0,9 für Öl. Die Askarele sind nicht stärker hygroskopisch als Transformatorenöle. Da sie schwerer sind als Wasser, schwimmt Wasser auf diesen Isolierflüssigkeiten. Askarel-Transformatoren werden daher meistens nur geschlossen, mit Ausdehnungsgefäß, gebaut, wobei dieses der grösseren Wärmeausdehnung entsprechend grösser bemessen werden muss. Gegenüber den Konstruktionsmaterialien stellen die Chlor-Diphenyle erhöhte Anforderungen, insbesondere an Dichtungen, Hülsen und Anstriche. Auf die normalerweise für Transformatoren verwendeten Metalle haben sie auch in heissem Zustand keine Wirkung.

Transformatoren mit unbrennbarer Ölfüllung werden schon seit ca. 30 Jahren gebaut und sind speziell in USA, England und Frankreich in grosser Zahl im Betrieb mit Leistungen bis ca. 20 MVA und Spannungen bis ca. 60 kV.

Bei thermischer Zersetzung, ab ca. 400 °C, zum Beispiel im Schalterlichtbogen oder bei kleineren Defekten, entsteht zur Hauptsache Salzsäure. Für Schalter oder Stufenschalter von Transformatoren sind Askarele infolgedessen nicht verwendbar. Die Gasentwicklung ermöglicht bei Transformatoren die Anwendung von Buchholz-Relais in ähnlicher Weise wie bei Transformatorenöl. Die Salzsäure kann durch spezielle Absorber mit Natronkalk oder chemische Zusätze gebunden werden. Bei Anwesenheit von Feuchtigkeit müssten schwerste Korrosio-

nen des Aktivteils und des Kessels sowie Zerstörungen der Wicklungsisolationen befürchtet werden.

Bezüglich Betriebssicherheit und Lebensdauer stehen die Askarel-Transformatoren den Öltransformatoren nicht nach. Askarele sind zurzeit etwa 7...8mal teurer als Transformatorenöl. Da ausserdem die Konstruktion solcher Spezialtransformatoren Mehrkosten bedingt, kosten solche etwa 30 % mehr als Öltransformatoren.

Solche Ausführungen werden in der Regel nur für Netztransformatoren und nur für Innenraum-Aufstellung gebaut, und ihre Anwendung dürfte aus den erwähnten Gründen auf besondere Fälle, so zum Beispiel in Warenhäusern, Spitäler, Wohnblöcken, Fabrikanlagen, unterirdischen Anlagen usw. beschränkt bleiben, speziell auch auf Fälle, wo die Gefahr besteht, dass ein fremder Brand auf einen Transformator übergreifen könnte. Immerhin ist auch in diesen Fällen zu bedenken, dass die Wirkungen der Zersetzungsgase der Askarele, auch wenn sie selbst nicht brennbar sind, sehr schädlich sein können.

Anstelle von Askarel-Transformatoren kommen in den USA in neuester Zeit eher wieder andere Lösungen zur Anwendung, so brandsichere Trockentransformatoren, zum Teil mit Stickstoff-Füllung, ferner geschlossene Transformatoren mit Fluorkohlenstoff- oder Fluorhexasulfid-Füllung mit Kühlung durch Verdunstungskälte.

In der Schweiz sind Askarel-Transformatoren bisher nur bei besondern Verhältnissen als Netztransformatoren, speziell in den Städten Basel und Genf in Betrieb.

Schutzmassnahmen für den Fall eines Brandes

Für den schon fast unwahrscheinlichen Fall, dass ein grosser Transformator in Brand geraten könnte, bestehen noch zusätzliche Möglichkeiten, vor allem baulicher Art, um einen solchen Brand zum mindesten auf das davon ergriffene Objekt zu begrenzen.

Bei Transformatoren im Freien, bei Kraftwerken und Unterstationen darf man heute, ohne die Brand-

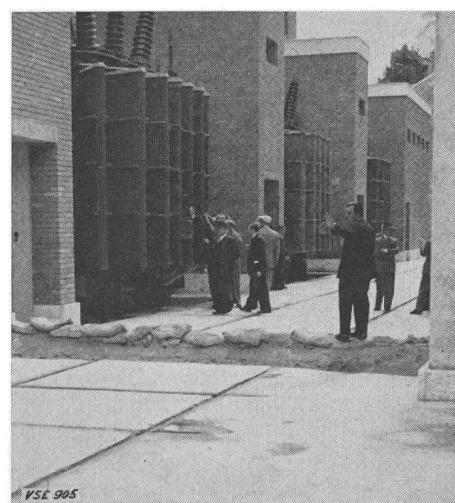


Fig. 6
Grosstransformator an der Aussenwand des Kraftwerkes Bussolengo (Italien)

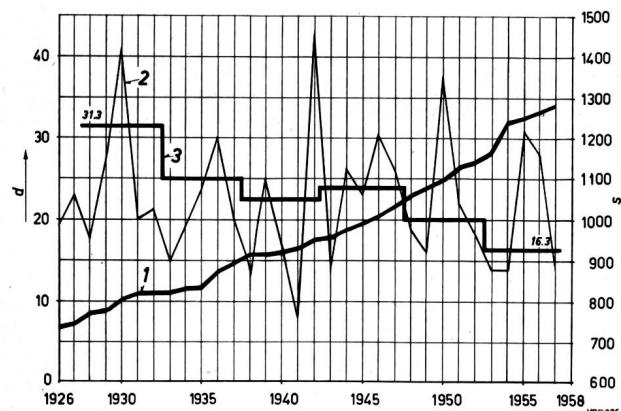


Fig. 7

Gewitterschäden an Netztransformatoren der BKW 1926...1957
 3 Fünf-Jahresmittel der Defekte, bezogen auf 1000 Stationen
 1 Zahl der Transformatorenstationen
 2 Zahl der Trafodefekte
 d Anzahl Defekte; s Anzahl Transformatorenstationen

gefahr in unverantwortlicher Weise zu unterschätzen, davon absehen, besondere, fest eingebaute Feuerlöscheinrichtungen in der Art von Berieselungs-, Sprinkler- oder Schaumlöschanlagen einzubauen. Wenn auch Transformatorenbrände nicht mit absoluter Sicherheit ausgeschlossen werden können, so gehören sie doch zu den grossen Seltenheiten.

In den Zentralen und Unterstationen der BKW traten im Verlaufe der letzten 35 Jahre an Grosstransformatoren total 49 Blitz-, Brand- und Explosionsschäden auf. Dabei geriet in 3 Fällen Transformatorenöl in Brand. In allen Fällen handelte es sich um alte, offene Transformatoren für Innenaufstellung, ohne Buchholzschutz. In den Freiluftanlagen ereignete sich bisher kein Transformatorenbrand. Nicht in Verkennung allfälliger Brandgefahr, sondern nach reiflicher Prüfung wurde daher auch in den neuesten Anlagen der BKW auf stationäre Löscheinrichtungen verzichtet.

Ordnet man unter den Transformatoren ein genügend tiefes Bett von grobem Kies an, durch welches allenfalls ausfliessendes und brennendes Öl abgekühlt, gelöscht und am Wegfliessen auf benachbartes Terrain verhindert wird — das Kiesbett unter den Transformatoren und Kühlern kann ferner durch Fundamente in einzelne Abschnitte unterteilt werden — dann dürfte ein Brand, wenn doch einmal einer ausbrechen sollte, wohl ohne ausserordentliche Schwierigkeiten mit mobilen Feuerbekämpfungsmittern, Schaumlöschen, Staublöschen oder Wassernebel gelöscht oder doch auf das davon ergriffene Objekt begrenzt werden können (Fig. 1 und 2).

Wo Transformatoren sehr nahe beieinander aufgestellt werden müssen, zum Beispiel mit weniger als 6 m lichtem Abstand, kann eventuell das Dazwischenstellen von feuerfesten Trennmauern geprüft werden.

Wie weit man mit solchen Sicherheitsmassnahmen — es verhält sich ähnlich wie mit den Versicherungen — gehen will, bleibt immer eine Ermessensfrage. Während bei uns Trennmauern zwischen den im Freien aufgestellten Transformatoren, betonierte Ölauffangwannen und stationäre Löscheinrichtun-

gen kaum üblich sind, trifft man in ausländischen Kraftwerken vielfach derartige Einrichtungen an (Fig. 3 und 4). Auch Berieselungsanlagen scheinen zum Beispiel in Frankreich hoch im Kurs zu stehen. In Fig. 3 erkennt man die Sprinkleranlagen und in Fig. 4 die rund um die Transformatoren angebrachten Berieselungsdüsen. Nicht ausser acht zu lassen ist bei solchen Berieselungs-, Wassernebel- oder Schaumlöschanlagen die Frostgefahr. Wenn Unterstationen nicht im Bereich einer sicheren Wasserversorgung mit genügend Druck liegen, sind derartige Einrichtungen, welche frostsichere Wassertanks und Druckluftanlagen bedingen, bald einmal sehr kostspielig.

Beim Besuch in italienischen Anlagen sind mir vor allem die Ölauffangwannen unter den Transformatoren aufgefallen, während dafür Berieselungs- oder andere Löscheinrichtungen fehlten. Die 220 kV/70 MVA-Transformatoren der Freiluftstation des italienischen Kraftwerkes Cedegolo sind über betonierten Wannen aufgestellt (Fig. 5) und durch Betonwände voneinander getrennt. An diesen Trennwänden sind die Wasserkühler der Transformatoren angeordnet. Im Brandfall kann das Transformatorenöl durch grosskalibrige Schieber abgelassen werden.

Auch als überzeugter Befürworter eines vernünftigen Gewässerschutzes halte ich solche Ölauffangwannen als überflüssig, weil die Wahrscheinlichkeit des Auslaufens eines Transformators äusserst gering ist. Die Gefahr des Auslaufens von Tankwagen im Eisenbahn- und Strassenverkehr ist, wenn man ausser an die Brandmöglichkeiten auch an die Kollisionsgefahren denkt, unvergleichlich viel grösser, ohne dass man bisher auf die Idee gekommen wäre, diese Öltanks in Auffangwannen einzukleiden.

