Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein; Verband Schweizerischer

Elektrizitätswerke

**Band:** 48 (1957)

**Heft:** 18

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: 11.12.2025** 

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

Man hat intensiv nach Möglichkeiten gesucht, die Stosseigenschaften der Scheibenspulenwicklung zu verbessern. Die seit langer Zeit bekannten statischen Schirme sind unwirtschaftlich und bei gewissen Anordnungen, zum Beispiel bei doppelkonzentrischen Wicklungen, kaum anwendbar.

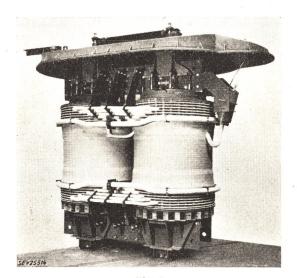
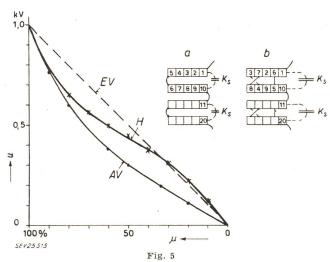


Fig. 4

Aktiver Teil eines Einphasentransformators 10/225 kV
mit Lagenwicklung

Seit einigen Jahren ist nun ein neuer, sehr wirtschaftlicher Weg bekannt geworden, wie durch eine neue Wicklungsart eine starke Vergrösserung der Längskapazität K und damit das Ziel einer besseren Spannungsverteilung in einer Scheibenspulenwicklung erreicht werden kann. Man bezeichnet diese Wicklungsart mit «Verschachtelung der Windungen». Fig. 5 zeigt die Anfangsspannungsverteilung AV und die Hüllkurve H einer verschachtelten Scheibenspulenwicklung. Das Wesen der Verschachtelung zeigt ein Schnitt durch zwei normale a und zwei verschachtelte b Doppelspulen. Im Fall a wird so gewickelt, dass die aufeinander folgenden Windungen 1, 2, 3, bis 10 nebeneinander liegen. Die Längskapazität K<sub>s</sub> einer solchen Doppelspule kann man sich zwischen die erste Windung 1 und die letzte Windung 10 konzentriert denken. Sie ist nicht viel grösser als die Kapazität zwischen der 1. und 10. Windung. Die übrigen Windungskapazitäten sind wenig wirksam. Bei verschachtelten Windungen ist beispielsweise die Reihenfolge der nebeneinander liegenden Windungen 1, 6, 2, 7, 3, 8,  $4_{\times}$ 9, 5, 10, usw. Durch diese Vermischung wird die Längskapazität  $K_s$  einer Doppelspule ein Vielfaches einer gewöhnlichen Doppelspule bei sonst gleichen Abmessungen und Kühlverhältnissen.



Stoßspannungsverteilung in einer Wicklung mit verschachtelten Scheibenspulen

Stoßspannung  $1 \mid 50~\mu s$  u Spannung;  $\mu$  prozentuale Verteilung; AV Anfangsspannungsverteilung; EV Endspannungsverteilung; H Hüllkurve; a normale Wicklungsart; b verschachtelte Wicklungsart;  $K_s$  Längskapazität einer Doppelspule

Die Verschachtelung bedeutet einen grossen Fortschritt, denn durch sie ist die Scheibenspulenwicklung wieder stark aufgewertet und ihre Anwendung, die in vielen Fällen und gerade bei komplizierten Wicklungen sehr vorteilhaft ist, wieder bei den höchsten Spannungen interessant geworden.

Es ist leider nicht möglich, hier auf nähere Einzelheiten einzugehen. Man kann nur betonen, dass die Hersteller heute der Stoßspannungsbeanspruchung mit verschiedenen Massnahmen begegnen und eine Anzahl von Anordnungen zur Verfügung haben, die den gestellten Anforderungen entsprechend angewendet werden können.

#### Adresse des Autors:

Dr. sc. techn. M. Wellauer, Maschinenfabrik Oerlikon, Zürich 50.

# Diskussionsbeiträge

Dr.Ing. A. J. Ess, Emil Haefely & Cie. A.-G., Basel: Das in der Emil Haefely & Cie. A.-G., Basel, entwickelte Stossvoltmeter dient zur Messung des Scheitelwertes von einmaligen, flüchtigen Vorgängen, d. h. nicht wiederkehrenden Spannungsimpulsen, im besonderen von Stoßspannungen (Fig. 1). Das Schaltschema des Apparates zeigt Fig. 2. Die Funktion beruht auf dem Prinzip der Impulsspeicherung. Der zu messende Spannungsimpuls lädt über eine Diode einen kleinen Kondensator  $C_1$  auf. Der maximale Durchlaßstrom der Diode ist durch deren Charakteristik gegeben und kann nicht beliebig erhöht werden. Da dieser Strom ungefähr proportional der aufzuladenden Kapazität und  $\mathrm{d}V/\mathrm{d}t$  ist, so ist bei gegebenem  $\mathrm{d}V/\mathrm{d}t$   $C_1$  bestimmt. Die exakte Theorie ist in der Dissertation von E. Trümpy (ETH) beschrieben. Wenn der

zu messende Impuls abgeklungen ist, entlädt sich der Kondensator auf die gesperrte Diode, ihren Sperrwiderstand und den Isolationswiderstand der Schaltung. Bevor aber die Ladung merklich abgenommen hat, wird ein zweiter Kondensator  $C_2$  über eine Röhre und eine weitere Diode aufgeladen. Da  $C_2$  grösser ist als  $C_1$ , wird auch bei gegebenem Durchlassstrom der Röhre und der Diode und bei gegebener Impulsamplitude zur Aufladung von  $C_2$  mehr Zeit benötigt. Aus demselben Grund ist auch die Entladezeitkonstante von  $C_2$  entsprechend grösser. Die gleichen Überlegungen gelten für den noch grösseren Kondensator  $C_3$ , welcher so gross gewählt ist, dass seine Entladezeitkonstante einige Minuten beträgt. Während dieser Zeit kann die Ladung von  $C_3$  mit einem eingebauten Röhrenvoltmeter gemessen werden. Der Zeiger

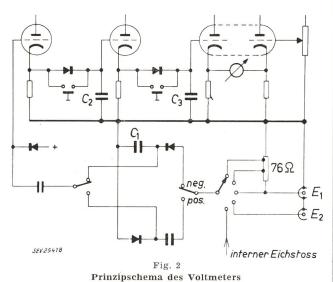
des Instrumentes bleibt auf dem Messwert stehen. Zu seiner Rückstellung werden  $C_2$  und  $C_3$  durch Kurzschliessen entladen.

