

# Elektrotechnische Zeitschrift

(Zentralblatt für Elektrotechnik)

Organ des Elektrotechnischen Vereins seit 1880 und des Verbandes Deutscher Elektrotechniker seit 1894  
Herausgegeben vom Verband Deutscher Elektrotechniker E.V. im NSBDT

Wissenschaftliche Leitung: Berlin-Charlottenburg 4, VDE-Haus — Im Buchhandel durch Springer-Verlag, Berlin W 9

63. Jahrgang

Berlin, 26. März 1942

Heft 11/12

## Eine Hochfrequenz-Hochspannungs-Prüfanlage großer Leistung

(Mittellung aus dem physikalisch-technischen Entwicklungslabor Dr. Rohde und Dr. Schwarz)

Von L. Rohde VDE, G. Wedemeyer und G. H. Giesenhagen, München

DK 621.317-2

**Übersicht.** Ein seit Juli 1941 in Betrieb befindlicher Großmeßsender (40 kW) wird beschrieben, der Spannungsfestigkeit und Verluste von Isolatoren, Durchführungen und Kondensatoren bei Hochspannung hoher Frequenz zu messen gestattet. Die durch die Höhe der erforderlichen Prüfspannung (500 kV) bedingte zweckmäßige räumliche Anordnung und Unterbringung der Anlage wird geschildert und die Sicherheitsmaßnahmen angegeben, die den Sender gegen Störungen und falsche Bedienung schützen. Zum Schluß wird die Messung der Hochspannung besprochen, und die Voraussetzungen werden erörtert, die die Anlage erfüllen muß, damit auch Verlustfaktormessungen mit ihr vorgenommen werden können.

Die Entwicklung der im folgenden beschriebenen Anlage wurde durch die Notwendigkeit der Prüfung von Isolatoren, Durchführungen und Kondensatoren mit Hochfrequenz angeregt. Die Aufgabestellung war durch folgende Punkte gegeben:

1. Erzeugung hoher Spannungen bei drei Frequenzen (800 kHz, 1 MHz, 10 MHz).
2. Anpassung von Prüflingen verschiedener Kapazität.
3. Ausreichende Leistung, um die gewünschte Hochspannung auch bei auftretenden Verlusten aufrechtzuerhalten (Wirkleistung 20 bis 40 kW).
4. Einfache Bedienung unter gleichzeitiger Sicherheit gegen Überlastung bei Überschlügen. Fernabstimmung, Betätigung und Anzeige auf einem gemeinsamen Pult.
5. Verriegelung und damit Verhinderung falscher Bedienung. Schutz gegen Störungen.

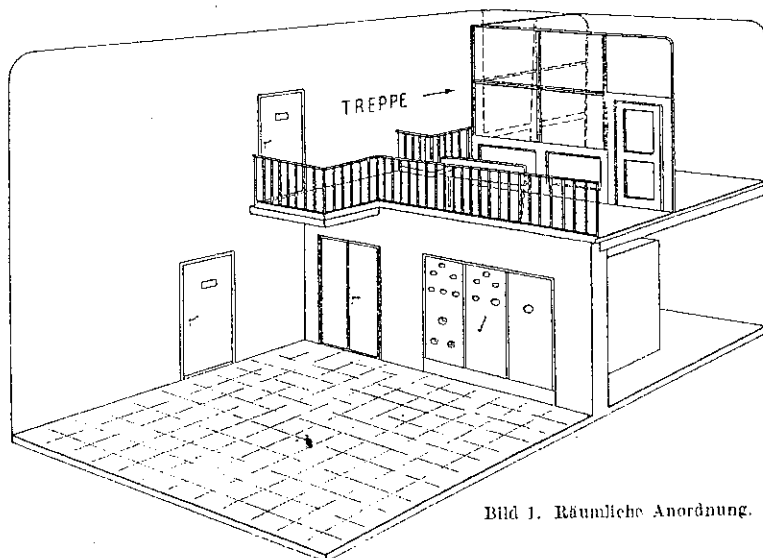


Bild 1. Räumliche Anordnung.

### Die räumliche Anordnung

Die Erfüllung der obigen Forderungen war auf das engste mit der räumlichen Anordnung der Anlage verknüpft, die so gewählt werden mußte, daß die Hochspannungsspulen und der Sender in getrennten Räumen untergebracht werden konnten. Die Höhe des Prüfraumes mußte sich nach der Größe der Hochspannungsspulen und der darüber anzubringenden Prüfobjekte richten. Gleichzeitig war zu fordern, daß das Bedienungspersonal bei hinreichendem Abstand vom Prüfobjekt eine gute Übersicht behält. Daher wurde die in Bild 1 skizzierte räumliche Anordnung gewählt, bei der die geforderte Prüfraumhöhe durch Fortlassen einer Hälfte der Etagendecke erreicht wurde, was baulich einfach ausführbar ist. Auf der halben Etagendecke steht am Geländer das Bedienungspult für die ganze Anlage (Bild 2).

