

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 31 (1940)
Heft: 23

Artikel: Spannungswandler mit Säulenkern
Autor: Goldstein, J.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1061392>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 15.05.2025

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

Bedeutung. Aus diesem Vergleich geht eindeutig hervor, dass, wenn gleichartige Antriebe vorausgesetzt werden, beim Umschalten von Stern- auf Dreieck-Schaltung sich beim Vielnutmotor ein kleinerer Umschaltstromstoss als beim Doppelnutmotor ergibt und dass dieser Stromstoss beim Vielnutmotor rascher abklingt, als beim Doppelnutmotor.

Der geringe Vorteil eines etwas kleineren Stromes beim Losbrechen wirkt sich beim Uebergang von Stern auf Dreieck nicht mehr aus, sondern hier verhält sich der Doppelnutmotor entschieden ungünstiger. Dieser Umschaltstromstoss ist aber, ausser bei Leerlauf, wo das Umschalten von Stern- auf Dreieck-Schaltung sehr nahe bei der synchronen Drehzahl erfolgen kann, immer grösser, z. T. sogar ganz erheblich, als der Einschaltstrom. Da aber beim Vielnutmotor der Drehmomentüberschuss nach dem Umschalten wesentlich grösser als beim Doppelnutmotor ist, wird der an sich schon kleinere Strom bedeutend rascher abklingen als beim Doppelnutmotor. Daraus folgt, dass der richtig ausgelegte Vielnutmotor in dem hier betrachteten Leistungsbereich das Netz beim Stern-Dreieck-Anlauf weniger stark beansprucht als der Doppelnutmotor. Dieses Verhalten tritt nicht nur beim hier untersuchten Beispiel auf, sondern gilt

allgemein, da der Motor mit Stromverdrängungsrotor immer ein kleineres Kippmoment als der Vielnutmotor hat.

Um vollständig zu sein, muss hier erwähnt werden, dass bei 4poligen Motoren bis zu Leistungen von ca. 12 kW, sofern es sich um richtig ausgenützte, nicht überdimensionierte Motoren handelt, die hier erwähnten Anlauf- und Laufeigenschaften mit Vielnutläufern ohne Stromverdrängung erreicht werden. Für grössere Motoren wird meist ein Stabprofil gewählt mit Stäben, die höher als 10 mm sind, wodurch dann eine gewisse Stromverdrängung erreicht wird. Da aber nach den meisten Werkvorschriften Kurzschlussanker-Motoren grösser als 8 kW selbst für Stern-Dreieck-Anlauf an öffentliche Netze nicht angeschlossen werden dürfen und bis zu dieser Leistung der Doppelnutmotor für allgemeine Antriebe in Industrie und Gewerbe keine Vorteile gegenüber dem Vielnutmotor bringt, sondern, abgesehen vom ersten Augenblick des Einschaltens, sich nur ungünstiger verhält, liegen somit, von Sonderfällen abgesehen, keine zwingenden Gründe vor, den Stromverdrängungsmotor im betrachteten Leistungsbereich zu verwenden, da er in seinem Verhalten keine Vorteile bietet und zudem noch teurer als der Vielnutmotor ist.

Spannungswandler mit Säulenkerneln.

Von J. Goldstein, Zürich.

621.314.222.08

Es wird kurz über die Entwicklung und den Aufbau des Kernsäulenwandlers berichtet und auf dessen Isolations- und Stossfestigkeit hingewiesen. Das Verhalten des Wandlers bei Stoss wurde im Hochspannungslaboratorium des SEV untersucht. Die Resultate werden anhand der Oszillogramme besprochen. Schliesslich wird die Messgenauigkeit betrachtet.

L'auteur rappelle brièvement le développement et la construction du transformateur de tension à noyau à empilages et mentionne sa résistance diélectrique et sa résistance aux ondes de choc. Pour examiner la façon de ce comporter aux ondes de choc, ce transformateur a été soumis à des épreuves de choc au laboratoire à haute tension de l'ASE. Les résultats sont exposés à l'aide des oscillogrammes. L'auteur indique pour terminer la précision des mesures.