Über die Zuverlässigkeit und Wirksamkeit derartiger Anordnungen und stationärer Löscheinrich-

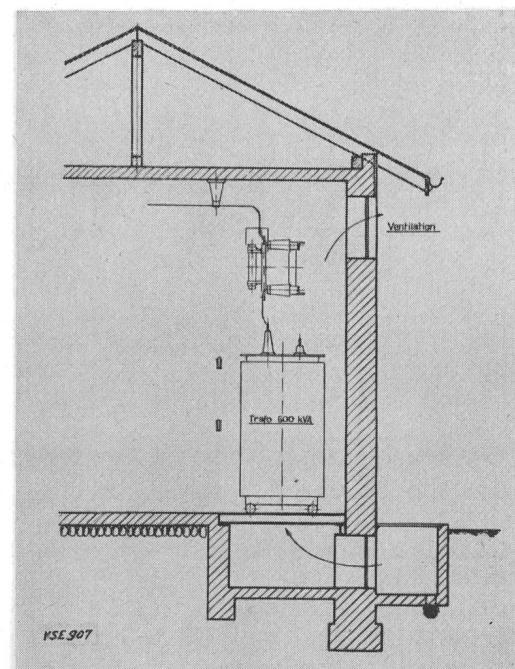


Fig. 8
 Der Frischluftteintritt dient zugleich als Ölauffanggrube

tungen bei Kraftwerken und Unterstationen waren denn auch die Ansichten der ausländischen Fachleute bei den seinerzeitigen Besuchen sehr geteilt. Jedenfalls darf man sich nicht etwa einbilden, dass automatische Löscheinrichtungen speziell auch im Kriegsfall von grossem Nutzen wären. Ein Feind, der eine Freiluftstation zerstören will, wird dazu kaum Fallschirmabspringer mit Zündhölzchen absetzen, um die Transformatoren anzuzünden. Beim Einsatz etwas kräftigerer Mittel, ohne dass man gerade an Atombomben zu denken braucht, würden aber die Löscheinrichtungen mit den Transformatoren zerstört und nicht mehr funktionsfähig.

Die Anordnungen, um im Falle eines Transformatorenbrandes das Öl aus den Transformatoren abzulassen und so dem Brand die Nahrung zu entziehen, sind mir in einigen italienischen Kraftwerken besonders aufgefallen.

Fig. 6 zeigt Grosstransformatoren an der Aussenwand des Kraftwerkes Bussolengo. Statt einfacher Trennmauern wurden hier zwischen den Transformatoren Bedienungskammern erstellt, von welchen aus mittelst eines Handrades die Entleerungsschieber der Transformatoren betätigt werden können. Das Öl fliesst dann durch ein «Kies-Sieb» in einen unterirdischen Aufnahmeraum. Der Sanddamm in Fig. 6 wurde als Vorsichtsmassnahme erstellt, weil an dem im Bild nicht mehr sichtbaren, links anschliessenden Transformator gerade Revisionsarbeiten ausgeführt wurden.

Die Idee, im Brandfalle das Öl aus dem brennenden Transformator abzulassen, wurde von andern italienischen Fachleuten als unwirksam beziehungsweise geradezu gefährlich beurteilt, weil die beim Ölausfluss in den Transformator eintretende Luft den Brand begünstigen oder zu einer Explosion führen könnte.

Eine ähnliche originelle Brandschutzeinrichtung sah ich in einem grossen italienischen Hochdruckwerk. Dort sind die Transformatoren mit einer grosskalibrigen Leitung an das Wasserleitungsnetz angeschlossen. Der Abstellhahn wird im Falle eines Transformatorenbrandes automatisch geöffnet und das in den Transformator einströmende Wasser



Fig. 9
Brand von 16-kV-Stromwandlern in einer Industrietransformatorenstation infolge Kurzschluss

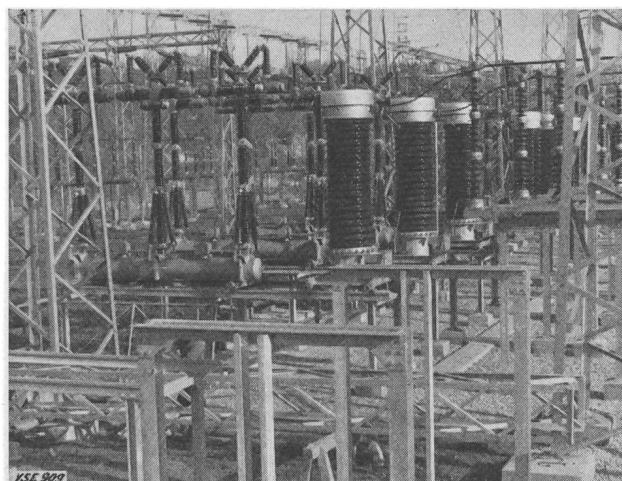


Fig. 10
«Feuersichere» Aufstellung von 220-kV-Messwandlern in der Freiluftstation Mühleberg

drückt das Isolieröl durch eine Entleerungsleitung in einen Auffangtank im Freien. Der Betriebsleiter des Werkes gab zu dieser Lösung die Erklärung ab, dass zweifellos Wasserschaden an einem Transformator stets weniger schlimm wäre als Brandschaden, da ein durchnässter Transformator ohne weiteres wieder im Vakuum getrocknet werden könnte.

Bei Grosstransformatoren im Innern von Kraftwerken, speziell in Kavernenzentralen, oder in Gebäude-Unterstationen, wären Brände noch viel schwerwiegender als bei Transformatoren im Freien. Aus diesem Grunde wird bei solchen Anlagen trotz der vorerwähnten, weitgehenden Möglichkeiten für die Brandverhütung auch für die Brandbekämpfung wesentlich mehr vorgekehrt als bei Freiluftanlagen. Bei Innenraum-Anlagen sind ja auch Brandbekämpfungseinrichtungen wesentlich einfacher zu verwirklichen als im Freien. Die Transformatoren werden in der Regel einzeln in separaten Zellen angeordnet, welche vollständig geschlossen sind oder sich bei Brandgefahr durch automatische Rolladen und dergleichen sofort abschliessen lassen, wobei sofort die stationären CO₂-, Wassernebel- oder Schaumlöschanlagen ausgelöst werden. Für derartige automatische Löscheinrichtungen bestehen zahlreiche empfindliche Überwachungsapparate oder Feuermelder, welche auf Temperatur, Lichterscheinung oder Rauchentwicklung ansprechen und die Löscheinrichtungen unverzüglich auslösen können.

Die Brandgefahr bei Netztransformatoren, worunter hier die von Mittel- auf Niederspannung übersetzenden Transformatoren verstanden seien, muss etwas anderes beurteilt werden als diejenige der Grosstransformatoren.

Die im vorhergehenden Abschnitt erwähnten Möglichkeiten von Relais und Schutzschaltungen kommen für diese kleinen Einheiten unter ca. 800 kVA Leistung in den seltensten Fällen in Frage, weil diese Transformatoren in der Regel nur durch Sicherungen und nicht durch automatische Schalter geschützt sind. Außerdem handelt es sich meistens um offene Transformatoren, d. h. um solche ohne Expansionsgefäß. In diesen Transformatoren befindet sich somit über dem Ölspiegel stets eine mehr

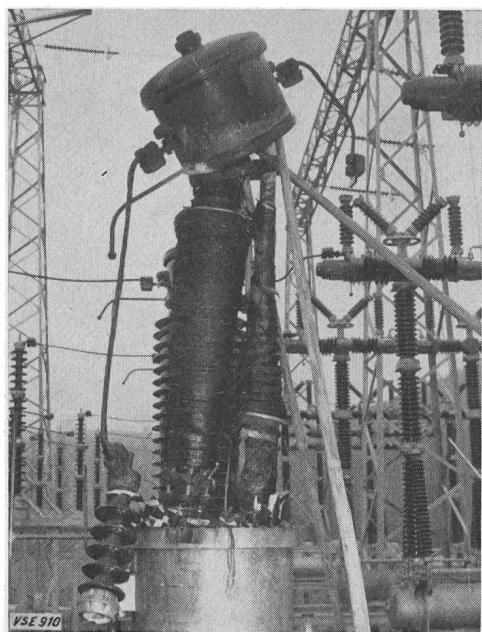


Fig. 11
Explodierter 220-kV-Messwandler in der
Freiluftanlage Mühleberg

oder weniger grosse Luftmenge. Beim Auftreten von Zersetzungsgasen infolge Überschläge ist somit auch der zu einem explosiven Gasgemisch notwendige Sauerstoff in der Regel vorhanden. Explosions sind vor allem dann zu erwarten, wenn Transformatoren ungenügend mit Öl gefüllt sind, so dass spannungsführende Teile nicht oder ungenügend überdeckt sind. Es empfiehlt sich daher, den Ölstand der Transformatoren regelmässig zu prüfen und diese rechtzeitig nachzufüllen. Überschläge sind bei Netztransformatoren in Freileitungsnetzen immer noch relativ häufig, wobei gelegentlich auch Explosions auftreten. Selbst wenn eine solche Explosion erfolgt, ist ein Brand des Transformatoren beziehungsweise des Öles infolge seiner schweren Entzündbarkeit nicht sehr wahrscheinlich.

In den letzten 30 Jahren ereigneten sich im Versorgungsgebiet der BKW infolge von Gewittern 715 Schäden an Netztransformatoren. Dabei trat jedoch in keinem einzigen Fall ein Brand auf.

Das 5-Jahres-Mittel der jährlichen Schäden, bezogen auf 1000 Transformatorenstationen ist in den letzten 30 Jahren von ca. 31 auf fast die Hälfte, auf ca. 16 Schäden pro 1000 Stationen und Jahr zurückgegangen (Fig. 7). Mit andern Worten: Während in den Jahren 1927...1932 jährlich im Mittel in jeder 32. Station ein Transformatorendefekt auftrat, wurde in den Jahren 1952...1957 durchschnittlich noch jede 62. Station von einem Schaden betroffen.