Hochspannungsgleichrichter und Sender wurden im Raum unterhalb der Bühne so untergebracht, daß die Schalttafel als Vorderfront des Senders in die Trennwand zwischen Sender- und Prüfraum eingelassen ist. Von der Bühne aus führt eine Treppe durch den Senderraum zum Prüfraum. Eine Metalltür trennt die beiden Räume. Der ganze Raum ist mit Aluminiumblech ausgeschlagen und die Fenster mit abnehmbaren Metallgittern geschirmt, um eine Strahlung der Anlage nach außen und eine Störung anderer Räume und Gelände zu verhindern. Entsprechend sind Licht- und Kraftleitungen durch Drosseln in der Hauptzuführung geschützt.

### Der Hochfrequenzteil

Wie aus der Grundschaltung (Bild 3) hervorgeht, ist eine Gegentaktanordnung verwendet worden. Der Steuersender, der mit zwei Röhren RS 329 bestückt ist, wurde

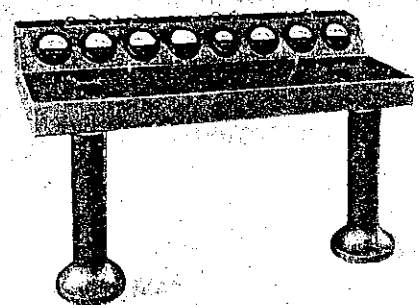


Bild 2. Das Bedienungspult.

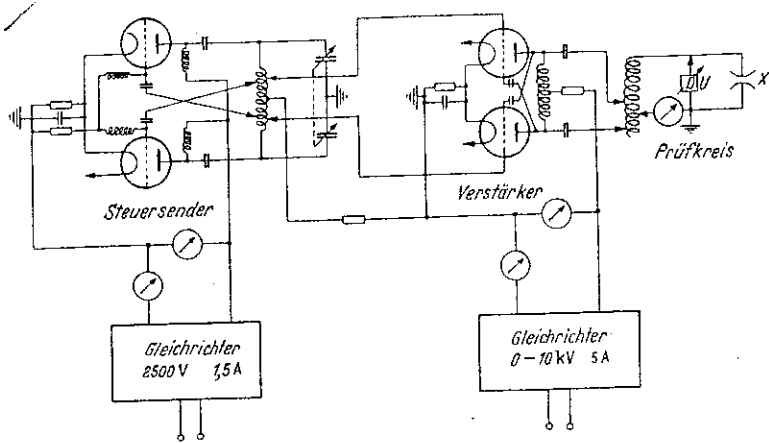


Bild 3. Grundschialtung des Hochfrequenzteils.

so bemessen, daß er ausreichende Leistung für die Verstärkerstufe abgibt. Die wassergekühlte Röhre RS 257 dient als Verstärker. Die Gegentaktanordnung gestattet in einfacher Weise eine Neutralisation des Verstärkers, die für die drei vorgesehenen Frequenzen gleichbleiben kann. Der Steuersender erhielt eine feste Anodenspannung. Dagegen wird der Verstärker mit veränderlicher Anodenspannung betrieben und so auf die gewünschte Ausgangsleistung eingestellt. Die Hochspannungsspulen werden an den Verstärker durch Abgriffe angepaßt, die je nach Dämpfung des Meßkreises eingestellt werden.

Da man bei Überschlagen an Isolatoren mit einem Kurzschluß des Meßkreises rechnen muß, wurde der Verstärker mit einem Kathodenwiderstand versehen, der den Gleichstrom begrenzt. Auf diese Weise sind auch die Röhren bei falscher Einstellung gegen Überlastung geschützt. Als Prüfkreis dient ein normaler Parallelresonanzkreis. Um die geforderte hohe Spannung zu erreichen, muß er sehr hochohmig sein, was durch hohe Güte (Spulendurchmesser zu Spulenlänge), große Kreisinduktivität und kleine Kapazität erreicht wurde.

Der Prüfkreis wird auf den angeschalteten Prüfling durch Abgreifen der Spule am unteren Ende grob abgestimmt. Die genaue Resonanzeinstellung wird durch Verändern der Frequenz des Steuersenders eingestellt, die um  $\pm 10\%$  ihres Nennwertes regelbar ist. Bei der Frequenz 300 kHz erfolgt diese Änderung durch ein von einem Steuermotor angetriebenes Variometer (Bild 4). Bei 1 MHz wird ein keramischer Doppelkondensator und bei 10 MHz ein Luftdrehkondensator benutzt. Zum Frequenzbereichwechsel werden im Steuersender drei verschiedene Schwingkreise eingeschaltet. Die Stellung des Frequenzschalters sowie die Stellung der Abstimmenelemente werden auf dem Bedienungstisch der Anlage angezeigt.