Der Vorteil dieser Schaltung gegenüber der Schaltung von W. Rabus besteht darin, dass der Isolationswiderstand von  $C_1$  bedeutend kleiner sein darf. Da nach unserem Prinzip  $C_1$  sehr klein gehalten werden kann, wird auch der Messfehler für frontabgeschnittene Stösse entsprechend klein.



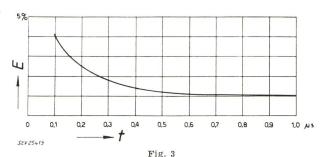
 ${\bf Fig.~1} \\ {\bf Stossvoltmeter} \\ {\bf zur~Scheitelwertmessung~von~einmaligen~Stosswellen}$ 

Das Stossvoltmeter misst den einfachen Scheitelwert der Stoßspannung (nicht peak to peak). Mit einem Umschalter lassen sich sowohl positive wie auch negative Spannungsstösse messen. Da bei abgeschnittenen Stosswellen Schwingungen auftreten können, wurde die Schaltung so gewählt, dass sie nur den Scheitelwert entsprechend der eingestellten Polarität misst. Ein Präzisionsapparat erfüllt seinen Zweck nur dann, wenn er geeicht werden kann. Deshalbenthält das Stossvoltmeter eine Eichschaltung, die einen positiven oder wahlweise einen negativen Eichspannungsstoss 1 | 50 abgibt. Die Ladespannung dieses Stosskreises kann mit dem eingebauten Galvanometer kontrolliert werden.



 $C_1$  Messkondensator;  $C_2$ ,  $C_3$  Speicherkondensatoren;  $E_1$  koaxialer Messeingang, 76  $\Omega$ ;  $E_2$  hochohmiger Messeingang

Zur Messung der Stoßspannung wird das Voltmeter wie ein Kathodenstrahloszillograph an den Stossgenerator über einen Hochspannungsteiler und ein koaxiales Messkabel angeschlossen. Der im Apparat eingebaute Abschlusswiderstand verhindert Reflexionen und enthält Abgriffe, um den Messbereich zu erweitern. Im Netzteil ist ein Trenntransformator eingebaut, der das Stossvoltmeter vom Netz abtrennt und es somit gegen Überspannungen im Erdnetz unempfindlich macht. Die Abschirmung des Apparates gegen Fremdeinflüsse ist so gut, dass bei kurzgeschlossenem Eingang auch bei abgeschnittenen Stosswellen von 1 MV das Instrument keinen Ausschlag zeigt.



Abhängigkeit des Fehlers E von der Abschneidezeit t der frontgeschnittenen Stosswelle

Die Anzeigegenauigkeit des Stossvoltmeters beträgt für volle Stosswellen  $\pm\,1\,^{0}/_{0}.$  Um diese Präzision zu erreichen, wird als Anzeigeinstrument ein Lichtzeigergalvanometer der Klasse 0,5 verwendet. Die Anzeige des Scheitelwertes erfolgt unabhängig von der Kurvenform. Besonders soll erwähnt werden, dass der Messfehler bei nach 0,2  $\mu s$  frontabgeschnittenen Stössen kleiner als  $-3\,^{0}/_{0}$  ist (Fig. 3).

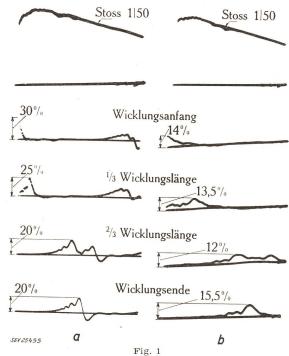
Das Stossvoltmeter wird in jenen Fällen gute Dienste leisten, in welchen nur der Scheitelwert der Stosswelle und nicht deren Kurvenform von Wichtigkeit ist. Für statistische Messungen zur Prüfung von Überspannungsableitern, Isoliermaterial usw. gestattet das Stossvoltmeter ein rationelles Arbeiten.

Dr. M. Christoffel, und Dr. A. Goldstein, A.-G. Brown, Boveri & Cie., Baden (AG): Die Aufgabe, einen Transformator zu bauen, der einem Spannungsstoss vorgeschriebener Höhe und Dauer standhält, bietet vielerlei Aspekte. In erster Linie darf man nie ausser acht lassen, dass sich dieses Problem ja nicht isoliert stellt, sondern dass es sich immer in erster Linie darum handelt, einen wirtschaftlichen und betriebssicheren Transformator zu bauen, der mit möglichst gutem Wirkungsgrad arbeitet. Die zur Erreichung der Stossfestigkeit erforderlichen Massnahmen sind in diese allgemeine Problemstellung einzuordnen.

Über die Methoden, wie in konkreten Fällen die bei Spannungsstoss über einzelne Wicklungen und Wicklungsteile zu erwartenden Spannungen vorausbestimmt werden, soll hier nicht gesprochen werden. Dagegen soll eine besondere Frage kurz beleuchtet werden. Wenn es sich darum handelt, die Stossfestigkeit eines gegebenen Transformators zu erhöhen, so stehen grundsätzlich zwei Wege offen. Entweder verstärkt man die Isolation auf den gewünschten Wert oder man sucht durch geeignete Wicklungsanordnung die Spannungsverteilung zu verbessern, d. h. man vermindert die an den kritischen Stellen auftretenden Spannungen. Die Kunst des Transformatorenbauers besteht nun gerade darin, in jedem Falle diese beiden Methoden so zu kombinieren, dass auf die beste Weise ein sowohl wirtschaftliches wie betriebssicheres Produkt entsteht. Lange Zeit glaubte man, das Problem der Stossfestigkeit so anpacken zu müssen, dass man Transformatoren baute, in deren Wicklungen bei Spannungsstoss fast keine Ausgleichsvorgänge auftraten. Aus dieser Philosophie heraus entstand der sog. «schwingungsfreie» Transformator. Heute ist dieser Standpunkt längst überwunden. Man weiss, dass es durchaus nicht schädlich ist, wenn bei Stoßspannungen die Spannungsverteilung nicht linear ist, vorausgesetzt, man kennt die auftretenden Spannungen und beherrscht sie.