Auch wenn zu berücksichtigen ist, dass die Gewitterhäufigkeit von Jahr zu Jahr sehr unterschiedlich sein kann, so darf doch aus der Abnahme der Zahl der Transformatorenschäden geschlossen werden, dass die Verbesserung der Konstruktion und der vermehrte Überspannungsschutz seine Früchte trägt.

Dass Netztransformatoren durch Überlastung in Brand geraten könnten, darf man bei richtiger Ab-

sicherung und einigermassen zuverlässiger Überwachung der Anlagen wohl kaum annehmen.

Auf besondere Massnahmen gegen allfällige Selbstentzündung von Netztransformatoren oder gar auf den Einbau stationärer Löscheinrichtungen darf daher in der Regel füglich verzichtet werden. Bei Gebäude transformatorenstationen scheint es jedoch zweckmässig, die Aufstellung so zu treffen, dass allenfalls ausfliessendes Öl sich nicht in weitem Umkreis ausbreiten kann, sondern in einem Schacht gesammelt wird (Fig. 8).

Es ist praktisch ohne Mehrkosten möglich, die unter den Transformatoren üblichen Zufuhrkanäle so zu dimensionieren, dass sie nötigenfalls die ganze Ölmenge der eingebauten Transformatoren aufnehmen könnten.

Auf die Möglichkeit der Verwendung unbrennbarer Öle, welche jedoch wohl nur in Spezialfällen in Frage kommen dürften, wurde früher bereits hingewiesen.

Wandler

Bei den *Wandlern* liegen die Verhältnisse ähnlich wie bei den Netztransformatoren. Auch diese Apparate können meistens nicht durch Relais, Überwachungseinrichtungen und Schalter geschützt werden. Spannungswandler können zudem nicht immer und Stromwandler überhaupt nicht abgesichert werden. Da sie demgemäß bei Isolationsdefekten, wie Erdschluss, Windungsschluss oder Kurzschluss nicht abgeschaltet werden, sind Explosions bei Wandlern mit Ölisolierung verhältnismässig zahlreicher als bei Leistungstransformatoren.

Da es sich bei Wandlern um relativ kleine Ölmenge handelt, sind Brände auch deshalb eher möglich, weil sowohl Wicklungen als auch Ölmenge infolge der nicht immer sofort erfolgenden Abschaltung rasch auf hohe Temperaturen kommen (Fig. 9).

Messgruppen in Höchstspannungsanlagen enthalten immerhin schon einige Hundert Liter Öl und können explosionsartig zu Bränden bedeutender Intensität führen.

Das früher bereits Gesagte gilt in vermehrtem Masse für Wandler mit Isolieröl: sie sind so aufzustellen, dass nichts anderes mitentzündet werden kann, wenn einmal ein Wandler ausbrennt.

Fig. 10 zeigt die «feuersichere» Aufstellung von 220-kV-Messwandlern in der Freiluftstation Mühleberg und Fig. 11 einen explodierten und ausgebrannten 220-kV-Messwandler. Dank der Aufstellung über einem Kiesbett verbrannte beziehungsweise versickerte das Öl, ohne weiteren Schaden zu stiften.

Eine derartige Explosion eines 220-kV-Messwandlers, die zu einem Ölbrand führte, ereignete sich erst kürzlich auch in der Freiluftstation Riddes im Wallis. Der Brand konnte durch Handlöscher nicht gelöscht werden, jedoch nach einigen Minuten mit Wasser.

Stationäre Löscheinrichtungen würden wohl noch ein rascheres Löschen versprechen, doch scheint mir dieser Aufwand nicht angebracht, weil, wie gesagt, Wandlerbrände explosionsartig ausbrechen und der Apparat selbst, auch bei sofortigem Einsatz einer Löschaktion, in der Regel bereits mehr oder weni-

ger vollständig zerstört ist. Es gilt dafür der Vers von Busch: «Hier sieht man seine Trümmer rauhen, der Rest ist nicht mehr zu gebrauchen» (Fig. 12).

Während für Wandler in Mittelpannungsnetzen in den letzten Jahren vermehrt öllose Konstruktionen mit Giessharzisolation entwickelt wurden, sind analoge Konstruktionen für Höchstspannungsanlagen wohl schon lange im Studium, bisher jedoch meines Wissens noch nicht auf dem Markt.

Schalter

Gewisse Gefahren bestehen immer noch bei den Schaltern, wo Öl nicht nur als Isoliermedium, sondern auch zur Löschung der Schaltlichtbogen dient. Schalterexplosionen und Ölbrände sind im Elektrizitätswerkbetrieb seltene aber gefürchtete Erscheinungen.

In Ölschaltern herkömmlicher Art kann das durch den Ausschalt-Lichtbogen entstehende Gas, mit Luft gemischt, explodieren und den Schalter sprengen oder doch zum Auswurf von Öl führen. Diese Gefahr besteht vor allem dann, wenn der Ölschalter ungenügend mit Öl gefüllt ist oder wenn durch mechanische Störungen die Schaltbewegung nicht vollständig oder zu langsam ausgeführt wird.

Wird der Ausschaltlichtbogen nicht augenblicklich gelöscht, so entsteht sofort eine sehr bedeutende Gasmenge, welche an sich schon zum Sprengen des Schalters führen und durch Auswerfen von Öl die Explosion begünstigen kann (Fig. 13 und 14).

Die Entzündung der Gase erfolgt in der Regel durch sogenannte Kaminwirkung, durch den Schaltlichtbogen selbst. Die Explosion braucht nicht immer zu einem Brand zu führen.

Die Brandgefahr ist besonders da gross, wo das Öl durch mangelhaften Kontakt oder durch eine längere Abschaltzeit und damit grössere Wärmeentwicklung im Moment der Explosion bereits vorgewärmt ist.

Schalter mit ungenügender Abschaltleistung bilden in jeder Anlage eine Gefahrenquelle.

Ölschalter im Innern müssen unbedingt immer in Einzelzellen so angeordnet werden, dass ausgeworfenes Öl jederzeit rasch abfliessen und auch im

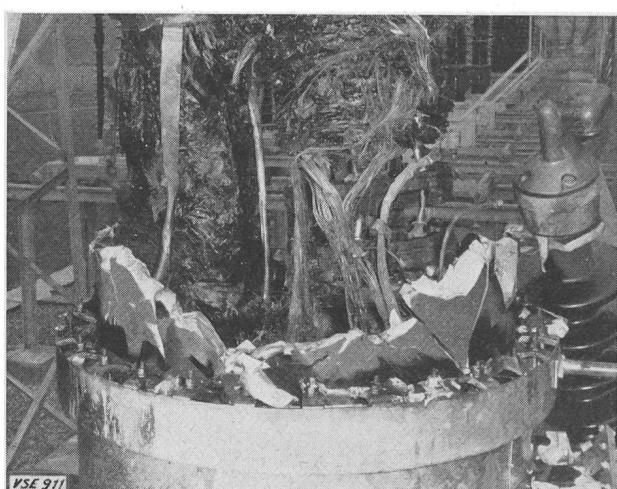


Fig. 12
Einzelheiten des explodierten 220,kV-Wandlers (Fig. 11)

Falle einer Entzündung nicht zu einem um sich greifenden Brand führen kann.

Im Freien ist unter den Schaltern ein Kiesbett vorzusehen.

Auch ölarme Schalter können explodieren, wenn ihre Abschaltleistung nicht genügt. Trotzdem der Ölinhalt pro Pol nur wenige Liter (10...50 kg) umfasst, kann eine solche Explosion unabsehbare Zerstörungen zur Folge haben, wie das vor 3 Jahren die Explosion eines 16 kV Schalterpoles in der Unterstation Mett gezeigt hat, wo durch die Explosion Türen und Fenster zerstört wurden. Ein Brand entstand dabei nicht.

Wenn schon Brände durch Schalter verursacht werden, dann handelt es sich immer um einen explosionsartigen Brandausbruch, der in seinen Auswirkungen durch zweckmässige bauliche Vorkehrungen begrenzt werden kann. Stationäre Brandbekämpfungseinrichtungen sind meines Erachtens auch hier zwecklos. Ölschalter kommen für Neuanlagen allgemein schon seit Jahren nicht mehr in Frage, und in bestehenden Anlagen werden sie nach und nach, bei jeder sich bietenden Gelegenheit, wie Verstärkungen oder Änderungen, ausgemerzt.

Die Brandgefahren durch Schalter sind dadurch bedeutend zurückgegangen, und sie können durch Erhöhung der Kurzschluss-Abschaltleistungen und durch Ersatz alter Ölschalter durch Ölstrahl- und Druckluftschalter auf ein Minimum herabgesetzt werden.

Die unbrennbaren Chlordiphenyle kommen für Schalter infolge der Zersetzung nicht in Frage.

Nicht nur Leistungsschalter können brandgefährlich werden, sondern bei Fehlschaltungen auch Trenner.

Trenner sollten nicht nur unter Last nicht betätigt, sondern auch so angeordnet werden, dass eine Fehlschaltung nicht zu einem allgemeinen Brand führen kann (Fig. 15).

Die Brandbekämpfung in elektrischen Anlagen

Die Demonstrationen von heute vormittag²⁾ sollten einerseits die Löschwirkung, den Einsatz und die Leistungsgrenzen der verschiedenen Löschmittel zeigen.

Anderseits sollten sie insbesondere auch die Wirksamkeit der baulichen Massnahmen, des Kiesbettes unter dem Ölschalter zur Verhütung der Ausbreitung des Ölbrandes zu einem grossen Flächenbrand unter Beweis stellen. Mit Rücksicht auf Landschäden und Ölversickerung musste jedoch auch beim letzten Versuch die Ausbreitung des Flächenbrandes auf eine relativ kleine Fläche von ca. 100 m² begrenzt werden.

In unseren elektrischen Anlagen muss insbesondere auch darauf geachtet werden, dass auslaufendes Öl nicht in Kabelkanäle gelangen und den Brand entlang diesen auf weitere Objekte übertragen kann. Um eine solche Übertragung zu zeigen, war die Fläche um den zweiten explodierenden Ölschalter mit der für die ersten Versuche verwendeten Ölwanne von ca. 1700 Litern Inhalt durch zwei 7 m lange Kabelkanäle verbunden.