#### Der Starkstromteil

Die Einzelbauten der Stromversorgung und der Sicherheitsverriegelungen sind aus Bild 5 zu ersehen. Der Sender wird von Hand eingeschaltet, auch die Heizspannung wird von Hand geregelt. Eine Verriegelung an den Regeltransformatoren sorgt dafür, daß man nur dann einschalten kann, wenn diese heruntergeregelt sind. In diese Verriegelung ist auch die Wasserversorgung der Verstärkerstufe einbezogen. Die Kühlwassertemperatur wird durch Kontaktthermometer überwacht, die die Heizungen und damit den Sender abstellen, falls Übertemperaturen eintreten. Der Steuersender und nach ihm der Verstärker können erst eingeschaltet werden, wenn die Heizungen annähernd auf ihren Sollwert hinaufgeregelt sind. Der Gleichrichter der Steuerstufe wird über Urdox-Widerstände stoßfrei eingeschaltet.

Um die Anlage schnell abschalten zu können, sind für die Leistungsstufe gittergesteuerte Quecksilberdampfrohre als Gleichrichter vorgesehen (in Bild 5 ist die Gittersteuerung fortgelassen). Die Spannung wird durch

einen motorgesteuerten Drehtransformator geregelt. Der Gleichrichter kann von 0 bis 11 kV geregelt werden, wobei ein maximaler Strom von 5 A zur Verfügung steht. Die Sicherheitsverriegelung dieses Gleichrichters wurde in die allgemeine Verriegelung mit einbezogen. Der Gleichrichter kann nicht hochgeregelt werden, wenn z. B. der Steuersender nicht eingeschaltet ist. Umgekehrt kann der Gleichrichter aber allein ausgeschaltet werden. Nach Abschalten regelt er sich von selbst auf die Anfangsstellung zurück und kann dann erst wieder hochgeregelt werden; bei Überlastung schaltet er selbsttätig ab.

Bleibt das Kühlwasser aus, oder übersteigt die Wassertemperatur die zulässige Grenze ( $60^\circ$ ), so wird die ganze Anlage abgeschaltet. Das Einschalten muß dann ganz von vorne beginnen. Erst sind also alle Heizregler auf Null zu stellen, bevor wieder eingeschaltet werden kann. Bleibt eine Phase des Drehstromnetzes fort, so werden die Anodenspannungen der Steuerstufe und des Verstärkers abgeschaltet (Phasenschutz); eine Schädigung der Röhre durch Unterheizung wird somit vermieden.

Die Vorderansicht des Senders ist aus Bild 6 zu erkennen. Die Schalttafel besteht aus drei Feldern. Auf dem ersten Feld sind die Regler und Kontrollinstrumente für die Röhrenheizungen sowie deren Ein- und Ausschaltknöpfe untergebracht. Schaulampen zeigen die Stellung der Heizungsschütze. Das zweite Feld enthält die Kontrollinstrumente für den Steuersender und den Wellenschalter mit Schaulampen für die eingestellte Frequenz, außerdem Schaulampen zur Anzeige der Schutzstellung für die Anodenspannungen. Das dritte Feld, hinter dem die Verstärkerstufe untergebracht ist, enthält die Durchführungen der Kopplungsleitung sowie das Anzeigement der Prüfspannung.

#### Das Bedienungspult

Das Bedienungspult soll eine möglichst übersichtliche und einfache Fernbedienung der Anlage ermöglichen.

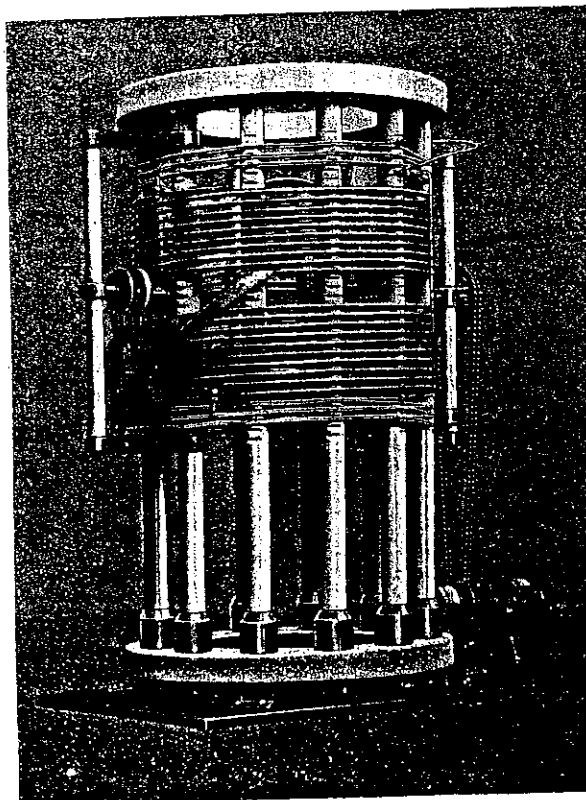


Bild 4. Das Variometer für 300 kHz mit Antrieb.