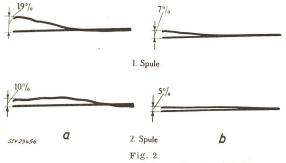
Einige Beispiele mögen das Gesagte erläutern. Im Grosstransformatorenbau ist die beliebteste Wicklungsart die Scheibenspulenwicklung. Diese Vorzugstellung beruht auf mancherlei Gründen, z.B. der relativ leichten Fertigung und

den guten Abstützungsmöglichkeiten gegen mechanische Kräfte. Diese Vorzüge überwiegen in vielen Fällen gegenüber dem Hauptnachteil im Vergleich zur geschilderten Lagenwicklung, nämlich dem einer viel ungleichmässigeren Spannungsverteilung bei Stoss. Unsere Untersuchungen haben nun gezeigt, dass es möglich ist, gewöhnliche Scheibenspulenwicklungen zu bauen bis zu Vollstossprüfspannungen von ungefähr 1050 kV, entsprechend einem höchsten Betrieb nach



Gemessene Stoßspannungen über einzelne Doppelscheibenspulen einer 225-kV- und einer 380-kV-Wicklung a 225-kV-Wicklung; b 380-kV-Wicklung

SEV und CEI von 300 kV bei reduzierter bzw. 245 kV bei voller Isolation. Die erforderliche Stossfestigkeit lässt sich ohne wesentliche Massnahmen zur Verbesserung der Spannungsverteilung allein durch geeignet bemessene Isolation erreichen. Will man hingegen Scheibenspulenwicklungen für noch höhere Spannungen bauen, so drängen sich allerdings Massnahmen zur Verbesserung der Spannungsverteilung auf. Wir hatten beim Bau eines Transformators für das schwedische 380-kV-Netz Gelegenheit zur Untersuchung dieser Zu-

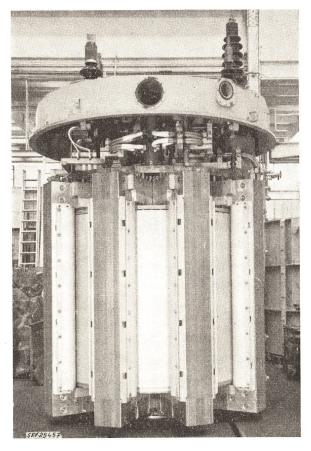


Gemessene Stoßspannungen über die Regelwicklungen zweier Transformatoren

- a Dreiphasentransformator 10 MVA, 72,5 kV
- b Einphasentransformator 250/3 MVA, 110 kV

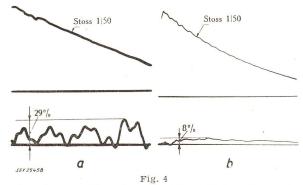
sammenhänge. Die Oberspannungswicklung war für die extrem hohe Vollstossprüfspannung von 1780 kV zu bemessen. Es zeigte sich nun aber, dass in diesem Falle mit relativ einfachen Massnahmen zur Verbesserung der Spannungsverteilung auszukommmen ist. Fig. 1 zeigt einen Vergleich von Oszillogrammen, die am 380-kV-Transformator und an einem 225-kV-Transformator aufgenommen wurden. Man sieht von

oben nach unten die angelegte Stoßspannung und die Spannungen über je eine Doppelscheibenspule am Anfang, in Eindrittel- und Zweidrittel-Wicklungslänge und über die Endspule. Während bei der 220-kV-Wicklung über der Eingangsspule eine wesentlich höhere Spannung auftritt als über die Spulen im Wicklungsinnern, sind die Maximalspannungen über die einzelnen Spulen der 380-kV-Wicklung fast durchweg gleich gross. Man muss aber beachten, dass auch bei der 380-kV-Wicklung die Spannungsverteilung noch weit von einer linearen entfernt ist. Ein solcher 380-kV-Transformator hat nach Abwicklung aller Abnahmeprüfungen, einschliesslich der Stoßspannungsprüfung, vor einigen Monaten unsere Werkstätten verlassen.



. Fig. 3 Aktivteil eines Einphasentransformators einer 260-MVA-Dreiphasengruppe für ein amerikanisches Kraftwerk

Ein zweites Beispiel betrifft die über Regulierwicklungen und den dazu parallel geschalteten Stufenwähler auftretenden Stoßspannungen. Es ist bekannt, dass selbst bei Anordnung der Regulierwicklung in Sternpunktnähe im Laufe der Aus-

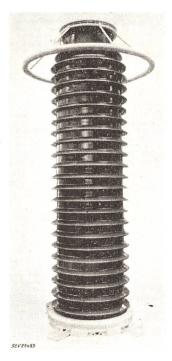


Gemessene Stoßspannungen über die beiden ersten Spulen eines 110-kV- und eines 300-kV-Spannungswandlers a 110-kV-Wandler; b 300-kV-Wandler

Fortsetzung des allgemeinen Teils auf Seite 831 Es folgen «Die Seiten des VSE» Fortsetzung von Seite 818

#### Diskussionsbeiträge (Fortsetzung)

gleichsvorgänge beträchtliche Stoßspannungen auftreten können. Diese Spannungen nimmt man bei kleineren Nennspannungen, beispielsweise bei 72,5 kV, gerne in Kauf, wenn dafür eine einfache Wicklungsanordnung gewählt werden kann. Die notwendige Isolationsfestigkeit lässt sich durch einfache konstruktive Massnahmen erreichen. Fig. 2 zeigt links die



 ${\bf Fig.~5} \\ {\bf Aussenansicht~eines~300-kV-Spannungswandlers}$ 

über der Feinregulierung eines 72,5-kV-Transformators auftretende Stoßspannung; sie beträgt mehr als das Doppelte, als was bei einer linearen Spannungsverteilung zu erwarten wäre.

Der Transformatorenbauer hat es durchaus in der Hand, durch geeignete Massnahmen, speziell im Wicklungsaufbau, die über Regulierwicklungen auftretenden Stoßspannungen zu verringern. Die Fig. rechts stammt von Messungen, die an einem der im Bau befindlichen Einphasentransformatoren für eine 260-MVA-Gruppe des amerikanischen Kraftwerks am St. Lawrence River durchgeführt wurden. Die über der Regulierwicklung auftretende Stoßspannung ist wesentlich kleiner als im vorigen Beispiel, trotzdem die prozentuale Grösse des Regulierbereichs genau dieselbe ist. Fig. 3 zeigt den Aktivteil des erwähnten Transformators nach vollendeter Montage.

Selbstverständlich finden die hier vorgebrachten Überlegungen auch im Messwandlerbau Anwendung. Dazu ein Beispiel aus einer Spannungswandlerreihe. Fig. 4 zeigt die bei Stoss über die beiden ersten Spulen auftretenden Spannungen bei einem 110-kV- und bei einem 300-kV-Spannungswandler. Man sieht, dass es durchaus möglich ist, durch geeignete Massnahmen die über die einzelnen Spulen auftretenden Spannungen auf den erforderlichen Wert zu begrenzen. Fig. 5 zeigt die Aussenansicht eines 300-kV-Spannungswandlers.