Ferner war beabsichtigt, durch die Demonstration

²⁾ s. Bull. SEV Bd. 49 (1958), Nr. 19, S. 937...941.

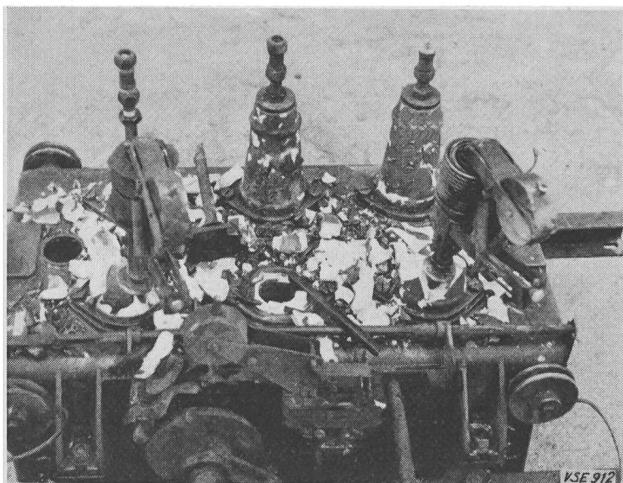


Fig. 13
Zerstörter, alter 16-kV-Ölschalter

nen die meistens plötzliche Entstehung eines Brandes elektrischer Anlagen nachzubilden. Dabei war es nötig, durch einige leichter brennbare Zusätze zu den je ca. 650 Litern Transformatorenöl der beiden 50-kV-Schalter und durch Phosphorzünder etwas nachzuhelfen, weil anderseits nicht die der Intensität eines Blitzschlages oder eines Kurzschlusses entsprechende «Initialzündung» eingesetzt und das Öl nicht vorgewärmt werden konnte.

Dass es sich bei Bränden in elektrischen Anlagen in der Regel nicht um langsam entstehende, sondern um explosionsartig auftretende Brände handelt, muss sowohl bei den vorbeugenden als auch bei den eigentlichen Brandbekämpfungsmassnahmen in Betracht gezogen werden. Für alle diese Massnahmen spielen vor allem auch die gegebenen örtlichen Verhältnisse eine bedeutende Rolle. Die zu treffenden Massnahmen, die Organisation der Brandbekämpfung und die zu beschaffenden Mittel werden sehr verschieden sein, je nach dem, ob es sich um eine Anlage mit grösserem oder kleinerem Personalbestand oder um eine unbediente Anlage, um eine Anlage in oder in unmittelbarer Nähe einer Grossstadt mit Berufsfeuerwehr oder um eine weit abseits grösserer Ortschaften liegende Anlage handelt, ob eine leistungsfähige Wasserversorgung mit hohem Druck oder überhaupt kein Wasser zur Verfügung steht und selbstverständlich auch wiederum, ob es sich um eine Kavernen-, Innenraum- oder Freiluftanlage handelt.

Im allgemeinen steht in Kraftwerken und Unterstationen, zumindest ausserhalb der üblichen Tagesarbeitszeit, nur sehr wenig Personal zur Verfügung. Im Falle eines Brandes, der in der Regel in Verbindung mit einer Netz- oder Maschinenstörung auftritt, sind diese wenigen Leute in erster Linie durch Schaltungen und andere Funktionen zur Störungsbehebung beansprucht, so dass sie sich kaum sofort der Bekämpfung eines Brandes annehmen können. Die üblichen Handlöscher können sich zur Bekämpfung eines entstehenden Feuers eignen. Alle diese Mittel haben jedoch den Nachteil, dass ihre Aktionsdauer sehr begrenzt ist und dass die Wirksamkeit mit zunehmender Benützungszeit abnimmt, um bald ganz zu versiegen. Ist die Intensität des Feuers gröss-

ser als die Löschfähigkeit der Apparate, dann steht der Mann dem zunehmenden Brände sehr bald mit leeren Händen gegenüber und hat unter Umständen kostbare Minuten für den Alarm und für den Einsatz einer wirksamen Aktion verloren.

Sowohl Wassernebeldüsen als auch Luftschaumlöscher erfordern eine leistungsfähige Wasserversorgung mit einem Druck von mindestens 6...8 kg/cm². Wo eine solche Versorgung mit richtig placierten Hydranten und genügend Schläuchen mit Nebeldüsen zur Verfügung steht, bietet deren zweckmässiger Einsatz wohl die besten Aussichten für eine wirksame Feuerbekämpfung. Dabei muss man allerdings in Betracht ziehen, dass die Wirkung aller Löscheinrichtungen bei der Bedienung durch Ungeübte unter Umständen wesentlich geringer sein kann als in der Hand routinierter Berufsfeuerwehrleute.

Herr Ingenieur Hubacher, Kommandant der Feuerwehr der Stadt Bern, wird anschliessend in einem ausführlichen Referat über die feuerwehrtechnischen Belange orientieren, so dass ich hier auf diese Fragen nicht näher eintrete. Dagegen soll noch kurz die folgende in diesem Zusammenhang immer wieder auftretende Frage behandelt werden:

«*Darf man unter Spannung löschen oder nicht?*» Zur Beantwortung dieser wichtigen Frage erlaube ich mir, auf die 1935 durch die Materialprüfanstalt des SEV im Auftrag der Brandschutzkommision des SEV und VSE durchgeföhrten Löschversuche zu verweisen. Die Versuche sind im Bull. SEV, Bd. 26 (1935), Nr. 17, beschrieben und zum Nachlesen bestens empfohlen.

Im erwähnten Bericht wird ausgeführt, dass Tetrachlorkohlenstoff und Kohlensäure auf Grund zahlreicher Versuche als Nichtleiter bewertet werden dürfen.

Zur Prüfung der Schaumlöscher wurde eine unter 20...100 kV gegen Erde stehende Metallplatte bespritzt. Bei 100 kV war es jedoch nicht möglich, einen geschlossenen Strahl auf die Platte zu bringen.

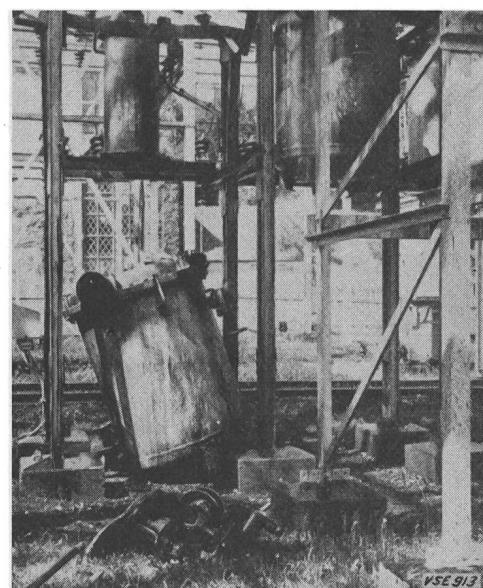


Fig. 14
Infolge zu kleiner Abschaltleistung zerstörter 50-kV-Ölschalter

gen. Dies gelang erst und nur intermittierend bei einer auf 50 kV reduzierten Spannung und bei einem Abstand von nur 1 m.

In gleicher Weise wurden auch die Versuche mit Wasser als Löschmittel durchgeführt. Beim Abstand von 2 m und 100 kV Spannungsdifferenz betrug der Berührungsstrom bei geschlossenem Wasserstrahl ca. 0,1 mA. Bei einer Spritzdistanz von 1 m und geschlossenem Strahl floss kurzzeitig ein Strom von 1,1 mA. Beim Spritzen von zerstäubtem Wasser floss kein messbarer Strom.

Die Düsenverstellung und das Spritzen war möglich, ohne dass der Bedienende irgendwelche Elektrisierung verspürte.

Die elektrische Festigkeit wurde durch das Bepfropfen selbstverständlich vermindert. Bei der Verwendung von Schaum traten Überschläge ein, wenn der Stützisolator vom herabfliessenden Schaum bedeckt wurde.

Auf Grund der Ergebnisse dieser Versuche, die durch analoge, in Deutschland, England und in besonders eingehender Weise in Frankreich durchgeführte Untersuchungen bestätigt wurden (siehe auch Bulletin SEV Bd. 25 (1934)), kommt der Bericht zum Schluss, dass das Löschen unter Spannung — vorausgesetzt, dass der Bedienende nicht direkt mit spannungsführenden Teilen in Berührung kommt — als ungefährlich betrachtet werden kann.

Die Frage, ob in einer Anlage, die unter Spannung steht, gelöscht werden darf, wird in der Zusammenfassung der Versuchsergebnisse folgendermassen beantwortet:

1. Objektive Gefährdung des Löschen in Folge der elektrischen Leitfähigkeit des Löschmittels ist in keinem Fall vorhanden.
2. Einleitung von Erd- und Kurzschlüssen durch das Löschmittel ist möglich bei Schaumlöschnern, wenn der Schaum die Oberfläche von Isolatoren vollständig bedeckt; bei Wasser ist diese Gefahr praktisch nicht vorhanden; Kohlensäure und Tetrachlorkohlenstoff sind völlige Nichtleiter.
3. Die subjektive Gefahr zufälliger Berührung von Anlageteilen, die unter Spannung stehen, ist stets vorhanden; sie ist vielleicht das zwingendste Argument gegen Löscheversuche in spannungsführenden Anlageteilen.

Es kann hier wohl ergänzt werden, dass auch Natriumbikarbonatstaub in trockenem Zustand als Nichtleiter betrachtet werden kann. Mit Wasser zusammen dürfte Natron ähnlich wie Luftschaum zu Überschlägen führen.