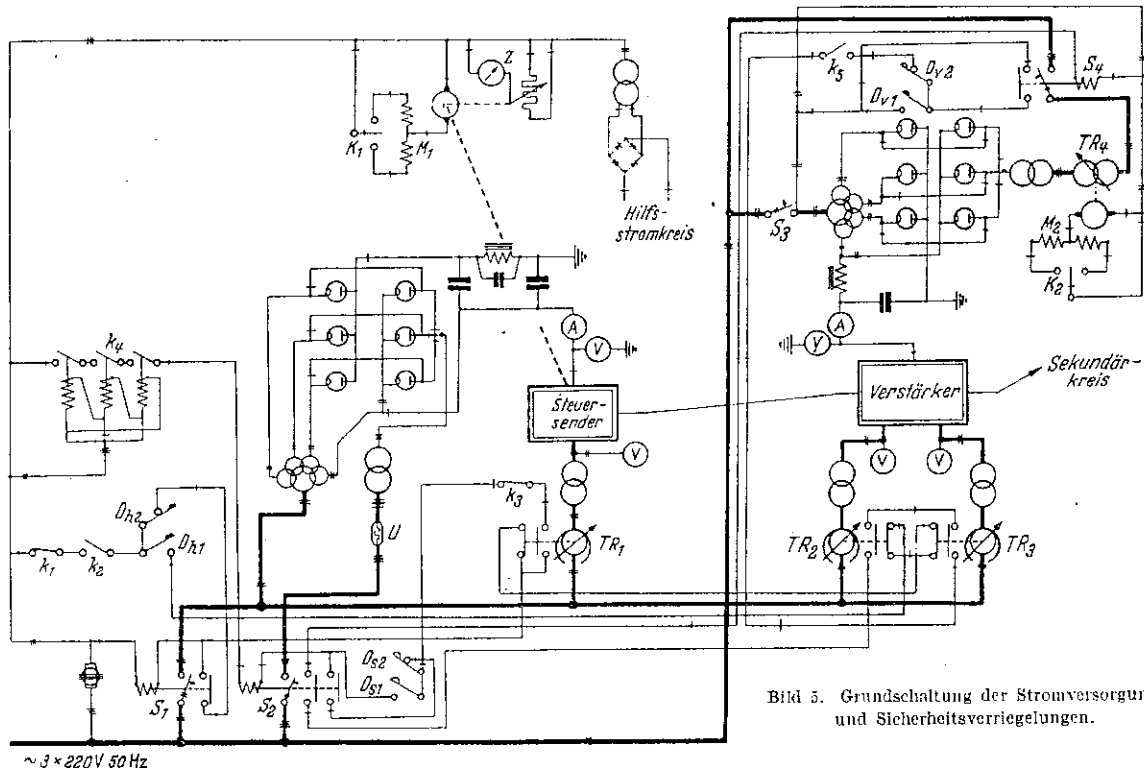


Bild 5. Grundschialtung der Stromversorgung und Sicherheitsverriegelungen.

Außer den Signallampen für die eingestellte Frequenz und die Stellung der Schütze sowie der Verriegelung befinden sich auf dem Pult Meßinstrumente zur Bestimmung folgender Größen von links nach rechts (Bild 2): HF-Spannung des Steuer-senders, Anodengleichspannung des Verstärkers, Anodenstrom des Verstärkers, Prüfspannung, Prüfstrom, Stellung der Abstimmung, HF-Spannung am Verstärker (Anpassung) und Gitterstrom des Verstärkers.

Die Anordnung ist so gewählt, daß die wichtigsten Instrumente in der Mitte — dem Hauptblickfeld des Bedienenden — liegen. Von diesem Pult aus können der Gleichrichter für den Steuer-sender, die Anodengleichspannung des Verstärkers und der Leistungsgleichrichter ein- und ausgeschaltet und die Frequenz eingestellt werden. Die Schalter stehen jeweils vor dem zugehörigen Instrument, um die Bedienung übersichtlich zu gestalten.

**Die Hochspannungsspulen**

Bei der Bemessung der Spannungsspulen mußte auf eine Anpassung an verschiedene Meßobjekte Rücksicht genommen werden. Sie sind daher als Spartransformatoren gebaut. Aus Gründen der Spannungsfestigkeit ist eine möglichst gleichmäßige Feldverteilung zu erstreben, die durch Aufsetzen einer Metallkappe erreicht wurde. Der auf einen Calit-Spulen-träger aus Stangen mit eingeschlif-fenen Rillen gewickelte 5 mm-Elektrolyt-Kupferdraht hat nur wenig Verluste. Ein größerer Kupferquerschnitt bringt keine wesentliche Verbesserung, da gleichzeitig die Länge und damit die Eigenkapazität der Spule wächst. Außerdem wird das Verhältnis Spulendurchmesser zu Länge (Güte) ungünstig. Die Kühlung ist bei dem gewählten Drahtabstand sehr günstig, die Spule für 300 kHz kann ohne unzulässige Erwärmung 10 kW dauernd abführen. Die Daten der Spule sind:

- $L = 6 \text{ mH}$  Spulenhöhe = 2,30 m;
- $U_{\text{max}} = 500 \text{ kV}$  (Scheitelwert)
- $C_0 = 50 \text{ pF}$  Spulendurchmesser = 1 m;
- $I_{\text{max}} = 35 \text{ A}$  (Scheitelwert)
- $\text{tg } \delta = 0,1 \%$  Windungszahl = 120;
- max. Blindleistung = 12 500 bkW.