Die erwähnten Beispiele sollen zeigen, dass die schweizerischen Transformatorenfabrikanten mit den Problemen der Stossfestigkeit wohl vertraut sind und in jedem Falle eine sichere und wirtschaftliche Lösung suchen.

Dr. A. Goldstein, A.-G. Brown, Boveri & Cie., Baden (AG): Überspannungsableiter sollen ohne Schwierigkeiten in den Stationen dort eingebaut werden können, wo es elektrisch notwendig ist. Dies erfordert freitragende Ableiter

möglichst kleiner Bauhöhe. Fig. 1 zeigt 2 solche Ableitersätze des Typs HDF 190 s für 218 kV höchste Betriebspannung an den Klemmen, eingebaut im Kraftwerk Lucendro, zum Schutze von 220-kV-Transformatoren. Die äussere Potentialsteuerung mit einem Bügel an Stelle eines Ringes ergibt kleine Abmessungen quer zur Leitungsrichtung und damit kleine Phasenabstände. Die Geräte sind mit einer Druckentlastung ausgerüstet, deren Ansprechen durch Herausspringen eines Blechstreifens zwischen den Isolatorflanschen angezeigt wird.

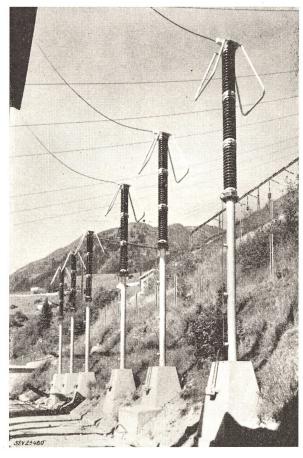


Fig. 1
Uberspannungsableiter
Typ HDF 190 s
im Kraftwerk Lucendro zum Schutze von
220-kV-Transformatoren

Für den Schutzwert eines Ableiters ist eine gleichmässige und niedrige Ansprechspannung bei Stoss sehr wesentlich, denn diese bestimmt, ob der Ableiter bei atmosphärischen Überspannungen überhaupt wirksam wird oder nicht. Gute Ansprecheigenschaften werden durch Potentialsteuerung und

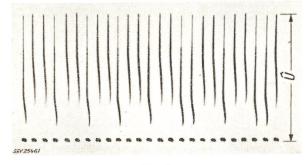


Fig. 2  $\begin{tabular}{ll} $\textbf{Uberspannungsableiter} \\ & \textbf{Typ HDF 150 s} \\ $\textbf{Bestimmung der 50-\%-Ansprechspannung bei Stoss 1} \mid 50 \ \mu s; \\ $\hat{T} = 435 \ kV \end{tabular}$ 

Vorionisierung der Funkenstrecken erreicht. Das Oszillogramm in Fig. 2 zeigt die Aufnahme von 25 Stössen zur Bestimmung der 50-%-Ansprechspannung eines 150-kV-Ableiters der Reihe HDF; die langen Striche sind «Ansprechen», die kurzen «Nichtansprechen». Hieraus folgt eine Ansprechspannung von 435 kV Scheitelwert, mit einer Streuung von nur 10,5 kV oder 2,4 %. Dieses Verhalten garantiert den gewünschten guten Schutz.

W. Ringger, Vizedirektor der Emil Haefely & Cie. A.-G., Basel. In den seit 1948 geltenden Regeln für die Koordination der Isolationen in Wechselstrom-Hochspannungsanlagen ist festgelegt, dass für Strom- und Spannungswandler die gleichen Prüfspannungen bei Industriefrequenz anzuwenden seien wie für Leistungstransformatoren. Wie die Erfahrung zeigt, haben sich nur wenige Elektrizitätswerke an diese Regel gehalten, während die meisten den alten Prüfspannungen nach den VDE-Vorschriften, welche sich praktisch mit den Vorschriften des SEV für Hochspannungs-Apparate decken, treu geblieben sind. Eine erhöhte 50-Hz-Prüfspannung bedeutet nicht unbedingt bessere Bewährung im Betrieb. Bei korrekter Konstruktion aber hat ein Messwandler, der für eine höhere 50-Hz-Prüfspannung ausgelegt ist, auch eine erhöhte Stoßspannungsfestigkeit und damit eine grössere Betriebssicherheit. Aus diesem Grunde kann sich jeder Konstrukteur an den erhöhten Prüfbedingungen nur freuen, vorausgesetzt natürlich, dass der für die Apparate bezahlte Preis ebenfalls eine entsprechende Erhöhung erfahren darf.

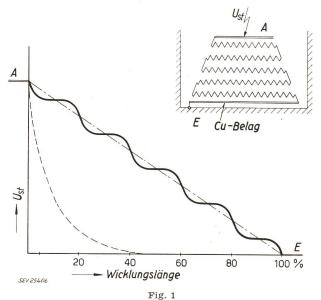
Es wird niemand behaupten, der Messwandler sei ein wichtigeres Glied der Elektrizitätsversorgung als der Leistungstransformator, namentlich wenn man an die heutigen Grosstransformatoren denkt. Trotzdem kann es, mit Rücksicht auf den Schutz von Übertragungsleitungen, vorkommen, dass der Ausfall eines Wandlers störender wirkt als das Versagen eines Leistungstransformators. Auch aus diesem Grund ist eine wirklich strenge Prüfung der Messwandler durchaus richtig. In den letzten 15 Jahren hat die Anwendung von kombinierten Strom- und Spannungswandlern, sog. Messgruppen, in Hochspannungsnetzen eine grosse Ausdehnung erfahren. Da bei diesen Apparaten, im Falle eines Defektes, 2 Wandler zugleich ausfallen, erlangt die Betriebssicherheit hier eine noch grössere Bedeutung.

Die Emil Haefely & Cie. A.-G. in Basel, die sich schon früh im Bau von Messgruppen spezialisierte, hat stets die erhöhten Prüfspannungen angewendet. Trotzdem z.B. die verlangten 50-Hz-Prüfspannungen für 220-kV-Gruppen in den letzten Jahren von 504 kV auf 460 kV reduziert wurden, hat sie, immer mit Rücksicht auf die Betriebssicherheit, die ursprüngliche Dimensionierung beibehalten.

Selbstverständlich wurde auch der Stoßspannungsfestigkeit dieser Apparate die grösste Bedeutung zugemessen. In zahlreichen Versuchen wurde ihre Betriebstüchtigkeit und die Koordination der Isolation kontrolliert. Die Sicherheitsfunkenstrecke, mit der alle Messgruppen ausgerüstet sind, ist auf den Mindestwert der 50.0/0-Überschlagstoßspannung, entsprechend dem mittleren Isolationsniveau, eingestellt. Beim Hochfahren der Spannung bis zum 1000/oigen Überschlag der Sicherheitsfunkenstrecke soll dann das Innere des Apparates keinen Schaden nehmen. Wie kann nun festgestellt werden, dass dies wirklich der Fall ist?