Da Brände in elektrischen Anlagen äusserst selten sind, die brennenden Anlagen zudem meistens rasch abgeschaltet werden können, bestanden bisher glücklicherweise wohl nur sehr wenig Möglichkeiten, das Löschen unter Spannung stehender Anlagen praktisch zu üben. Es hätte wohl auch nur da einen Sinn, wo noch etwas zu retten wäre. Um nur kaum mehr brauchbare Trümmer nach einer Explosion und Entzündung zu löschen, braucht das Risiko, mit spannungsführenden Anlageteilen in Berührung zu kommen, nicht eingegangen zu werden. Jedenfalls könnten für eine solche Löschaktion nur mit den Verhältnissen vertraute Elektrofachleute in Frage kommen.

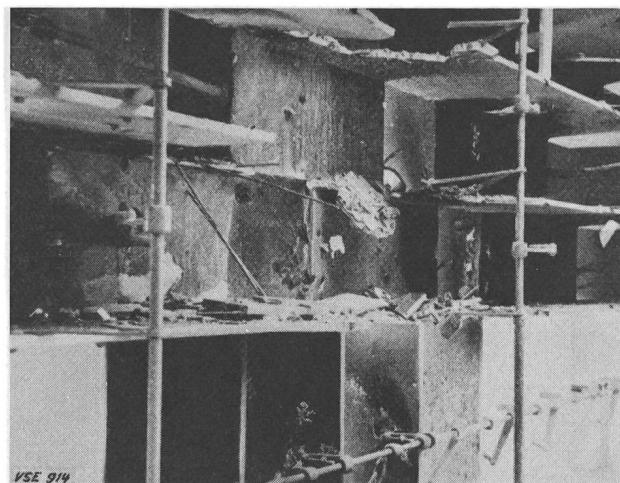


Fig. 15
16-kV-Sammelschienentrenner unter Last betätigt!

Wo bei Bränden in Innenraumanlagen (speziell bei Ölbränden) nicht mit der sofortigen Unterstützung durch den Gastrupp einer Berufsfeuerwehr gerechnet werden kann, muss aus dem eigenen Personal ein Gastrupp ausgezogen, ausgebildet und periodisch eingeübt werden. Kreislaufgeräte, Pressluft-Atmungsapparate und dergleichen können für die Brandbekämpfung in verrauchten oder vergasten Räumen ihren Zweck nur dann erfüllen, wenn die damit ausgerüstete Mannschaft eingeübt ist und dank der Übung absolutes Zutrauen zu den Apparaten hat.

Auch da, wo für elektrische Anlagen werkeigene Lösch- und Gastrupps organisiert und eingeübt werden, sollte dies stets in Zusammenarbeit mit den Ortsfeuerwehren erfolgen. Es ist bestimmt von Vorteil, wenn auch die Ortsfeuerwehren die elektrischen Anlagen in ihrem Bezirk einigermassen kennen.

Es sei abschliessend noch darauf hingewiesen, dass es selbstverständlich sein muss, bei Arbeiten mit erhöhten Brandrisiken, wie zum Beispiel bei den sich periodisch wiederholenden Revisionen von Transformatoren, Wandlern und Schaltern, beim Öl-Ausheizen und Filtrieren usw., nicht vorerst einen Brandausbruch abzuwarten, sondern schon vorher die erforderlichen Schutzmassnahmen zu treffen. Dazu gehört, dass die Transformatoren-Reparaturräume gegenüber anschliessenden Räumen durch feuersichere Türen oder Rolladen getrennt werden. Für allenfalls ausfliessendes Öl soll eine Kanalisation zu einem Auffangschacht bestehen. Die Lösch- und Gasschutzgeräte sind vor Beginn der Arbeiten bereitzustellen.

Vorbeugen ist besser als Heilen: das gilt ganz besonders für den Brandschutz elektrischer Anlagen.

Diese Ausführungen und die Demonstrationen können kein vollständiges Bild aller zu berücksichtigenden Gesichtspunkte geben. Sie sollen vor allem zu kritischer Prüfung der eigenen Anlagen auf Brandmöglichkeiten anregen und die Wahl der zweckmässigsten Verhütungsmassnahmen und Brandbekämpfungsmitte erleichtern.

Adresse des Autors:

M. Grossen, Ing., Betriebsleiter der Bernische Kraftwerke A.-G., Bern.

Wirtschaftliche Mitteilungen

Erzeugung und Verwendung elektrischer Energie in Westdeutschland im Jahre 1956

Aus dem statistischen Bericht des «Referats Elektrizitätswirtschaft im Bundesministerium für Wirtschaft und der Jahresstatistik der Union Internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie Electrique» entnehmen wir die nachstehenden Angaben über die Erzeugung und Verwendung elektrischer Energie in Westdeutschland im Jahre 1956.

Vereinfachter Vergleich zwischen den Bilanzen für 1955 und 1956

Tabelle I

	1955 GWh	1956 GWh	Verände- rung %
Netto-Energieerzeugung:			
Elektrizitätswerke der Allgemeinversorgung	44 206	49 249	+ 11,4
Industrie-Kraftwerke	28 049	31 011	+ 10,6
Total	72 255	80 260	+ 11,1
Energieeinfuhr	2 946	3 335	+ 13,8
Energieausfuhr	- 1 710	- 2 050	+ 19,9
Gesamte für den Verbrauch im Inland bereitgestellte Energie	73 491	81 563	+ 11,0
Verbrauch: Industrie und Bahnen	52 234	57 353	+ 9,8
Verbrauch: öffentliche Beleuchtung, Beleuchtung in Gewerbe und Haushalt, weitere Haushaltanwendungen, Kleinmotoren in Gewerbe und Landwirtschaft. Eigenverbrauch der Unternehmungen	14 652	16 858	+ 15,1
Total	66 886	74 211	+ 11,0
Verbrauch der Pumpen	1 218	1 394	+ 14,4
Energieverluste in den Netzen	5 387	5 958	+ 10,6
Gesamttotal	73 491	81 563	+ 11,0

Tabelle I gibt einen vereinfachten Vergleich zwischen den Energiebilanzen für 1955 und 1956. Aus dieser Tabelle ist ersichtlich, dass sich die gesamte für den Verbrauch im Inland bereitgestellte Energiemenge im Jahre 1956 gegenüber 1955 um 11,0% (81 563 GWh gegenüber 73 491 GWh) erhöhte. 1955 betrug die Zunahme gegenüber dem Jahre 1954 11,4%. Die nach wie vor starke Steigerung der Nachfrage nach elektrischer Energie in Westdeutschland im Berichtsjahr ist eine Folge der weiter anhaltenden guten Konjunktur. Allerdings ist das Tempo des wirtschaftlichen Aufstiegs etwas kleiner geworden. Da der Verbrauch an elektrischer Energie ausschlaggebend von der industriellen Produktion bestimmt wird, ist die Zuwachsrate der Industrieproduktion massgebend für die Entwicklung des Elektrizitätsverbrauches. Wie aus Tabelle I hervorgeht, nahm der Verbrauch im Sektor «Industrie und Bahnen» gegenüber dem Vorjahr um 9,8% zu. Für die Industrie allein liegt die Verbrauchssteigerung von 10,0% unter derjenigen des Vorjahrs von 12,4%. Bei der Gruppe «Öffentliche Beleuchtung, Beleuchtung in Gewerbe und Haushalt, andere Haushaltanwendungen, Kleinmotoren

Energieerzeugung im Jahre 1956 Verteilung nach der Art der Kraftwerke bzw. der Industrie

Tabelle II

	Netto-Erzeugung		
	ther- mische GWh	hydrau- lische GWh	Total
	GWh	%	
Elektrizitätswerke der Allgemeinversorgung	38 267	10 982	49 249
Industrie-Kraftwerke:			
Bergbau	13 999	65	14 064
Eisenindustrie	3 958	25	3 983
Elektrometallurgische und elektrochemische Industrien	4 752	605	5 357
Elektrische Vollbahnen und Strassenbahnen	425	372	797
Papier und Druck	1 768	219	1 987
Weitere Industrien	4 317	506	4 823
Total	29 219	1 792	31 011
Gesamttotal	67 486	12 774	80 260

in Gewerbe und Landwirtschaft, Eigenverbrauch der Unternehmungen» betrug die Steigerung 15,1%, im Jahre 1955 12,5%.

Die Wasserführung im Jahre 1956 war gut. Die Erzeugung der Wasserkraftwerke betrug 1956 12 774 GWh (siehe Tabelle II) gegenüber 11 815 GWh im Jahre 1955, was einer Steigerung um 8,1% entspricht. Die Erzeugung der thermischen Kraftwerke erhöhte sich von 60 440 GWh im Vorjahr auf 67 486 GWh im Jahre 1956 (siehe Tabelle II), also um 11,7%; der Anteil der thermischen Kraftwerke an der gesamten Energieerzeugung war damit gleich gross wie im letzten Jahr, nämlich ca. 84%.

Tabelle II zeigt die Verteilung der Energieerzeugung im Jahre 1956 nach der Art der Kraftwerke, bzw. der Industrie. Die Erzeugung der Elektrizitätswerke der Allgemeinversorgung betrug 61,4%, diejenige der Industrie-Kraftwerke 38,6% der Gesamterzeugung. Der Anteil des Bergbaus und der Eisenindustrie an der Gesamterzeugung aus Industrie-Kraftwerken machte 58,2% aus.

Thermische Energieerzeugung der Elektrizitätswerke der Allgemeinversorgung im Jahre 1956 Verteilung nach der Art des verwendeten Brennstoffs

Tabelle III

Brennstoff	Netto-Erzeugung	
	GWh	%
Steinkohle ¹⁾	20 351	53,2
Dieselöl	6	—
Braunkohle ¹⁾	17 910	46,8
Total	38 267	100,0

¹⁾ Der grösste Teil der Erzeugung aus flüssigen und gasförmigen Brennstoffen ist in diesen Zahlen inbegriffen, da sie lediglich zur Spitzendeckung dient.