Die Kapazität von 50 pF kommt vor allem durch die Metallkappe zustande, die neben der gleichmäßigen Feldverteilung auch eine ausreichende Spannungsfestigkeit gegen die Raumwände und Decke erzeugt. Eine geringe Abschlußkapazität ist jedoch erwünscht, damit die

Spule nicht in der Eigenschwingung angeregt wird, bei der wegen der verteilten Kapazitäten die Stromstärke nicht konstant und damit die Spannungsverteilung nicht linear ist.

Die Spule für 1 MHz ist ähnlich aufgebaut, der Draht-durchmesser ist jedoch entsprechend der größeren Stromstärke größer (6 mm). Die Daten und Abmessungen sind folgende:

- $L = 0,65 \text{ mH}$  Spulenhöhe = 1,30 m;
- $C_0 = 40 \text{ pF}$   $U_{\text{max}} = 300 \text{ kV}$  (Scheitelwert) = 200
- Spulendurchmesser = 0,6 m;  $I_{\text{max}} = 53,0 \text{ A}$  (Scheitelwert) = 200
- $\text{tg } \delta = 0,05 \text{ bis } 0,1 \%$  Windungszahl = 40;
- max. Blindleistung = 11 500 bkW.

Eine Aufnahme der 300 kHz- und 1 MHz-Spulen zeigt Bild 6.

Die 10 MHz-Spule, die aus 20 mm Cu-Rohr gewickelt ist, wurde freitragend waagrecht auf Stützern montiert. Sie steht auf einem Wagen und ist leicht zu transportieren. Ihre Daten und Abmessungen sind:

- $L = 30 \mu\text{H}$  Spulenlänge 45 cm;
- $U_{\text{max}} = 100 \text{ kV}$  (Scheitelwert)
- $C_0 = 20 \text{ pF}$  Spulendurchmesser 40 cm;
- $I_{\text{max}} = 35 \text{ A}$  (Scheitelwert)
- $\text{tg } \delta = 0,08 \%$  Windungszahl 11;
- max. Blindleistung = 2500 bkW.

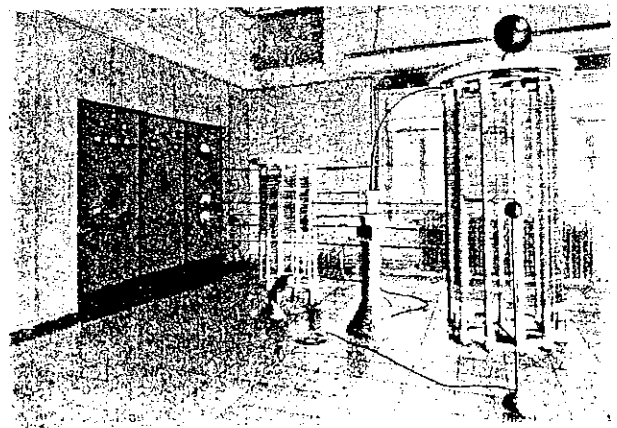


Bild 6. Ansicht der 300 kHz- und 1 MHz-Hochspannungsspulen

Die 10 MHz-Spule kann wegen ihrer großen Eigenkapazität, die eine Eigenresonanzfrequenz  $< 10$  MHz zur Folge hat, nur in symmetrischer Schaltung benutzt werden, wodurch die wirksame Eigenkapazität wesentlich herabgesetzt wird. Das Anbringen von Sprühgeschützen an den beiden Spulenden hat sich als überflüssig erwiesen, Kugeln von etwa 25 mm Dmr. als Abschluß der Rohrenden verhindern Entladungen.

Man muß leider bei der Bemessung von Hochspannungsspulen so hoher Frequenz einen Kompromiß schließen zwischen der Forderung nach möglichst geringer Eigenkapazität und dem Anstreben einer hohen Spulengüte; denn die Erfüllung beider Forderungen wirkt sich auf die Bemessung des zu verwendenden Rohrquerschnitts in entgegengesetztem Sinne aus. Aus diesem Grunde ist den stationären Hochspannungsschwingkreisen bei Frequenzen zwischen 10 und 20 MHz eine Grenze gesetzt. Oberhalb dieser Frequenzen sind Lechersysteme vorzuziehen.