1. Vorgeschichte und Allgemeines.

Entsprechend einer Anregung von Biermanns entwickelte der Verfasser in den Jahren 1929—30 die ersten Modellwandler ohne Eisenrückschluss. Es zeigte sich bald, dass die an Spannungswandler gestellten Anforderungen, nämlich die Einhaltung der zulässigen Uebersetzungsfehler und der zulässigen Fehlwinkel, bei der Kernanordnung ohne Eisenrückschluss durch die Anwendung besonderer Kompensationsmittel zu erreichen sind. Es wurden vom Verfasser Vorbelastungen ohmscher und kapazitiver Art als zweckmässig ermittelt und die Wirkungen praktisch festgestellt¹⁾.

Durch die Ueberwindung der messtechnischen Seite der Aufgabe war die Existenzmöglichkeit des Wandlers ohne magnetischen Eisenrückschluss erwiesen. Ein Wandler für 220 kV konnte bei der AEG nach einer Eichung in der PTR als Messprüfwandler für das Transformatoren-Prüffeld in Betrieb genommen werden.

Die Existenzberechtigung und der technische Fortschritt dieser Wandler liegen auf einem anderen Gebiet, nämlich demjenigen der Isolations- und Stossicherheit. Deshalb fällt die weitere Förderung dieser Wandler zeitlich mit den Bestrebungen, Neukonstruktionen für Trockentypen und gewitterfeste Wandler zu entwickeln, zusammen. Die Tatsache, dass der Aufbau dieser Wandler die Schwingungsfreiheit der Wicklung bei Stoss gewährleistet, ist von grosser Bedeutung. Die bei Stossbeanspruchung auftretende Verteilung der Anfangsspannung auf die Elemente der Wicklung ist angenähert linear. Es werden diese Eigenschaften durch den Aufbau, der von Biermanns im DRP 592876 Kl 21 d², dessen Anmeldung bereits im November 1928 erfolgte, erreicht. Man kann heute sagen, dass die neue Konstruktion, die man als Kernsäulenwandler wohl richtig bezeichnet, sich neben anderen Konstruktionen erfolgreich durchsetzt, wenn man neben den AEG-Fortschritten²⁾ auch die beachtenswerte Verbreitung der Sondervariante dieser Konstruktion der Firma E. Walter in Frankreich mitberücksichtigt.

¹⁾ Ausführliche Erörterungen befinden sich im Aufsatz «Messdrosselspule für Höchstspannungen» im Sammelwerk W. Petersen «Forschung und Technik», Verlag Julius Springer 1930, S. 313.

²⁾ Siehe Aufsatz Küchler ETZ 1937, S. 203.

Im Folgenden sollen die wichtigsten Gesichtspunkte für diese Wandlerkonstruktion nochmals zusammengefasst werden, speziell anhand des bei der Firma Moser-Glaser & Co. A.-G., Basel, entwickelten ölarmen Typs dieser Wandler. Im Zusammenhang damit soll über wichtige beim SEV und beim Amt für Mass und Gewicht durchgeführte Versuche berichtet werden.

2. Der Aufbau und die Isolationsfestigkeit.

Der Aufbau des Wandlers besteht bekanntlich aus einzelnen Eisenpaketen, die voneinander durch Zwischenlagen aus Hartpapier getrennt sind. Wie aus Fig. 1 ersichtlich, wird der Mittelpunkt jeder zum betreffenden Eisenpaket gehörigen Wicklungsgruppe der Hochspannungswicklung mit ihrem Kern verbunden. Dadurch wird die Eisensäule von der Wicklung aus im Potential gesteuert. Der Verfasser hat seinerzeit bei der Entwicklung des Kernstumpfwandlers, den man wohl als Vorgänger des Kernsäulenwandlers³⁾ ansprechen darf, bereits festgestellt, dass ein Wegbleiben des oberen Kernstump-

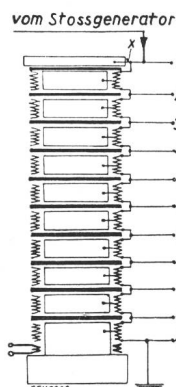
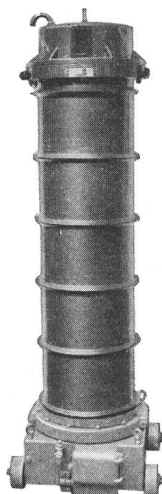


Fig. 1 (links).