Aus Tabelle III ist die Verteilung der Erzeugung der thermischen Kraftwerke der Allgemeinversorgung nach der Art des Energieträgers ersichtlich. Von einer thermischen Gesamterzeugung von insgesamt 67 486 GWh erzeugten die Elektrizitätswerke der Allgemeinversorgung 38 267 GWh oder 56,7%, die Industrie-Kraftwerke 29 219 GWh oder 43,3%. 53,2% der thermischen Erzeugung der Elektrizitätswerke der Allgemeinversorgung entfielen auf Steinkohle und 46,8% auf Braunkohle. Die Erzeugung aus gas- und ölgefeuerten Kesseln in Steinkohlen- bzw. Braunkohlenkraftwerken wurde unter «Steinkohle» bzw. «Braunkohle» eingereiht, da diese Kessel lediglich zur Spitzendeckung dienen. Es verbleibt damit nur noch eine sehr geringfügige Erzeugung aus flüssigen Brennstoffen (Antrieb durch Verbrennungskraftmaschinen, vorwiegend Dieselmotoren).

Die Brutto-Engpassleistung der öffentlichen Kraftwerke betrug am 1. Januar 1957 11 944,7 MW, wovon 9407,2 MW (78,8%) für die thermischen Kraftwerke und 2537,5 MW (21,2%) für die Wasserkraftwerke.

Am 1. Januar 1956 betrug die gesamte Brutto-Engpassleistung der Kraftwerke der Allgemeinversorgung 11 529,4 MW; während des Berichtsjahrs stieg sie somit um 415,3 MW. Die Leistung der neu in Betrieb gesetzten öffentlichen Kraftwerke beifürte sich auf 532,5 MW (Wasserkraftwerke 76,7 MW, thermische Kraftwerke 455,8 MW) und die Leistungsverminderung durch Abbruch oder Ausserbetriebsetzung von alten Anlagen auf 114,4 MW.

Ferner hat sich die Engpassleistung um 42 MW durch Behebung von Engpässen in thermischen Kraftwerken erhöht; eine Abnahme von 44,8 MW ist durch Berichtigung früherer Angaben zurückzuführen.

Tabelle IV betrifft den Verbrauch elektrischer Energie in Westdeutschland im Jahre 1956. Bei einer Netto-Gesamterzeugung von 80 260 GWh wurden 81 563 GWh für den Verbrauch im Inland bereitgestellt; die Einfuhr übertraf die Ausfuhr um 1303 GWh. Der ausländische Stromtausch erfolgte hauptsächlich mit Österreich und der Schweiz.

Verbrauch elektrischer Energie im Jahre 1956

Tabelle IV

	Werke der All- gemein- versor- gung GWh	Indu- stri- Kraft- werke GWh	Total	
			GWh	%
Netto-Energieerzeugung . . .	49 249	31 011	80 260	—
Energielieferungen von den Industrie-Kraftwerken an die Elektrizitätswerke der Allgemeinversorgung . . .	+ 7 356	— 7 356	—	—
Energieeinfuhr	3 266	87	3 353	—
Energieausfuhr	— 1 998	— 52	— 2 050	—
Gesamte für den Verbrauch im Inland bereitgestellte Energie	57 873	23 690	81 563	—
 Energieverbrauch:				
Kohlenbergbau	690	6 315	7 005	9,4
Eisenindustrie	3 523	3 684	7 207	9,7
Elektrochemie, -Metallurgie, -Thermie	11 504	6 077	17 581	23,7
Bahnen	1 936	790	2 726	3,7
Weitere Industrien	16 819	6 015	22 834	30,8
Öffentliche Beleuchtung, Beleuchtung in Gewerbe und Haushalt, Kleinkräfte in Gewerbe und Landwirtschaft, Eigenverbrauch der Unternehmungen	16 858	—	16 858	22,7
Total	51 330	22 881	74 211	100,0
Verbrauch der Pumpen zur Füllung der Stauseen . . .	1 394	—	1 394	—
Energieverluste in den Netzen	5 149	809	5 958	—
Gesammtotal	57 873	23 690	81 563	—

Die Lieferungen aus industriellen Eigenanlagen an die Elektrizitätswerke der Allgemeinversorgung erreichten 7356 GWh, d. h. 12,7% der von diesen Werken für den Verbrauch im Inland insgesamt bereitgestellten Energiemenge. Der eigentliche Energieverbrauch im Inland betrug 74 211 GWh im Jahre 1956; ausserdem wurden 1394 GWh von den Pumpen zur Füllung der Stauseen und 5958 GWh (7,3% der für den Verbrauch im Inland bereitgestellten Energiemenge) in Form von Verlusten in den Netzen verbraucht. Was die Verteilung des Verbrauchs auf die verschiedenen Verbrauchsgruppen betrifft, zeigt Tabelle IV, dass 22,7% auf die Gruppe «Öffentliche Beleuchtung, Beleuchtung in Gewerbe und Haushalt, weitere Haushaltanwendungen, Kleinkräfte in Gewerbe und Landwirtschaft, Eigenverbrauch der Unternehmungen», 73,6% auf die Industrie und 3,7% auf die Bahnen entfallen. *Fl.*

Die Maschinen- und Elektroindustrie in Europa

Der von der OECE kürzlich veröffentlichte Bericht beschreibt die Lage der Maschinen- und Elektroindustrie in den Mitgliedsländern der OECE in den Jahren 1955...1957 und untersucht die hauptsächlichsten Gründe der Entwicklung.

Im Jahre 1956 wurden in den beiden Industriezweigen mehr als 8 Millionen Personen (nämlich 7,5% der arbeitsfähigen Bevölkerung der Mitgliedsländer) beschäftigt; zur gleichen Zeit betrug der Anteil dieser Industriezweige am Bruttovolkseinkommen der Mitgliedsländer (in Faktorenkosten) mehr als 12%, und der Bruttowert der Produktion erreichte 41...43 Milliarden Dollar; der Export nach ausser-europäischen Ländern belief sich im gesamten auf 7 Milliarden Dollar.

Die Expansion der Maschinen- und Elektroindustrie, sowie der verwandten Wirtschaftszweige hielt in den Jahren 1955...1957 an. Unter Berücksichtigung der Preisentwicklung lässt sich berechnen, dass die Produktion dieser Industriezweige von 1953...1957 um 40% gestiegen ist. Die Produktion hat sich hier in weit grösserem Masse entwickelt als in den andern Industriezweigen, und zwar zu einer Zeit (1956 und 1957), in welcher die allgemeine Expansion bedeutend schwächer war als im Jahre 1955.

Die Produktionserhöhung und die Verbesserung der Produktivität waren nur auf Grund bedeutender Investitionen

möglich, welche sich im Jahre 1956 auf ungefähr 2,6 Milliarden Dollar beliefen; das sind etwa 6,5% des Gesamtumsatzes der beiden Industriegruppen.

Die im Jahre 1955 und zum Teil auch 1956 aufgetretenen Versorgungsschwierigkeiten für bestimmte Rohstoffe haben im allgemeinen die Produktion in der Maschinen- und Elektroindustrie nicht beeinträchtigt. Im Herbst 1956 hat sich die Lage verbessert und, gesamthaft betrachtet, hat sich im Jahre 1957 auf dem Gebiete der Versorgung mit Rohstoffen oder der Lieferung elektrischer Energie kein ernsthaftes Problem gestellt.

In den meisten Ländern sind im Verlaufe der Jahre 1955 und 1956 die Preise der Erzeugnisse der Maschinen und jene der Elektroindustrie gestiegen; bis zum Herbst 1957 hat diese Tendenz angehalten. Verglichen mit den Kostensteigerungen sind diese Preiserhöhungen immerhin relativ klein geblieben.

Im Laufe der Jahre 1955...1957 kann die Entwicklung in der Maschinen- und Elektroindustrie, gesamthaft betrachtet, als befriedigend bezeichnet werden.

Was die Zukunft betrifft, ist vorauszusehen, dass die Nachfrage — trotz den von den Regierungen unternommenen einschränkenden Massnahmen, die im Prinzip nur temporärer Natur sind — nach Produkten aus der Maschinen- und Elektroindustrie in Europa wahrscheinlich weiter steigen wird. Immerhin dürfen die Rückwirkungen der Entwicklung in einigen aussereuropäischen Ländern auf die europäische Produktion nicht übersehen werden. Es handelt sich hauptsächlich um die stetige Entwicklung der Exportmärkte als Folge der Industrialisierung unterentwickelter Länder, um den Einfluss der Preisschwankungen gewisser Rohstoffe (besonders in den letzten Jahren in der Richtung einer Baisse) auf die Nachfrage jener Länder, deren Wirtschaft zu einem grossen Teil vom Export dieser Produkte abhängt, oder auch um die Auswirkungen der Konjunktur in den Vereinigten Staaten.

Man kann aber annehmen, dass — unter der Bedingung, dass in der wirtschaftlichen und politischen Lage keine grundlegenden Änderungen eintreten — die Entwicklungsaussichten der Gesamtnachfrage nach Erzeugnissen aus der Maschinen- und Elektroindustrie nicht ungünstig sind und dass in Europa im allgemeinen die Nachfrage zu einer weiteren Erhöhung der Produktion führen wird. *Fl.*

Der Aufwand für Reaktoranlagen

Über den Aufwand, den die Entwicklung eines Reaktors erfordert, veröffentlicht das Mitteilungsblatt des Delegierten für Fragen der Atomenergie (Nr. 2, Juni 1958) einige interessante Angaben, die Sir *Edwin Plowden*, Leiter der Britischen Atombehörde, anlässlich einer von der «Federation of British Industries» veranstalteten Konferenz gemacht hat. Auf Grund der Erfahrung der «British Atomic Energy Authority» sind darnach bei der Entwicklung eines Reaktorsystems drei Phasen zu unterscheiden, die gesamthaft einen Arbeitsaufwand von 1000 Mannjahren einer Equipe von wissenschaftlich geschulten Physikern, Ingenieuren und Technikern erfordern. Die erste Phase gilt der Abklärung der technischen Lösungsmöglichkeiten. Diese sogenannten feasibility studies werden während etwa eines Jahres von 50...100 Fachleuten durchgeführt. In der zweiten Phase befassen sich ebenfalls während eines Jahres etwa 100...150 Wissenschaftler und Ingenieure mit dem Studium der bestmöglichen konstruktiven Lösungen. In der dritten Phase werden die eigentlichen experimentellen Versuche durchgeführt und ein Prototyp errichtet. Dafür ist während etwa 2...3 Jahren die dauernde Mitarbeit von 200 Fachleuten notwendig. In gewissen Fällen ist noch mit längeren Entwicklungsarbeiten und einem erhöhten Einsatz von Fachleuten zu rechnen. Nach dieser 3. Phase kann noch nicht an eine kommerzielle Verwertung der mittels des Reaktors erzeugten elektrischen Energie gedacht werden. Vorerst sind mit dem Prototyp-Reaktor längere Betriebsversuche durchzuführen. Der Leiter der Britischen Atombehörde schätzt die gesamten Entwicklungskosten für ein neues Reaktor-System zusammen mit den erhöhten Baukosten für die Errichtung eines Prototyp auf etwa 20 Millionen Pfund. *Fl.*

**Erzeugung und Abgabe elektrischer Energie
durch die schweizerischen Elektrizitätswerke der Allgemeinversorgung**

Mitgeteilt vom Eidgenössischen Amt für Elektrizitätswirtschaft und vom Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Die Statistik umfasst die Erzeugung der Elektrizitätswerke für Stromabgabe an Dritte. Nicht inbegriffen ist also die Erzeugung der bahn- und industrieigenen Kraftwerke für den eigenen Bedarf.