Ein Defekt des Stromwandlers ist leicht festzustellen, denn bei Verwendung einer nicht allzu energiereichen Stoßspannungsanlage beeinflusst ein Überschlag oder ein Durchschlag direkt die Form der Stoßspannungskurve. Schwerer ist es, zu sagen, ob der Spannungswandler Schaden erlitten hat. Hier hilft der Umstand, dass alle Spannungswandler mit Lagenwicklungen ausgerüstet sind. Infolge der grossen Kapazität der einzelnen Windungslagen gegeneinander und der sehr kleinen Erdkapazitäten derselben ist die Anfangsverteilung der auftreffenden Stoßspannung praktisch linear. Dies besonders bei grossen Lagenzahlen, was gerade bei Spannungswandlern der Fall ist. In Fig. 1 ist die prinzipielle Anfangsverteilung einer auf eine Lagenwicklung auftreffenden sehr steilen Stoßspannung dargestellt. Um die Figur deutlich zu machen, sind nur 5 Lagen eingezeichnet. Die strichpunktierte Gerade entspricht der linearen Spannungsverteilung und die stark ausgezogene Wellenlinie der Spannungsverteilung der 5 Wicklungslagen. Zum Vergleich ist die bekannte Spannungsverteilung einer ungesteuerten, normalen Spulenwicklung gestrichelt angedeutet.

Der Übergang von dieser Anfangsverteilung der Stoßspannung in die Endverteilung vollzieht sich durch kleine Schwingungen der einzelnen Lagen um die Gerade A–E. Je grösser die Anzahl von Wicklungslagen ist, um so kleiner werden die Amplituden dieser Schwingungen. Während in Fig. 1, wie bereits erwähnt, nur 5 Lagen als 5 grobe Stufen eingezeichnet sind, variiert die wirkliche Lagenzahl der Spannungswandler zwischen 50 und 100. Für diese grossen Lagenzahlen werden die Schwingungen der einzelnen Lagenspannungen derart klein, dass sie in Fig. 1 nicht eingezeichnet werden könnten.

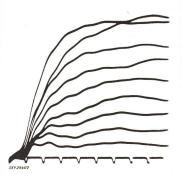


Anfangszustand der Stoßspannungsverteilung bei Rechteckwelle in einer Lagenwicklung eines Spannungswandlers

 $U_{st}$  Auftreffende Stoßspannung  $A\!-\!E$  Gerade der linearen Spannungsverteilung

Fig. 2 zeigt die Spannungsverteilung einer solchen Lagenwicklung und zwar in den ersten 2 µs. Die verschiedenen Kurven gehören zu Messpunkten, die ungefähr die gleichen Windungszahlunterschiede aufweisen. Man ersieht daraus, dass sich die Stoßspannung praktisch linear über die Wicklung verteilt.

Die aus diesen Schwingungen resultierenden Spannungsbeanspruchungen zwischen benachbarten Drähten der gleichen Lage sind ausserordentlich gering und können mit



einer normalen Drahtisolation ohne weiteres beherrscht werden. Trotzdem werden diese Wicklungen mit einer verstärkten Drahtisolation ausgeführt, und zwar aus folgenden Gründen:

Fig. 2 Spannungsverteilung einer Lagenwicklung in den ersten 2 μs

Die bei einer Stoßspannungsprüfung auftretenden Windungsschlüsse sind normalerweise nur momentane Windungsschlüsse. Sie können daher nachträglich durch eine Übersetzungsmessung nicht entdeckt werden, wie dies für satte Windungsschlüsse der Fall ist. Bei Leistungstransformatoren bemüht man sich, Windungsdurchschläge, die bei der Stossspannungsprüfung auftreten, im Oszillogramm des erdseitigen Stromstosses zu erkennen. Für Spannungswandler mit bis zu 30 km Drahtlänge in der Oberspannungswicklung ist so etwas ganz ausgeschlossen. Sind also keine Mittel vorhanden, einen

Windungsschluss bei Stoßspannung mit Sicherheit zu erkennen, so müssen solche womöglich unterdrückt werden. Dies erreicht man mit der verstärkten Windungsisolation.

Es genügt also, wenn bei der Stoßspannungsprüfung gröbere Fehler, als Windungsschlüsse, beobachtet werden können. Als solche kommen in Frage: Lagendurchschlag oder Überschlag einer Enddistanz. Da der Überschlag einer Enddistanz mit einer wesentlichen Kapazitätsvergrösserung des Spannungswandlers verbunden ist, beeinflusst er, mässige Energie der Stossanlage vorausgesetzt, wie ein Stromwandlerdurchschlag, direkt die Stoßspannungskurve. Zur Feststellung eines Lagenschlusses hat man bei Haefely entsprechend der bei Transformatoren üblichen Praxis zahlreiche Beobachtungen des erdseitigen Stoßstromes gemacht, aber ohne Erfolg. Man ging deshalb zur Beobachtung des Schwinggungsbildes der Sekundärwicklung über. Diese Methode ergab sehr gute Resultate. Das oberste Oszillogramm in Fig. 3 zeigt

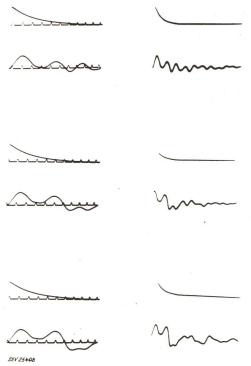


Fig. 3
Schwingungsbild der Sekundärwicklung eines primärseitig
gestossenen Spannungswandlers
Erklärungen siehe im Text

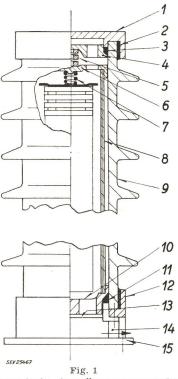
diese Schwingungen am gesunden Wandler, das mittlere beim Kurzschliessen einer halben Windungslage und das unterste beim Kurzschliessen von  $1^{1}/_{2}$  Windungslagen. Die Oszillogramme links wurden mit einer Zeitablenkung von 300  $\mu s$ , diejenigen rechts mit einer solchen von 1000  $\mu s$  aufgenommen. Der Kurzschluss von nur einer halben Windungslage, was in diesem Fall einer Windungszahl von 0,5  $^{0}/_{0}$  entspricht, ergibt also bereits eine ganz deutliche Veränderung des Schwingungsbildes. Ein solcher Schluss könnte beim Durchschlag zwischen Kupferbelag und darunterliegender Drahtlage vorkommen. Alle übrigen Lagenschlüsse würden grössere Windungszahlen umfassen, wodurch die Veränderung des Schwingungsbildes noch grösser würde.