Die drei Spulen können in jeder Kombination verwendet werden, so wurde z. B. die 10 MHz-Spule in Verbindung mit einer keramischen 800 pF-Kondensatorbatterie bei einer Frequenz von 1 MHz als Hochstromkreis verwendet. Es läßt sich auf diese Weise leicht ein Strom von etwa 200 A erzielen; die in Kapazität und Spule dabei umgesetzte Blindleistung beträgt dann etwa 8000 kVA, das ist eine Leistung, die zur Belastungsprüfung aller Senderkondensatoren mehr als ausreicht.

#### Die Spannung

Die Spannung, die bei den einzelnen Frequenzen erreichbar ist, wird durch die Güte und Spannungsfestigkeit der Spulen begrenzt. Die größte Spule hat bei 6 mH und 120 Windungen eine Spannungsfestigkeit von etwa 500 kV (Scheitelwert), wenn der Abstand der Spule von der Decke des Raumes mindestens 3 m beträgt. Die Windungsspannung beträgt dann etwa 4 kV.

Bei derartig hohen Spannungen ist das Raumfeld in der Umgebung der Spule außerordentlich stark. In einem Umkreis von 3 bis 5 m muß jede scharfe Kante vermieden werden, da sonst sofort Sprühen eintritt. Für das Bedienungspersonal ist es gefährlich, sich in dieser Entfernung aufzuhalten, da der Körper infolge der Isolation durch die Schuhe Spannungen von mehreren tausend Volt annimmt. Es kommt daher vor, daß von den Schuhnägeln Durchschläge auf die Fußsohle entstehen. Außerdem bilden sich bei Berührung mit Metallteilen von Erdpotential Lichtbögen, die schwere Verbrennungen der Hände zur Folge haben können. Wir haben leider alle beim Arbeiten mit der Anlage in dieser Richtung Lehrgeld bezahlen müssen.



Bild 7. Freie 300 kHz-Entladung. Brennspannung etwa 100 kV. Wirkleistung rd. 20 kW.

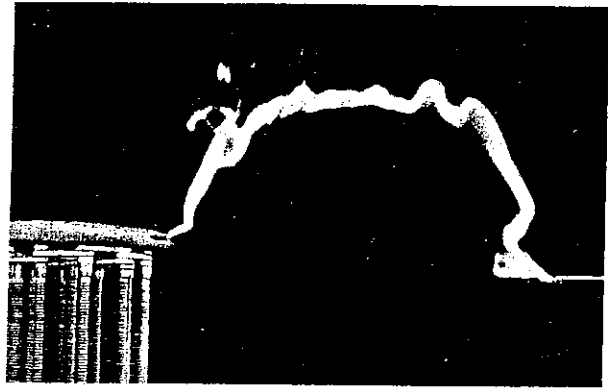


Bild 8. 300 kHz-Überschlag. Zündspannung rd. 500 kV. Brennspannung 120 kV. Wirkleistung rd. 25 kW.

Bringt man am oberen Ende der Spule einen kurzen Metallstab an, so entsteht eine Entladung, wie sie in Bild 7 gezeigt wird. Die Entladung benötigt rd. 20 kW und brennt über ihre eigene Kapazität. Wegen der hohen Stromdichte (rd. 0,2 A) entsteht am Fußpunkt der Entladung ein Bogen, der sich nach den Enden zu Funken verästelt<sup>1)</sup>. Die eigenartige Form entsteht durch die Wärmebewegung der Luft. Ein Überschlag ist auf Bild 8 zu sehen. Die Zündung erfolgt bei rd. 500 kV. Die Brennspannung beträgt etwa 120 kV, die Leistung hierbei rd. 25 kW. Die Wärmebewegung der Luft löscht die Entladung nach etwa 1 s.

#### Die Spannungsmessung

Da für die Messung der Spannungsfestigkeit von Isolatoren u. a. der Spitzenwert maßgebend ist, war es zweckmäßig, ein Scheitelspannung anzeigendes Voltmeter zu verwenden. Wir wählten daher ein Hochspannungsvoltmeter unserer eigenen Herstellung, das auf einem geeigneten Sockel aufgebaut in Bild 6 sichtbar ist. Es ist dies ein Diodenvoltmeter mit kapazitivem Spannungsteiler, der als Luftkondensator in den die Spannungsklemme tragenden Isolator eingebaut ist<sup>2)</sup>. Das Gerät hat einen 100 kV- und einen 50 kV-Bereich und ist mit einem statischen Voltmeter nach Starke-Schröder unter Verwendung ungedämpfter HF-Spannung (kleiner Klirrfaktor) geeicht. Spannungen über 100 kV werden durch Abgreifen einer Teilspannung an der Hochspannungsspule gemessen. Eine Kontrolle dieser Messung z. B. bei nicht linearer Spannungsverteilung längs der Spule kann jederzeit durch die Messung des Spulenstroms  $I$  (vgl. nächster Abschnitt) erfolgen, wobei