Monat	Energieerzeugung und Bezug												Speicherung				Energie- ausfuhr	
	Hydraulische Erzeugung		Thermische Erzeugung		Bezug aus Bahn- und Industrie- Kraftwerken		Energie- Einfuhr		Total Erzeugung und Bezug		Ver- ände- run- gung gegen Vor- jahr	Energieinhalt der Speicher am Monatsende	Ände- rung im Berichts- monat — Entnah- me + Auffüllung					
	1956/57	1957/58	1956/57	1957/58	1956/57	1957/58	1956/57	1957/58	1956/57	1957/58	1956/57	1957/58	1956/57	1957/58	1956/57	1957/58		
	in Millionen kWh												%	in Millionen kWh				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Oktober ...	1112	1035	6	4	41	23	89	165	1248	1227	— 1,7	1887	2167	— 110	— 202	142	112	
November ..	988	907	19	23	15	17	154	250	1176	1197	+ 1,7	1590	1895	— 297	— 272	76	78	
Dezember ..	908	854	21	31	17	18	212	344	1158	1247	+ 7,7	1241	1520	— 349	— 375	69	86	
Januar	904	870	34	31	20	21	253	345	1211	1267	+ 4,6	813	1158	— 428	— 362	75	89	
Februar ...	808	978	15	6	19	27	222	114	1064	1125	+ 5,7	624	974	— 189	— 184	69	83	
März	1043	1168	1	2	26	23	63	56	1133	1249	+ 10,2	483	522	— 141	— 452	91	81	
April	1052	1054	3	4	20	21	41	69	1116	1148	+ 2,9	293	327	— 190	— 195	88	75	
Mai	1053	1322	17	1	37	67	101	12	1208	1402	+ 16,1	323	1043	+ 30	+ 716	130	258	
Juni	1229	1387	3	1	56	48	26	35	1314	1471	+ 12,0	1183	1693	+ 860	+ 650	243	338	
Juli	1453	1482	1	1	69	50	12	53	1535	1586	+ 3,3	1746	2505	+ 563	+ 812	371	402	
August	1312	0			68		13		1393			2232		+ 486		256		
September ..	1092		1		51		66		1210			2369 ⁴⁾		+ 137		153		
Jahr	12954		121		439		1252		14766							1763		
Okt.-März ..	5763	5812	96	97	138	129	993	1274	6990	7312	+ 4,6					-1514	-1847	
April-Juli ..	4787	5245	24	7	182	186	180	169	5173	5607	+ 8,4					+1263	+1983	
																832	1073	

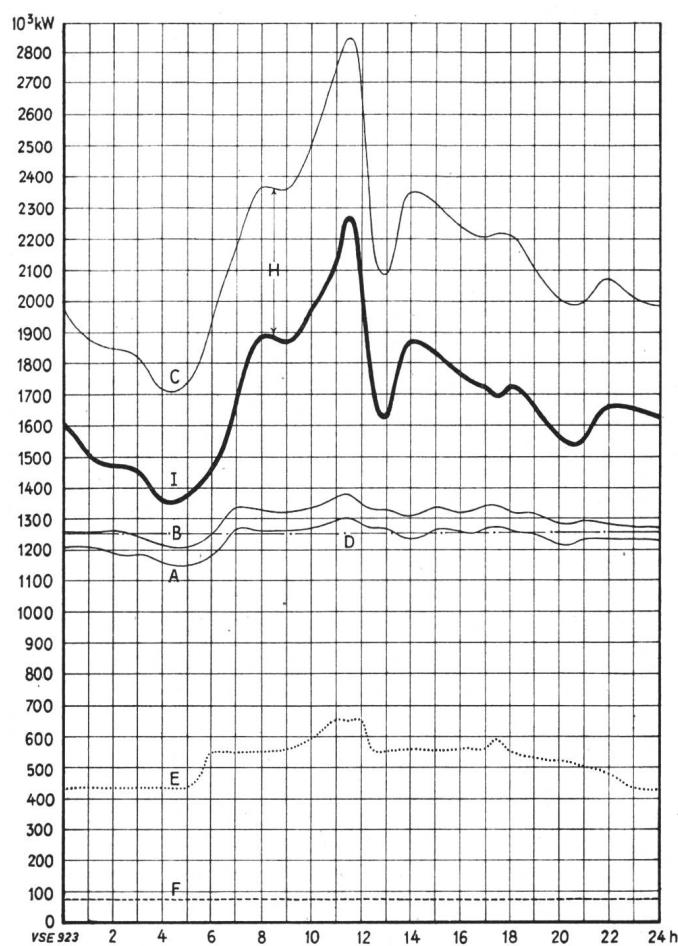
Monat	Verwendung der Energie im Inland																Inlandverbrauch inkl. Verluste	
	Haushalt und Gewerbe		Industrie		Chemische metallurg. u. thermische Anwen- dungen		Elektro- kessel ¹⁾		Bahnen		Verluste und Verbrauch der Speicher- pumpen ²⁾		ohne Elektrokessel und Speicherpump.	Verän- derung gegen Vor- jahr ³⁾ %	mit Elektrokessel und Speicherpump.			
	1956/57	1957/58	1956/57	1957/58	1956/57	1957/58	1956/57	1957/58	1956/57	1957/58	1956/57	1957/58	1956/57	1957/58	1956/57	1957/58		
	in Millionen kWh																18	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Oktober ...	501	523	202	218	173	169	17	14	73	55	140	136	1083	1099	+ 1,5	1106	1115	
November ..	521	540	204	217	155	153	5	4	71	65	144	140	1091	1110	+ 1,7	1100	1119	
Dezember ..	538	582	193	209	136	144	4	3	74	73	144	150	1080	1151	+ 6,6	1089	1161	
Januar	565	586	212	214	133	138	4	3	68	81	154	156	1128	1164	+ 3,2	1136	1178	
Februar ...	479	512	191	190	128	131	5	5	63	69	129	135	983	1025	+ 4,3	995	1042	
März	495	570	197	208	153	170	8	6	60	76	129	138	1026	1160	+ 13,1	1042	1168	
April	462	506	187	195	182	182	18	9	52	55	127	126	1004	1060	+ 5,6	1028	1073	
Mai	489	484	203	191	178	180	22	60	47	55	139	174	1044	1044	± 0	1078	1144	
Juni	441	463	187	193	170	169	61	84	52	56	160	168	969	1017	+ 4,9	1071	1133	
Juli	444	468	190	194	184	180	108	99	64	59	174	184	1023	1057	+ 3,3	1164	1184	
August	462		188		192		72		63		160		1036			1137		
September ..	474		198		164		30		58		133		1016			1057		
Jahr	5871		2352		1948		354		745		1733 (166)		12483			13003		
Okt.-März ..	3099	3313	1199	1256	878	905	43	35	409	419	840 (34)	855 (39)	6391	6709	+ 5,0	6468	6783	
April-Juli ..	1836	1921	767	773	714	711	209	252	215	225	600 (92)	652 (104)	4040	4178	+ 3,4	4341	4534	

¹⁾ D. h. Kessel mit Elektrodenheizung.

²⁾ Die in Klammern gesetzten Zahlen geben den Verbrauch für den Antrieb von Speicherpumpen an.

³⁾ Kolonne 15 gegenüber Kolonne 14.

⁴⁾ Energieinhalt bei vollem Speicherbecken. Sept. 1957 = $2739 \cdot 10^6$ kWh.