Aufbau
des Wandlers.

Fig. 2 (rechts).
Ölarmen Säulen-
wandler von Moser-
Glaser & Co. A.-G.



fes eine Erhöhung der Messleistung zur Folge hat. Eine Flusskonzentration im unteren Teil wurde beim Kernsäulenwandler durch eine wesentliche Verstärkung des unteren Jochstumpfes erreicht. Messungen des Leerlaufstromes haben gezeigt, dass dadurch eine nur ganz geringe Zunahme des Leerlaufstromes in Kauf genommen werden muss. Dem oberen Jochstumpf fällt nur die Rolle der kapazitiven Abdeckung der oberen Spulengruppe zu; er kann deshalb in der Höhe gering gehalten werden.

Vergleicht man diesen Aufbau mit der herkömmlichen Ausführung eines Spannungswandlers, so erkennt man ohne weiteres die Vorteile in isolations-technischer Hinsicht aus folgender Ueberlegung. Es seien n die Zahl der Isolationszwischenlagen und U_p die Prüfspannung (für den Kernsäulenwandler muss diese Prüfung wie für alle mit einem Pol getradeten Wandler durch Selbsterregung ausgeführt werden). Wird der Einfachheit halber angenommen, dass jede Spulengruppe gleiche Windungs-

zahl hat, so tritt bei der Prüfung als höchste lokale Spannung die Spannung zwischen benachbarten Paketen $U = \frac{U_p}{n}$ auf. Zwischen Spulengruppe und ihrem Kern tritt als Höchstwert nur die Hälfte dieser Spannung $\frac{U_p}{2n}$ auf. Dass diese Bruchteile der

Prüfspannung ohne Schwierigkeiten zu meistern sind, ist einleuchtend. Damit hängt es zusammen, dass diese Konstruktion sich auch als Trockentyp eignet, insbesondere für Innenausführung. Solche Spannungswandler (AEG) sind seit Jahren für Höchstspannungen bis zu 150 kV im Betrieb. Diese Wandler können natürlich in Hochspannungsanlagen mit öllosen Schaltern eine grosse Bedeutung erlangen.

Nun eignet sich die neue Konstruktion auch als ölärmer Typ sehr gut. Der Isoliermantel wird von der Kernsäule und der Wicklung fast ganz ausgefüllt; die Ölmenge ist daher sehr gering. Mit diesem Typ lässt sich eine sehr hohe Betriebssicherheit erreichen, und es können Wandler, die z. B. im Betrieb eine Spannung von $\frac{62500}{\sqrt{3}}$ V führen mit 170 kV

durch Selbsterregung geprüft werden. Die Firma Moser-Glaser hat die Konstruktion dieses Typs (Fig. 2), von dem eine Anzahl in einigen Anlagen in Betrieb ist, mit Erfolg durchgeführt. Auf das Totalgewicht der Apparate bezogen beträgt das Ölgewicht nur 10 %.

3. Verhalten bei Stoss.

Es mutet wie ein glückliches Zusammentreffen zweier Erscheinungen an, dass neben der Isolationsfestigkeit auch die Stosswellenbeanspruchung durch die seinerzeit von Biermanns angegebene Neukonstruktion gewährleistet wird. Das Problem des gewittersicheren und sprungwellenfesten Spannungswandlers scheint damit gelöst zu sein.

Mit einem Aufbau, der für SBB-Wandler von 66 kV, $16\frac{2}{3}$ Hz, bestimmt war, wurden im Hochspannungslaboratorium des SEV Stossversuche ausgeführt, wobei mit dem Kathodenstrahloszillographen Aufnahmen gemacht wurden. Man stellte sich die Aufgabe, den Verlauf der Stosswelle innerhalb der Hochspannungswicklung zu untersuchen, um Anhaltspunkte für die Verteilung der Stoßspannung auf die Spulengruppen zu erhalten. Die Wicklung wurde Stößen mit negativen Stosswellen ca. $1/50 \mu s$ ausgesetzt, wobei der Spannungsverlauf abwechselnd an den Meßstellen 1 bis 11 oszillographiert wurde (Fig. 3). Die Oszillogramme 1 bis 3 zeigen den allmählichen Abbau der Stoßspannung in der Wicklung, der praktisch schwingungsfrei verläuft. Um den Verlauf am Ende des Vorganges besser betrachten zu können, wurde der Zeitmaßstab bei Oszillogramm 2 vergrößert. Die Zeitmaßstäbe sind aus Fig. 4 ersichtlich. Man sieht aus Oszillogramm 2, dass wohl noch geringe Ansätze zu Schwingungen vorhanden sind; ihre Amplituden sind aber gering und praktisch bedeutungslos. Dass die Schwingungs-

