

**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens  
**Herausgeber:** Association suisse des électriciens  
**Band:** 26 (1935)  
**Heft:** 26

**Artikel:** Ein neuer Ohmscher Messwiderstand für Hochspannung  
**Autor:** Kuhlmann, K. / Mecklenburg, W.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1058498>

### **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:** 18.01.2025

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

# ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

# BULLETIN

RÉDACTION:  
Secrétariat général de l'Association Suisse des Electriciens  
et de l'Union des Centrales Suisses d'électricité, Zurich 8

EDITEUR ET ADMINISTRATION:  
S. A. Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei, Zurich 4  
Stauffacherquai 36/40

Reproduction interdite sans l'assentiment de la rédaction et sans indication des sources

XXVI<sup>e</sup> Année

N<sup>o</sup> 26

Vendredi, 20 Décembre 1935

## Ein neuer Ohmscher Messwiderstand für Hochspannung<sup>1)</sup>.

Von K. Kuhlmann und W. Mecklenburg, Zürich.

(Mitteilung aus dem Hochspannungslaboratorium der Eidg. Techn. Hochschule, Zürich.)

621.317.72 : 621.3.027.7

*Es wird ein Hochspannungs-Messwiderstand (Flüssigkeits-Widerstand) beschrieben, der im Hochspannungslaboratorium der Eidg. Techn. Hochschule entwickelt wurde. Die zusätzlichen Fehler, die durch Verwendung dieses Widerstandes in die Messung eingeführt werden, betragen nur in den seltensten Fällen und nur bei starken Oberschwingungen Werte von über 1%; er ist in den meisten praktischen Fällen vernachlässigbar klein. Die Zeitkonstante liegt in der Grössenordnung von  $10^{-5}$  Sekunden.*

*Les auteurs décrivent une résistance pour mesurer les hautes tensions (résistance liquide) développée dans le laboratoire à haute tension de l'École Polytechnique Fédérale. L'erreur additionnelle, introduite dans les mesures par l'utilisation de cette résistance, ne dépasse 1% que dans des cas exceptionnels et lorsque les harmoniques sont très forts; dans la plupart des cas pratiques, elle est parfaitement négligeable. La constante de temps est de l'ordre de  $10^{-5}$  seconde.*

Schon lange besteht ein ausgesprochenes Bedürfnis nach Ohmschen Messwiderständen für Hochspannungszwecke, die den hohen Anforderungen, welche die heutige Technik an die Genauigkeit der

Hochspannungsmesswiderstandes ein schwieriges Problem darstellt, schwierig nicht nur deshalb, weil ein geeignetes Widerstandsmaterial fehlt, sondern schwierig auch deshalb, weil schon kleine kapazitive Nebenschlüsse zum eigentlichen Messwiderstand bei dem hohen Ohmwert des Messwiderstandes zu beträchtlichen Fehlwinkeln Anlass geben können.

Schon seit vielen Jahren widmet das Elektrotechnische Institut der Eidg. Techn. Hochschule der Ausbildung von Ohmschen Widerständen zu Messzwecken der Hochspannungstechnik seine volle Aufmerksamkeit.<sup>2)</sup>

Nach längeren Vorstudien ist es uns gelungen, einen Ohmschen Messwiderstand für Hochspannungsmessungen zu entwickeln. Eine Versuchsausführung für eine Spannung von 300 000 Volt (Fig. 1) steht seit einigen Monaten im Hochspannungslaboratorium der Eidg. Techn. Hochschule in Betrieb und hat bisher zufriedenstellend gearbeitet.

### Beschreibung des Messwiderstandes.

Der eigentliche Messwiderstand besteht aus einem zylindrischen Glasrohr, das mit einer von A. Gemant angegebenen Widerstandsflüssigkeit<sup>3)</sup> gefüllt ist. Der Temperaturkoeffizient der Widerstandsflüssigkeit ist in einem bestimmten Temperaturbereich (+ 10<sup>o</sup> bis + 45<sup>o</sup> C) durch Zusatz von bestimmten Chemikalien kompensiert. Eine Veränderung des Ohmwertes des Messwiderstandes mit der Zeit konnte bis heute nicht nachgewiesen werden. Induktions- und Kapazitätsfreiheit (abgesehen von

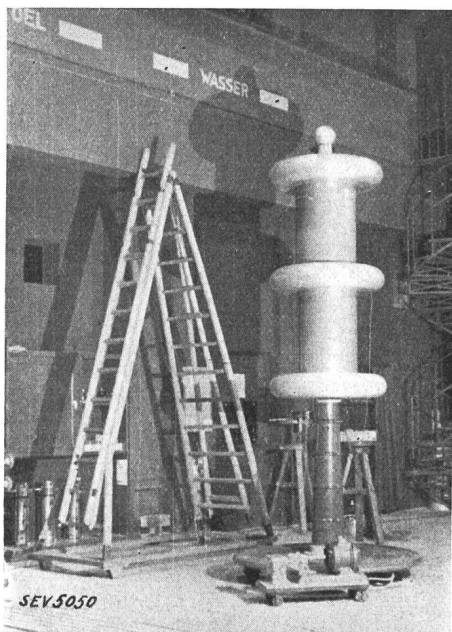


Fig. 1.  
Ansicht des Messwiderstandes.