Auf Grund dieser Resultate darf festgestellt werden, dass die Stoßspannungsprüfung dieser Messgruppen keinerlei Unsicherheiten bezüglich nicht feststellbarer, eventueller Wicklungsschäden in sich schliesst, weshalb sie auch als normale Stückprüfung ausgeführt werden.

Bei der kapazitiven Messgruppe, bei welcher der gewickelte, magnetische Spannungswandler durch einen Kondensatorspannungswandler ersetzt ist, stellt die Stoßspannungsprüfung kein Problem dar.

Dr. J. Amsler, Sprecher & Schuh A.-G., Aarau: Als Ergänzung zum Vortrage von Prof. Dr. Berger<sup>1</sup>) sollen an Hand von Figuren einige besonders erwähnenswerte Eigenschaften der Überspannungsableiter der Sprecher & Schuh A.-G. erläutert werden.

Wenn man von Überspannungsableitern, kurz von Ableitern spricht, dann denkt man in erster Linie an den aktiven Teil, d.h. an die Ableitwiderstände und an die Funkenstrecken, die die eigentlichen Schutzfunktionen aus-



Konstruktionsprinzip eines Überspannungsableiters für Nennspannungen bis 60 kV

1 Kappe; 2 Kittung; 3 obere Gummidichtung; 4 obere Druckplatte; 5 Druckfeder für Dichtungsdruck; 6 untere Druckplatte; 7 Druckfeder für aktiven Teil; 8 Schutzrohr; 9 Porzellanisolator; 10 Abschlussarmatur; 11 untere Gummidichtung; 12 Fuss; 13 Sicherheitsmembrane; 14 Öffnung; 15 Grundplatte

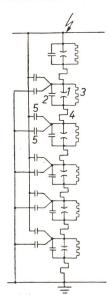
üben, in dem sie die Überspannung begrenzen und die überschüssigen Ladungen nach Erde abführen. Die bitteren Erfahrungen der ersten Entwicklungszeit haben aber gezeigt, dass die konstruktive Gestaltung des Ableitergehäuses und speziell die Abdichtung gegen das Eindringen von Feuchtigkeit für den störungsfreien Einsatz der Ableiter mindestens ebenso wichtig ist wie der aktive Teil.

Fig. 1 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines Ableiters für eine Nennspannung von 60 kV. Für höhere Spannungen wird eine entsprechende Anzahl solcher Elemente in Serie geschaltet. Grösste Sorgfalt ist auf die Abdichtung des Gehäuses verwendet. Die kritischen Stellen bei der Abdichtung sind dort, wo die Metallarmaturen mit dem Porzellanisolator zusammenstossen. Die Armaturen sind auf die Isolatoren aufgekittet, die Kittstelle ist jedoch im allgemeinen nicht dicht. Es müssen daher zusätzlich Gummidichtungen verwendet werden. Wesentlich ist nun, dass diese Gummidichtungen unter konstantem Federdruck stehen, so dass sie unabhängig von der Wärmeausdehnung im Bereich von - 40... +80 °C dicht sind. Der Druck wird ausgeübt von einer kräftigen Druckfeder, die über eine obere Druckplatte auf die obere Dichtung und über eine untere Druckplatte, Isolierrohr (Schutzrohr) und Abschlussarmatur auf die untere Dichtung wirkt.

Störungen an Ableitern sind nach unserer Statistik zu einem sehr seltenen Ereignis geworden. Es wird aber auch in Zukunft nicht möglich sein, Störungen mit völliger Sicherheit zu verhindern, da Belastungsfälle auftreten können, wie z.B. nahe Blitzeinschläge, häufiges Ansprechen in kurzen

¹) Siehe Berger, K.: Überspannungen und Überspannungsschutz. Bull. SEV Bd. 48(1957), Nr 10, S. 465...874 u. 483.

Zeitabständen infolge Resonanzerscheinungen im Netz usw., denen die Ableiter nicht gewachsen sind. An sich wäre es zwar möglich, Ableiter für wesentlich grössere Belastungen zu bauen; diese Möglichkeit wird jedoch angesichts der Seltenheit dieser gefährlichen Belastungen nicht ausgenützt, da dann der Einsatz der Ableiter unwirtschaftlich würde. An-



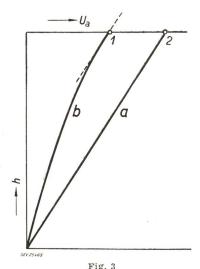
gesichts dieser Sachlage haben wir uns bemüht, das Gehäuse so zu gestalten, dass die Schäden im Störungsfall möglichst gering sind, und dass insbesondere keine Gefährdung der Umgebung durch Splitter auftreten kann. Hiezu ist im Ableiterfuss eine Sicherheitsmembrane angebracht, welche bei mässigem Überdruck im Ableiterinneren anspricht und eine grosse Öffnung freigibt, durch welche die Lichtbogengase nach aussen entweichen können. Diese Massnahme

Fig. 2 Schematische Darstellung der gemischt Ohmisch-kapazitiven Steuerung des

1 Funkenstrecke; 2 Kapazität der Funkenstrecke; 3 Steuerwiderstand; 4 Ableitwiderstand; 5 Streukapazität gegen Zuleitung bzw. gegen Erde

Überspannungsableiters

allein genügt jedoch erfahrungsgemäss noch nicht. Es muss ferner dafür gesorgt werden, dass der Lichtbogen nicht direkt an das Porzellan gelangen kann, da dieses seine mechanische Festigkeit unter der enormen thermischen Belastung nahezu vollständig verlieren würde. Diese Aufgabe übernimmt das Schutzrohr aus Hartpapier. Auf diese Weise behält der Isolator auch im Störungsfall seine volle Festigkeit bei und kann den auftretenden sehr grossen mechanischen Kräften



Schematischer Spannungsverlauf längs des Ableiters

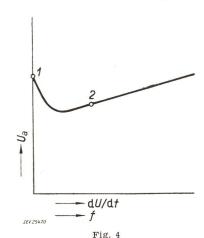
- $\alpha$  bei 50 Hz und bei Frequenzen bis etwa 1000 Hz
- b bei Stoßspannung

 $U_a$  Ansprechspannung; h Höhe des Ableiters;

- 1 Ansprechspannung bei Stoßspannung;
- 2 Ansprechspannung bei 50 Hz

standhalten. Die Einrichtung wurde versuchsweise verschiedentlich bei Kurzschlußströmen von einigen 100 A bis zu ca. 14 000 A geprüft, wobei ihre volle Wirksamkeit erwiesen wurde.