³⁾ Siehe ETZ 1931, Heft 12.

freiheit auf die Wirkung der gegenseitigen Kapazitäten der Spulengruppen, bez. der sich gegenüberstehenden Endflächen der Pakete, zurückzuführen ist, folgt aus einer Versuchsreihe, welcher die Oszillogramme 4 bis 7 (Fig. 5) entsprechen. Diese wurden bei einer Loslösung der Verbindung der oberen Spulengruppe vom oberen Paket aufgenommen (in

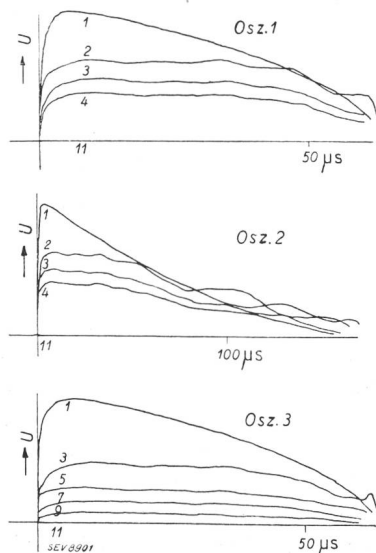


Fig. 3.

Fig. 1 mit x bezeichnet). Die Oszillogramme zeigen eine nicht unwesentliche Ueberschreitung der Spannung an der Meßstelle 2 über die Spannung der Stosswelle hinaus. Die Schwingungen sind noch besser sichtbar in den Oszillogrammen 5 und 6, die bei vergrössertem Zeitmaßstab aufgenommen wurden. Das Zustandekommen einer Eigenschwingung kann nur dadurch erklärt werden, dass die ihres «kapazitiven Protektors» beraubte obere Spulengruppe eine freie Eigenschwingung ausführt. Die Frequenz, bzw. die Periode dieser Eigenschwingung scheint in der Nähe der doppelten «Halbwertzeit» der Stosswelle zu liegen. Eine weitere Lockerung

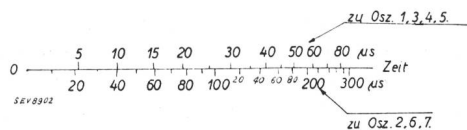


Fig. 4.

Zeitmaßstäbe der Oszillogramme Fig. 3 und 5.

der kapazitiven Koppelung der Spulengruppen würde zweifellos eine Absenkung der Kurve 2 zu Beginn des Stossvorganges zur Folge haben. Es ist klar, wie dies aus dem Verhalten bei Spannungswandlern normaler Ausführung bekannt ist, dass in einem solchen Falle die obere Wicklungsgruppe nahezu die ganze Stoßspannung aufnehmen müsste.

Die Versuche sind sehr lehrreich und zeigen den Weg zur Erreichung einer noch besseren linearen Aufteilung der Stoßspannung. Es sei noch bemerkt, dass die Spulen der Hochspannungswicklung normale Transformatorenspulen sind. Daraus geht hervor, dass die durch den Aufbau gewährleistete

Schwingungsfreiheit der Wicklung bei Stoss durch eine sehr zweckmässige Lösung erreicht worden ist.