$$U = \sqrt{2} I \omega L.$$

Man kann natürlich dem Röhrenvoltmeter von vornherein mit einem hinreichend großen Isolator auch einen Bereich von 500 kV geben. Hierzu ist jedoch ein sehr unförmiger und teurer Isolator erforderlich, der mit großen Sprühgeschützarmaturen versehen sein müßte und so die Schwingkreiskapazität unnötig vergrößern würde. Vor allem wäre jedoch ein solches Röhrenvoltmeter wegen der äußerst kleinen Teilerkapazität (etwa 0,1 pF) außerordentlich empfindlich gegen Störfelder. Wir haben aus diesen Gründen von der Konstruktion eines Voltmeters mit einem Spannungsbereich über 100 kV grundsätzlich abgesehen. Man kann im übrigen den Meßbereich des Voltmeters dadurch beliebig erweitern, daß man es unangeschlossen im Spulenfeld bewegt und es an einem für die Ablesung günstigen Punkt des Feldes durch die obengeschilderte Spulenstrommessung eicht.

<sup>1)</sup> L. Rohde u. G. Wedemeyer, Verluste und Durchschlag bei Hochspannung hoher Frequenz, ETZ 61 (1940) S. 1161 u. 1188.  
<sup>2)</sup> L. Rohde, Hochspannungsröhrenvoltmeter für Hochfrequenz, Arch. techn. Messen J 83—1 (1937).

### Die Strommessung

Die Messung des Spulenstroms erfolgt in der zum Spulenfuß führenden Erdungsleitung durch einen Durchführungswandler mit dem Frequenzbereich 300 kHz bis 10 MHz. Für die Strommessung der 300 kHz- und 1 MHz-Spule wurde ein 20 A-Instrument verwendet, dessen Bereich durch einen Nebenwiderstand des Wandlers auf 40 A erweitert werden kann. Für Hochstrommessungen wurde ein entsprechendes Meßgerät mit einem Bereich von 100 A vorgesehen. Die Leitung vom Wandler zum Instrument (Schaltpult) wurde zum Schutz des Thermoumformers sorgfältig geschirmt.

### Verlustmessung

Neben der Bestimmung der Spannungsfestigkeit ist mit der Anlage auch die Messung des Verlustfaktors von Isolatoren, Durchführungen, Kondensatoren usw. möglich. Das Meßverfahren, auf Grund dessen unser Entwicklungslaboratorium ein Verlustfaktormeßgerät für Hochspannung entwickelt hat, wurde in einer früheren Arbeit<sup>3)</sup> ausführlich beschrieben. Es beruht auf einem Substitutionsverfahren, bei dem die Wirkkomponente des Prüflingleitwerts durch eine frequenzunabhängige Diodenanordnung ersetzt und so der Messung zugänglich gemacht wird. Die Substitution der Blindkomponente des Prüflingleitwerts erfolgt am zweckmäßigsten durch Änderung der Meßkreis-kapazität. Es ist daher für die Verwendung zur Dämpfungsmessung an den Hochspannungsspulen ein veränderbarer Luftkondensator vorzusehen, der die Anfangskapazität des Meßkreises möglichst wenig vergrößern, dagegen die Spannungsfestigkeit nicht verkleinern soll.

<sup>3)</sup> L. Rohde u. G. Wedemeyer. Die Messung von Verlusten bei Hochspannung hoher Frequenz. ETZ 61 (1940) S. 577.

Diese Forderungen werden in nahezu idealer Weise durch eine zweite geerdete Sprühschutzkappe verwirklicht, die oberhalb der Spulenkappe beweglich so aufgehängt ist, daß beide Platten die Beläge eines Plattenkondensators mit veränderlichem Abstand bilden. Die Anbringung eines solchen veränderbaren Luftkondensators, dessen Kapazitätsänderung zweckmäßigerweise durch Fernsteuerung vom Bedienungspult aus vorgenommen wird, ist die einzige Voraussetzung für die Verwendung des oben erwähnten tg  $\delta$ -Meßgerätes, mit dem Verlustfaktoren von  $10^{-6}$  bis  $10^{-1}$  bei Höchstspannung gemessen werden können.

### Zusammenfassung

Die sich in den letzten Jahren sprunghaft entwickelnde Technik für hochfrequente Hochspannung schafft das Bedürfnis nach einer Prüfanlage großer Leistung, mit der sowohl Hochspannungs- als auch Hochstromprüfungen vorgenommen werden können. Der beschriebene Großleistungsmeßsender erzeugt bei einer Wirkleistungsabgabe von 40 kW und einer Frequenz von 300 kHz eine maximale Prüfspannung von etwa 500 kV Spitzenspannung (300 kV bei 1 MHz und 80 kV bei 10 MHz) und ist somit zur Festigkeitsprüfung aller bei hochfrequenter Hochspannung benutzten Schaltelemente mehr als ausreichend. Als Schutz gegen falsche Bedienung des Senders, die zur Zerstörung der wertvollen Bestandteile führen könnte, ist die Anlage schaltungsmäßig weitgehend verriegelt. Die Messung der Hochspannung erfolgt durch Diodenvoltmeter mit kapazitiver Spannungsteilung, der Strom wird durch Stromwandler mit Thermoumformer gemessen.