Der aktive Teil des Ableiters ist aus spannungsabhängigen Widerständen und Funkenstrecken gebildet, die abwechslungsweise aufeinandergeschichtet sind, was im Hinblick auf die Unabhängigkeit der Ansprechspannung unter Regen und Verschmutzung wichtig ist. Das Schema der Steuerung ist aus Fig. 2 ersichtlich. Die Ohmsche Komponente ist bei kleinen Frequenzen, insbesondere bei 50 Hz allein wirksam. Sie bewirkt eine praktisch lineare Verteilung der Spannung längs der ganzen aktiven Säule (Fig. 3a). Dies ist vor allem im Hinblick auf das Löschen des nachfolgenden Netzstromes

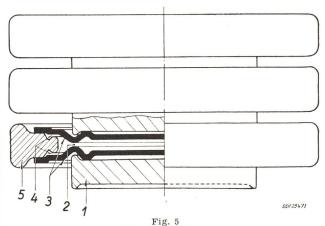


Schematischer Verlauf der Ansprechspannung des Überspannungsableiters

mit gemischt Ohmisch-kapazitiver Steuerung in Funktion der Frontsteilheit der Überspannungswelle

 $U_a$  Ansprechspannung; d $U/{
m d}t$  Steilheit; f Frequenz; 1 50-Hz-Ansprechspannung; 2 100-%-Ansprechstoßspannung

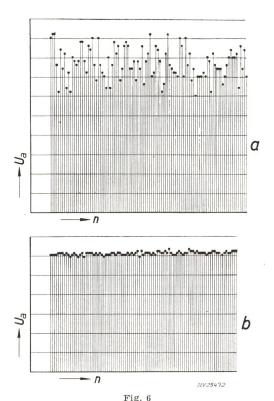
wichtig, weil dadurch erreicht wird, dass jede Funkenstrecke die gleiche Spannung zu unterbrechen hat. Der Ableiter ist dadurch auch gegen das unnötige Ansprechen bei an sich ungefährlichen Schaltüberspannungen geschützt, die meist mit relativ niedrigen Frequenzen auftreten. Bei hohen Frequenzen oder, was dasselbe bedeutet, bei Überspannungen mit steilen Fronten, überwiegt die kapazitive Komponente der Steuerung. Es resultiert daraus eine nichtlineare Spannungsverteilung nach Fig. 3b. Die Ansprechspannung bei Stossvorgängen wird damit kleiner als bei 50 Hz, der Stossfaktor also kleiner als 1, was für den Schutzwert des Ableiters von Bedeutung ist.



Ausschnitt aus dem aktiven Teil des Überspannungsableiters 1 spannungsabhängiger Ableitwiderstand; 2 Funkenstrecke; 3 Elektroden; 4 Vorionisierungsspalt; 5 Steuerwiderstand

Fig. 4 zeigt den prinzipiellen Verlauf der Ansprechspannung in Funktion der Frontsteilheit. Mit steigender Steilheit fällt die Ansprechspannung zunächst ab, da sich der Einfluss der kapazitiven Komponente der Steuerung in steigendem Masse geltend macht. Im Gebiete grösserer Steilheiten steigt die Ansprechspannung jedoch wieder an, da hier bereits der Zündverzug der Funkenstrecken wirksam ist. Der Anstieg erfolgt jedoch um so langsamer, je kleiner der

Zündverzug ist. In der Vorionisierung der Funkenstrecken hat man ein Mittel, den Zündverzug wirksam herabzusetzen. Konstruktive Einzelheiten der Vorionisierung zeigt Fig. 5. Wenn die am Ableiter liegende Spannung über dessen Nennspannung hinaus ansteigt, dann beginnt im Vorionisierungsspalt ein Glimmstrom zu fliessen. Diese Glimmentladung sendet eine kräftige ultraviolette Strahlung aus, die an der Hauptfunkenstrecke Photoelektronen auslöst, wodurch der Zündverzug sehr wirksam heruntergesetzt wird. Fig. 6 zeigt die Streuung einer im übrigen gleichen Funkenstrecke mit und ohne Vorionisierung, bei einer Stossfolge von ca. 100 Stössen in Abständen von 30 s.



Streuung der Frontansprechspannung bei einer Steilheit von 100 kV/ $\mu s$  pro 10 kV Ableiternennspannung

- a Funkenstrecken nicht vorionisiert
- b Funkenstrecken vorionisiert
- $\boldsymbol{U}_a$  Ansprechspannung; n Anzahl Stösse

Der Schutzwert eines Ableiters hängt nicht nur von den Eigenschaften des Ableiters selbst, sondern ganz wesentlich auch von dessen Einbauort im Netz ab. In konkreten Fällen ist es oft nicht einfach, den günstigsten Einbauort zu ermitteln, da die rechnerische Erfassung oft kompliziert und ungenau ist. Wir haben deshalb ein Netzmodell entwickelt, mit dem sich solche Vorgänge auf einfache Weise untersuchen lassen.

Berichtigung. H. Schiller, Baden, Autor des Artikels «Betriebserfahrungen mit der Koordination der Isolation», (Bull. SEV Bd. 48(1957), Nr. 10, S. 483...485) bittet uns um folgende Richtigstellung:

Auf S.483, rechte Spalte, sollte es von der 4. bis 8. Zeile heissen:

«Seinerzeit wurde am Ende der Gotthardleitung ein Transformator  $80-150/50~\mathrm{kV}$  aufgestellt, der oberspannungsseitig Dreieck/Stern von 80 auf  $150~\mathrm{kV}$  umschaltbar gemacht wurde. Da zur Zeit der Bestellung noch keine Normen für die Prüfspannungen für die Nennspannung  $150~\mathrm{kV}$  bestanden, wurde er für eine für heutige Begriffe zu tiefe Prüfspannung bestellt. Um ihn gegen Überspannungen zu schützen, sah man Schutzfunkenstrecken vor. Dieselben wurden etwa  $10~\mathrm{m}$  vor dem Transformator...»