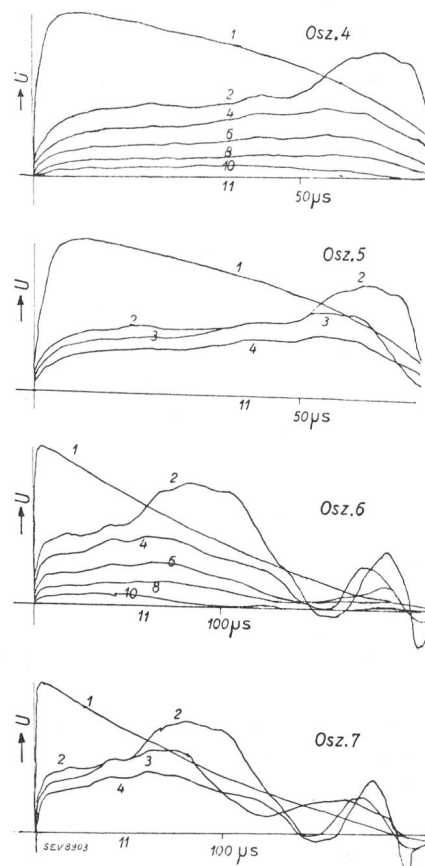


Fig. 5.

4. Die Messgenauigkeit und das Diagramm.

Dass der Spannungswandler mit Kernsäule ungeachtet der erhöhten magnetischen Streuung der vom Spannungswandler verlangten hohen Messgenauigkeit Genüge leistet, hängt mit folgendem zusammen. Der Wandler hat schon im Leerlauf einen bedeutenden Uebersetzungsfehler und einen positiven Fehlwinkel in der Größenordnung von 1° . Die vorzunehmende Windungskorrektur im Sollwert

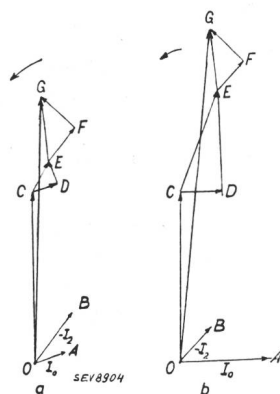


Fig. 6.

Vektordiagramme
a des gewöhnlichen Wandlers,
b des Kernsäulenwandlers.

der Windungszahl ist hier nicht so geringfügig wie beim gewöhnlichen Spannungswandler. Durch Windungskorrektur und ohmsche Vorbelastung kann man die Leerlauffehler zum Verschwinden bringen. Man versteht das Verhalten am besten aus

einem Vergleich des Diagramms dieses Wandlers mit demjenigen eines gewöhnlichen Wandlers (Fig. 6a und b). Schon beim landläufigen Spannungswandler trennt man im Diagramm die Fehler des Leerlaufes von denjenigen der Belastung. Im Diagramm kommt dies durch das Spannungsabfalldreieck CDE im Leerlauf, welches wir schlechthin als Leerlauffehlerdreieck bezeichnen, zum Ausdruck ⁴⁾.

In den Diagrammen sind:

OA = I_0 der Leerlaufstrom,

OB = $-I_2$ der umgeklappte Vektor des Sekundärstromes,

OC = U_{2k} die sekundäre Klemmenspannung,

OG = U_{1k} die primäre Klemmenspannung.

Entsprechend dem geringen Leerlaufstrom und der geringen primären Streuung ist das Leerlauffehlerdreieck klein. Das Fehlerdreieck der Belastung EFG überwiegt.

Ganz anders ist es beim Diagramm des Spannungswandlers mit Kernsäule. Der relativ hohe Leerlaufstrom und die relativ hohe primäre Streuung (die allerdings wesentlich geringer ist als die sekundäre Streuung der am Ende der Säule befindlichen Sekundärspule) bedingen das überwiegende Leerlauffehlerdreieck CDE in Fig. 6b, während das Belastungsfehlerdreieck EFG jetzt geringer erscheint.

Da das Leerlauffehlerdreieck durch die Kompensation zum Verschwinden gebracht wird, bleibt

⁴⁾ Goldstein, Messwandler S. 147.

für die Fehlereinhaltung nur die Ueberwindung des Dreiecks EFG übrig, welches durch eine kapazitive Kompensation der Streuspannung bei Belastung in den zulässigen Grenzen gehalten werden kann. Dadurch ist die Eichfähigkeit in Klasse 0,5 gewährleistet.