Tagesdiagramme der beanspruchten Leistungen
(Elektrizitätswerke der Allgemeinversorgung)

Mittwoch, den 16. Juli 1958

Legende:

1. Mögliche Leistungen:	10 ³ kW
Laufwerke auf Grund der Zuflüsse (0—D) . . .	1256
Saisonspeicherwerke bei voller Leistungsabgabe (bei maximaler Seehöhe)	2370
Total mögliche hydraulische Leistungen	3626
Reserve in thermischen Anlagen	155

2. Wirklich aufgetretene Leistungen

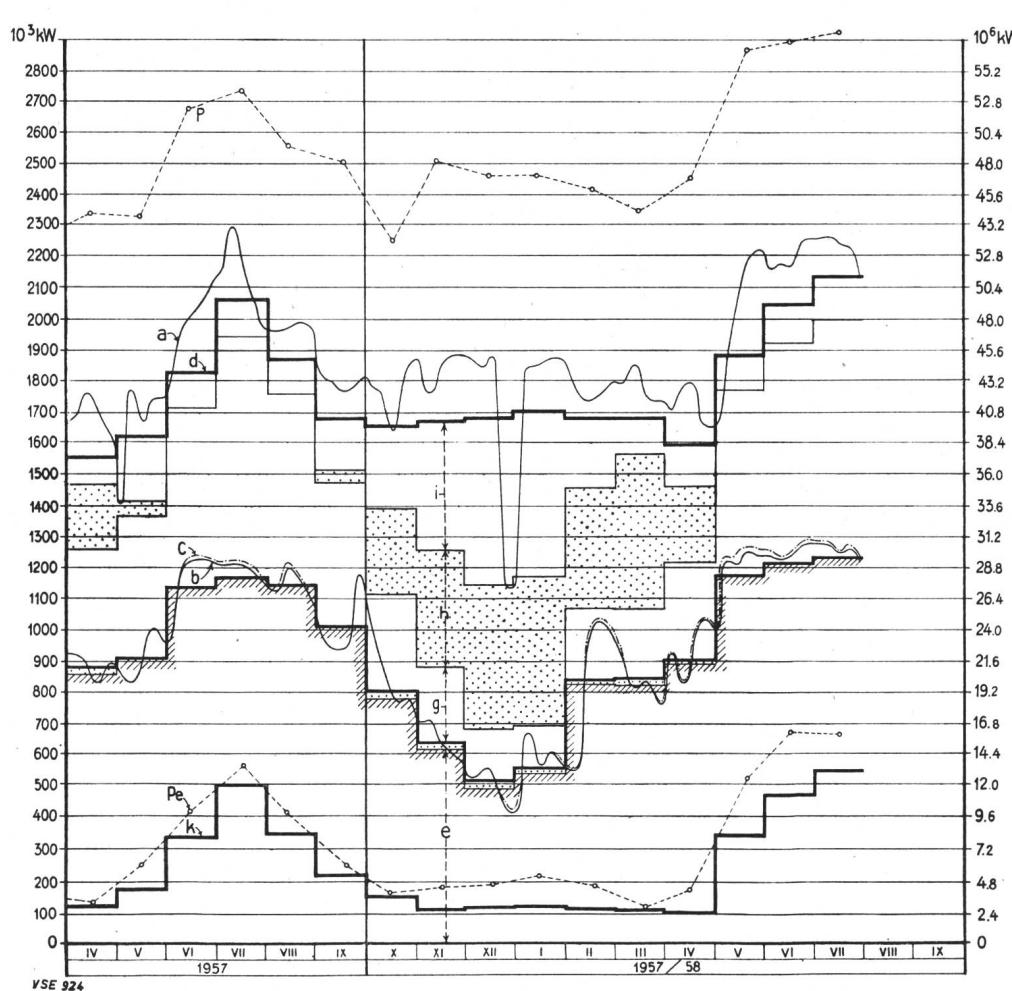
0—A	Laufwerke (inkl. Werke mit Tages- und Wochenspeicher).
A—B	Thermische Werke und Bezug aus Bahn- und Industrie-Kraftwerken.
B—C	Saisonspeicherwerke.
0—I	Inlandabgabe.
0—E	Energieausfuhr.
0—F	Energieeinfuhr.
G	Einfuhrüberschuss.
H	Ausfuhrüberschuss.

3. Energieerzeugung 10⁴ kWh

Laufwerke	30,0
Saisonspeicherwerke	20,8
Thermische Werke	0
Bezug aus Bahn- und Industrie-Kraftwerken	1,2
Einfuhr	1,8
Total, Mittwoch, 16. Juli 1958	53,8
Total, Samstag, 19. Juli 1958	48,9
Total, Sonntag, 20. Juli 1958	40,0

4. Energieabgabe

Inlandverbrauch	41,3
Energieausfuhr	12,5



Mittwoch- und
Monatserzeugung
der Elektrizitäts-
werke der Allge-
meinversorgung

Legende:

1. Höchstleistungen:	(je am dritten Mittwoch jedes Monates)
P	des Gesamt- betriebes
P _e	der Energie- ausfuhr.
2. Mittwoch- erzeugung:	(Durchschnittliche Leistung bzw. Energiemenge)
a	insgesamt;
b	in Laufwerken wirklich;
c	in Laufwerken möglich gewesen.
3. Monatserzeugung:	(Durchschnittliche Monatsleistung bzw. durchschnittliche tägliche Energiemenge)
d	insgesamt;
e	in Laufwerken aus natürl. Zuflüssen;
f	in Laufwerken aus Speicherwasser;
g	in Speicherwerken aus Zuflüssen;
h	in Speicherwerken aus Speicher- wasser;
i	in thermischen Kraftwerken und Bezug aus Bahn- und Industriewerken und Einfuhr;
k	Energieausfuhr;
d-k	Inlandverbrauch

Gesamte Erzeugung und Verwendung elektrischer Energie in der Schweiz

Mitgeteilt vom Eidgenössischen Amt für Elektrizitätswirtschaft

Die nachstehenden Angaben beziehen sich sowohl auf die Erzeugung der Elektrizitätswerke der Allgemeinversorgung wie der bahn- und industrieigenen Kraftwerke.

Monat	Energieerzeugung und Einfuhr										Speicherung				Energie-Ausfuhr		Gesamter Landesverbrauch	
	Hydraulische Erzeugung		Thermische Erzeugung		Energie-Einfuhr		Total Erzeugung und Einfuhr		Veränderung gegen Vorjahr	Energieinhalt der Speicher am Monatsende		Änderung im Berichtsmonat — Entnahme + Auffüllung						
	1956/57	1957/58	1956/57	1957/58	1956/57	1957/58	1956/57	1957/58		1956/57	1957/58	1956/57	1957/58	1956/57	1957/58	1956/57	1957/58	
	in Millionen kWh														in Millionen kWh			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Oktober ...	1358	1264	11	11	89	165	1458	1440	— 1,2	2110	2332	— 110	— 223	149	112	1309	1328	
November ...	1158	1064	27	31	154	256	1339	1351	+ 0,9	1786	2039	— 324	— 293	76	78	1263	1273	
Dezember ...	1063	980	29	38	213	356	1305	1374	+ 5,3	1398	1639	— 388	— 400	69	86	1236	1288	
Januar ...	1044	982	43	40	254	358	1341	1380	+ 2,9	924	1256	— 474	— 383	75	89	1266	1291	
Februar ...	936	1099	23	14	223	123	1182	1236	+ 4,6	700	1063	— 224	— 193	69	83	1113	1153	
März ...	1216	1307	9	10	63	60	1288	1377	+ 6,9	534	580	— 166	— 483	91	87	1197	1290	
April ...	1251	1222	8	10	41	73	1300	1305	+ 0,4	324	355	— 210	— 225	96	88	1204	1217	
Mai ...	1317	1645	22	5	101	12	1440	1662	+ 15,4	351	1125	+ 27	+ 770	146	293	1294	1369	
Juni ...	1551	1725	6	4	26	35	1583	1764	+ 11,4	1277	1850	+ 926	+ 725	271	393	1312	1371	
Juli ...	1789	1835	4	5	12	53	1805	1893	+ 4,9	1885	2734	+ 608	+ 884	411	460	1394	1433	
August ...	1643		2		13		1658			2403		+ 518		295		1363		
September ...	1378		6		66		1450			2555 ^{a)}		+ 152		161		1289		
Jahr ...	15704	190		1255			17149							1909		15240		
Okt.-März ...	6775	6696	142	144	996	1318	7913	8158	+ 3,1			— 1686	— 1975	529	535	7384	7623	
April-Juli ...	5908	6427	40	24	180	173	6128	6624	+ 8,1			+ 1351	+ 2154	924	1234	5204	5390	

Monat	Verteilung des gesamten Landesverbrauches														Landesverbrauch ohne Elektrokessel und Speicher-pumpen	Veränderung gegen Vorjahr		
	Haushalt und Gewerbe		Industrie		Chemische, metallurg. u. thermische Anwendungen		Elektrokessel ¹⁾		Bahnen		Verluste		Verbrauch der Speicher-pumpen					
	1956/57	1957/58	1956/57	1957/58	1956/57	1957/58	1956/57	1957/58	1956/57	1957/58	1956/57	1957/58	1956/57	1957/58				
	in Millionen kWh																%	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Oktober ...	512	532	225	239	284	277	21	17	109	107	151	151	7	5	1281	1306	+ 2,0	
November ...	532	549	227	236	229	223	8	6	107	105	155	148	5	6	1250	1261	+ 0,9	
Dezember ...	549	592	214	225	192	189	6	4	114	112	155	158	6	8	1224	1276	+ 4,2	
Januar ...	576	596	231	233	173	174	6	5	110	112	166	160	4	11	1256	1275	+ 1,5	
Februar ...	488	520	213	211	162	165	7	9	101	100	135	135	7	13	1099	1131	+ 2,9	
März ...	505	581	221	232	209	203	12	8	105	112	136	152	9	2	1176	1280	+ 8,8	
April ...	473	515	209	218	256	223	21	13	101	105	137	138	7	5	1176	1199	+ 2,0	
Mai ...	502	493	225	215	279	295	26	69	104	102	145	152	13	43	1255	1257	+ 0,2	
Juni ...	451	473	209	214	296	299	67	91	104	104	139	155	46	35	1199	1245	+ 3,8	
Juli ...	454	480	212	216	304	310	115	107	113	112	162	177	34	31	1245	1295	+ 4,0	
August ...	471		208		309			80		111		152		32		1251		
September ...	484		220		290			34		106		141		14		1241		
Jahr ...	5997		2614		2983		403		1285		1774		184		14653			
Okt.-März ...	3162	3370	1331	1376	1249	1231	60	49	646	648	898	904	38	45	7286	7529	+ 3,3	
April-Juli ...	1880	1961	855	863	1135	1127	229	280	422	423	583	622	100	114	4875	4996	+ 2,5	

¹⁾ d. h. Kessel mit Elektrodenheizung.

^{a)} Energieinhalt bei vollen Speicherbecken: Sept. 1957 = $2982 \cdot 10^6$ kWh.

Redaktion der «Seiten des VSE»: Sekretariat des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke, Bahnhofplatz 3, Zürich 1, Postadresse; Postfach Zürich 23, Telephon (051) 27 51 91, Postcheckkonto VIII 4355, Telegrammadresse: Electrunion Zürich.

Redaktor: Ch. Morel, Ingenieur.

Sonderabdrucke dieser Seiten können beim Sekretariat des VSE einzeln und im Abonnement bezogen werden.