## Wirtschaftliche Mitteilungen

## Zahlen aus der schweizerischen Wirtschaft (Auszüge aus «Die Volkswirtschaft» und aus

«Monatsbericht Schweizerische Nationalbank»)

Nr.     1956   1957   1957   1956   1957   1957   1957   1956   1957   1957   1957   1957   1956   1957   1957   1957   1957   1956   1957				
1.   Import	Nr.			
(Januar-Juni)   (Januar-Juni	11		1956	1957
(Januar-Juni)   (Januar-Juni				
(Januar-Juni)	1.	Import )	637,1	687,9
(Januar-Juni)		(Januar-Juni) \106 Fr	(3545,4)	
(Januar-Juni)		Export	515,9	538,6
lensuchenden		(Januar-Juni)	(2902,3)	
3.   Lebenskostenindex*)   Aug. 1939   Grosshandelsindex*)   = 100   Detailpreise*): (Landesmittel)   (August 1939 = 100)   Elektrische Beleuchtungsenergie Rp./kWh   Selektr.Kochenergie Rp./kWh   Gas Rp./m³   29(121)   29(121)   29(121)   Gaskoks Fr./100 kg   18,96(247)   20,99(273)     4.   Zahl der Wohnungen in den zum Bau bewilligten Gebäuden in 42 Städten   (Januar-Juni)   (9667)   (7253)     5.   Offizieller Diskontsatz   (9667)   (7253)     6.   Nationalbank (Ultimo)   Notenumlauf   106 Fr.   Täglich fällige Verbindlichkeiten   106 Fr.	2.			
3.   Lebenskostenindex*)   Aug. 1939   Grosshandelsindex*)   = 100   Detailpreise*): (Landesmittel)   (August 1939 = 100)   Elektrische Beleuchtungsenergie Rp./kWh   Selektr.Kochenergie Rp./kWh   Gas Rp./m³   29(121)   29(121)   29(121)   Gaskoks Fr./100 kg   18,96(247)   20,99(273)     4.   Zahl der Wohnungen in den zum Bau bewilligten Gebäuden in 42 Städten   (Januar-Juni)   (9667)   (7253)     5.   Offizieller Diskontsatz   (9667)   (7253)     6.   Nationalbank (Ultimo)   Notenumlauf   106 Fr.   Täglich fällige Verbindlichkeiten   106 Fr.		lensuchenden	1 015	971
Grosshandelsindex*)	3.	Lebenskostenindex*) Aug. 1939	175	178
Detailpreise*): (Landesmittel)   (August 1939 = 100)     Elektrische Beleuchtungs-   energie Rp./kWh		Grosshandelsindex*) $= 100$	221	226
(August 1939 = 100)   Elektrische Beleuchtungs- energie Rp./kWh		Detailpreise*): (Landesmittel)		
Elektrische Beleuchtungs- energie Rp./kWh   34(92)   34(92)				
Elektr.Kochenergie Rp./kWh Gas Rp./m³				
Elektr.Kochenergie Rp./kWh Gas Rp./m³		energie Rp./kWh		34(92)
Gas Rp./m³   29(121)   29(121)   20,99(273)		Elektr. Kochenergie Rp./kWh		
Gaskoks Fr./100 kg   18,96(247)   20,99(273)		Gas Rp./m <sup>3</sup>		
4.   Zahl der Wohnungen in den zum Bau bewilligten Gebäuden in 42 Städten		Gaskoks Fr./100 kg	18,96(247)	20,99(273)
den in 42 Städten   1841   1680   (7253)	4.			
(Januar-Juni)   (9667)   (7253)		zum Bau bewilligten Gebäu-		
Sample		den in 42 Städten		
5. Offizieller Diskontsatz 0/0			(9667)	(7253)
Notenumlauf	5.		1,50	2,50
Taglich fallige Verbindlich-   keiten	6.			
Reiten		Notenumlauf 106 Fr.	5 251	5 635
Reiten		Täglich fällige Verbindlich-		
Deckung des Notenumlaufes   und der täglich fälligen   Verbindlichkeiten durch Gold   90,53   90,32		keiten 106 Fr.		
Und der täglich fälligen   Verbindlichkeiten durch Gold   90,53   90,32		Goldbestand und Golddevisen $10^6~{ m Fr.}$	7 282	7 593
Verbindlichkeiten durch Gold   0/0   90,53   90,32				
7. Börsenindex (am 25. d. Mts.) Obligationen				
Obligationen			90,53	90,32
Aktien	7.			0.7
Industrieaktien				
8. Zahl der Konkurse			- LESSES	
Comparison of the content of the c	_			
Zahl der Nachlassverträge (Januar-Juni)	8.		The second secon	
10.   Betriebseinnahmen der SBB   Mai   1956   1957				
9. Fremdenverkehr Bettenbesetzung in % nach den vorhandenen Betten			200000000000000000000000000000000000000	
Bettenbesetzung in %0 nach den vorhandenen Betten	_	, ,		
10.   Betriebseinnahmen der SBB	9.			1957
10. Betriebseinnahmen der SBB  allein:  Verkehrseinnahmen aus Personen- und Güterverkehr				Autorian total
10.   Betriesenhahmen   der   3BB   1956   1957		den vornandenen betten	20,4	21,1
allein:       1956       1957         Verkehrseinnahmen aus Personen- und Güterverkehr (Januar-Mai) (Januar-Mai) (Januar-Mai) (Januar-Mai) (Januar-Mai) (308,3) (330,8) 74,4 75,8 (336,9) (359,5)	10.	Betriebseinnahmen der SBB		
aus Personen- und Güterverkehr   10 <sup>a</sup>   68,8   70,0   (Januar-Mai)   Fr.   (308,3)   (330,8)   Betriebsertrag   (10 <sup>a</sup>   75,8   (336,9)   (359,5)		Land to the second seco	1956	1957
aus Personen- und Güterverkehr   10 <sup>a</sup>   68,8   70,0   (Januar-Mai)   Fr.   (308,3)   (330,8)   Betriebsertrag   (10 <sup>a</sup>   75,8   (336,9)   (359,5)		Verkehrseinnahmen ) (		
Güterverkehr   10 <sup>4</sup>   68,8   70,0   (308,3)   (330,8)   Fr.   Gammar-Mai)				
(Januar-Mai)   Fr.   (308,3)   (330,8)   74,4   75,8   (336,9)   (359,5)			68,8	70,0
Betriebsertrag   \ \ \ (\frac{74,4}{336,9} \) (359,5)				(330,8)
(Januar-Mai) ) ( (336,9) (359,5)				
			(336,9)	(359,5)

<sup>\*)</sup> Entsprechend der Revision der Landesindexermittlung durch das Volkswirtschaftsdepartement ist die Basis Juni 1914 = 100 fallen gelassen und durch die Basis August 1939 = 100 ersetzt worden.

## Miscellanea

### Persönliches und Firmen

(Mitteilungen aus dem Leserkreis sind stets erwünscht)

Aare-Tessin A.-G., Olten (SO). Direktor W. Cottier, Mitglied des SEV seit 1925, Mitglied des Verwaltungsrates der Atel, wurde in dessen leitenden Ausschuss gewählt. G. Gianella wurde zum Direktor, Dr. E. Trümpy, Mitglied des SEV seit 1955, zum Prokuristen ernannt.