Eine tiefeschürfende Untersuchung von Willheim ⁵⁾, einem Förderer des Säulenwandlers, über «Streuung bei Transformatoren und Wandlern in Spezialfällen» enthält auch den Fall des Kernsäulenwandlers.

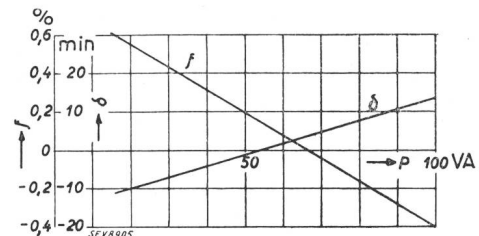


Fig. 7.
Fehlerkurven des Kernsäulenwandlers.

Fig. 7 zeigt die im Amt für Mass und Gewicht in Bern aufgenommenen Fehlerkurven an einer Wandlergruppe für die Entreprises électriques fribourgeoises für eine Netzspannung von 62 500 V. Man sieht aus der Lage der Fehlerkurven, dass die Fehler und Fehlwinkel durch die Kompensations- und Abgleichmittel sich gut auf positive und negative Werte verteilen lassen.

⁵⁾ E. u. M. 1937, Nrn. 36 und 37.

Ueber Kontakte an Trennern, insbesondere für Hochspannung (150 kV).

Von F. Schaer, Olten.

621.316.5.066.6

Trenner, die lange Zeit nicht betätigt werden, können unter Umständen durch chemische Veränderung der Kontaktfläche sehr hohe Uebergangswiderstände bilden, die zu starker Erwärmung führen. In einem praktischen Fall wurden die Kontakte mit Silberplatten versehen, was einen einwandfreien Betrieb ergab.

Für den Trennerkontakt wird, wie für andere Schaltgeräte, meistens Kupfer verwendet, obschon Kupfer nicht in allen Fällen genügt. Bekanntlich oxydiert dieses an der Luft und überzieht sich im Laufe der Zeit mit einer schlecht leitenden Schicht von Kupferoxyd. Bei vielen betriebsmässigen Schaltungen wird der Kontakt immer wieder gereinigt und die Kontaktfläche von der Oxydschicht befreit. Dies wird jedoch um so unsicherer, je weniger der Trenner betätigt werden kann, was im allgemeinen um so mehr zutrifft, je höher die Spannung ist. Und bei grossen Uebertragungsleitungen von 150 kV kann es vorkommen, dass die Trenner jahrelang nicht gebraucht werden. Die noch vorkommenden Abststellungen werden meistens so bemessen, dass die Zeit gerade ausreicht, um evtl. Leitungsstörungen zu beheben, jedoch für allgemeine Revisionen nicht mehr hinreicht. Bei so wenig Schaltungen vermag der Trennerkontakt, auch wenn er noch eine Relativbewegung ausführt, sich

Les sectionneurs, n'ayant pas été actionnés pendant longtemps peuvent, par suite de modifications chimiques de la surface des contacts, être la cause de résistances de passage très élevées qui occasionnent un fort échauffement. Dans un cas pratique les contacts furent munis de plaques d'argent assurant un service impeccable.

vielfach nicht mehr selbst zu reinigen. Besonders gut kann dies der Fall sein, wenn etwa die Luft noch Verunreinigungen, von chemischen Fabriken herrührend, mit sich führt.

In einer Freiluftanlage für 150 kV zeigten sich an den Kontakten nach vierjähriger Betriebszeit Erwärmungserscheinungen bei einer Belastung von bloss ca. 110 A, obschon die betreffenden Kontakte für einen Nennstrom von 300 A dimensioniert waren und im Versuchsstand über 600 A dauernd ohne irgendwelche Erwärmung ertragen hatten. Die Kontakte zeigten die braune Farbe, wie die aller andern Kupferteile, welche längere Zeit in einer Freiluftanlage unter Spannung standen. Der Kontaktdruck war normal geblieben; er betrug 8 bis 10 kg. Beim Versuch, die Kontaktflächen etwas zu reinigen, zeigte sich jedoch, dass die Kontakte mit einem ganzen Belag bedeckt waren, der grünlich verfärbte. Es handelte sich hier also nicht bloss um das gewöhnliche Kupferoxyd, sondern vermut-