Zum Schluß möchten wir Herrn Dipl.-Ing. L. Schneider für seine wertvolle Mitarbeit danken, ebenso danken wir Herrn Obering. Lieblang für die uns gewährte Unterstützung bei der Aufstellung der Anlage.

## 400 kV Drehstrom- und 400 kV Gleichstromübertragung

DK 621.315.024.025.3

Die Forschungsstätten und Projektierungsabteilungen der deutschen elektrotechnischen Großindustrie haben seit Jahren in aller Stille die Entwicklung der Anlagenelemente, die erforderlichen Untersuchungen aller Einzelfragen und die Projektierung von Übertragungsanlagen für 400 kV Drehstromfreileitungsübertragungen und 400 kV Gleichstromkabelübertragungen durchgeführt und bereits vor einiger Zeit abgeschlossen, so daß der Generalinspektor für Wasser und Energie, der kürzlich verstorbene Herr Reichsminister Dr. Todt, inzwischen im Zuge seiner Gesamtplanung der Energieversorgung Großdeutschlands die Anordnung für den Bau sowohl von 400 kV Drehstromübertragungen mit größter übertragbarer Leistung auf Hunderte von Kilometern Entfernung als auch für eine 400 kV Gleichstromübertragung großer Leistung auf über 100 km Gleichstromkabelstrecke zur Ausführung durch die deutsche Elektroindustrie treffen konnte. Die deutschen elektrotechnischen Großfirmen haben bisher aus verständlichen Gründen über diese ihre Arbeiten und deren Ergebnisse der Öffentlichkeit gegenüber Stillschweigen bewahrt. Sie werden im deutschen Interesse auch weiterhin mit Veröffentlichungen Zurückhaltung üben.

Zu diesem Thema der Hochleistungsübertragung auf große Entfernungen fand am 13. 12. 1941 in Zürich unter dem Vorsitz des Präsidenten Dr. Schiesser eine Diskussionsveranstaltung des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins statt. Zunächst gab Herr Dr. Wenger einen Überblick über die Drehstrom-Großkraftübertragung. Im Vordergrund seiner Betrachtungen stand die Stabilitätsfrage, wobei er insbesondere für Fernleitungen mit verteilter Kapazität und Induktivität die gesetzmäßigen Zusammenhänge zwischen Übertragungsleistung und Leitungslänge erläuterte. Da bei Entfernungen über 400 km die Stabilität durch Stützpunktstationen zur Blindleistungskompensation verbessert werden kann, wurden die hier bestehenden theoretischen und praktischen Möglichkeiten zur Durchführung dieser Aufgabe durch

Maschinen oder ruhende Apparate besprochen. Die Möglichkeit, die Grenzentfernung der Übertragung durch Verwendung besonders erregter Asynchrongeneratoren auf der Kraftwerksseite zu erhöhen, wurde kurz behandelt. Die Aussichten, durch Ausweichen auf andere Frequenzen eine Verbesserung der Stabilität zu erzielen, dürften gegenüber der Gleichstromübertragung nur gering sein. Bezüglich der Sternpunktfrage wurde festgestellt, daß für Übertragungen über 200 kV die direkte Nullpunktserdung in den Kreis der Erwägungen gezogen werden müsse.

Anschließend berichtete Herr Ch. Ehrensperger über Fragen der Gleichstromübertragung. Im ersten Teil seines Referates wurde über den zweckmäßigsten Aufbau von Gleichstromanlagen berichtet, wobei er sich auf Grund des heutigen Entwicklungsstandes in der Schweiz für das Konstantspannungssystem und die Anwendung von Stromrichtern entschied. Zur Erzielung der notwendigen Übertragungsspannung und um den Vorteil größerer Rückzündungssicherheit zu erhalten, sollen mehrere Gefäßeinheiten hintereinander geschaltet werden. Ein auf dieser Grundlage im zweiten Teil behandelter Wirtschaftlichkeitsvergleich zwischen einer Gleich- und Drehstromübertragung ergab, daß bei Freileitungsübertragungen unter gewissen Voraussetzungen der Gleichstrom bei Entfernungen über 300 km kleinere Übertragungskosten als der Drehstrom ergibt. Bei Kabelübertragungen tritt diese Tatsache bei Entfernungen von etwa über 500 km auf.

Einzelheiten hinsichtlich des Freileitungsbaues bei Gleichstromanlagen und der Vorteil der Verwendung von Gleichstrom für Kabelübertragungen wurden noch in zwei besonderen Vorträgen von R. Vögeli und P. Müller behandelt. Schließlich gab Herr Howald noch einen Überblick über die energiewirtschaftlichen Bedingungen für Großkraftübertragungen auf weite Entfernungen in den USA. »