Messung stellt, gewachsen sind. Es ist unschwer einzusehen, dass die Konstruktion eines Ohmschen

<sup>1)</sup> Der vorliegende Bericht bildet einen Auszug aus der demnächst erscheinenden Promotionsarbeit «Ein neuer Messwiderstand für Hochspannungsmessungen» von W. Mecklenburg.

<sup>2)</sup> Fischer F., Theor. Studien über hochohmige Widerstände zu Messzwecken in der Hochsp.-Technik. Diss. Zürich 1925.

<sup>3)</sup> Gemant A., Wissensch. Veröff. Siemens-Konzern Bd. 5 (1927), Heft 3, S. 86; Bd. 7 (1928), Heft 1, S. 134.

der Polarisationskapazität an den Elektroden des Flüssigkeitswiderstandes, die aber infolge ihrer beträchtlichen Grösse keine Rolle spielt) ist durch die Bauart des Messwiderstandes in weiten Grenzen gewährleistet.

Zur Abschirmung elektrischer Einflüsse von aussen wird das Widerstandsrohr in das Feld eines Plattenkondensators eingebaut. Von F. Fischer<sup>2)</sup> wurden in einer theoretischen Arbeit die Gesichtspunkte abgeleitet, die gestatten, durch einen geeigneten Einbau eines Messwiderstandes in das Feld eines Kondensators für den Messwiderstand selbst Winkelfehlerfreiheit und Unabhängigkeit des Ohmwertes von Spannung und Frequenz zu erzielen.

Fig. 2 zeigt die konstruktive Ausbildung des von uns entwickelten Messwiderstandes in seinen wichtigsten Einzelheiten. 1, 2 und 3 bilden die Belegungen zweier in Serie geschalteter Plattenkondensatoren. Die Distanzierung der Platten der Plattenkondensatoreinrichtung erfolgt durch zwei Bakelitzyylinder (4). Der eigentliche Messwiderstand ist

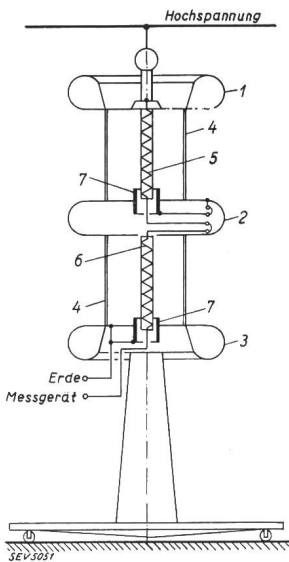


Fig. 2. Konstruktionsskizze.

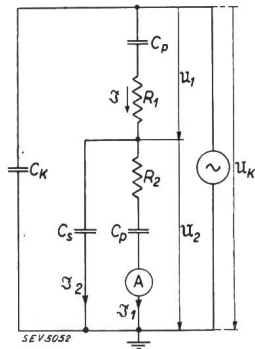


Fig. 3. Ersatzschema.

entsprechend der Zweiteilung des Schutzkondensatorfeldes in zwei in Reihe geschaltete Teilwiderstände aufgelöst (5 und 6). Das obere Ende des Teilwiderstandes (5) ist elektrisch fest mit der oberen Schutzkondensatorplatte (1) verbunden. Das untere Ende des Teilwiderstandes (6) liegt über ein Messinstrument A (Fig. 3) an Erde. Die untere Schutzkondensatorplatte (3) ist ebenfalls geerdet.

Setzt man die Messanordnung unter Spannung, so stellt sich auf der mittleren Schutzkondensatorplatte (2) und an der mittleren Klemme des Messwiderstandes ein bestimmtes Potential ein. Die Potentialdifferenz zwischen der mittleren Schutzkondensatorplatte und der mittleren Klemme des Messwiderstandes muss null werden, um zu verhindern, dass kapazitive Ströme und Ableitungsströme von der Schutzkondensatorplatte in die Messwiderstände

übertreten. Man erreicht dies durch eine geeignete Wahl der Spannungsteilungsverhältnisse, einerseits im Schutzkondensatorfeld, andererseits der Teilwiderstände (5 und 6).

Zum Einbau des Messwiderstandes in das Schutzkondensatorfeld muss man die Schutzkondensatorplatten durchbohren. Die Unregelmässigkeiten, die durch die Bohrlöcher im Feldverlauf des Schutzkondensatorfeldes auftreten, wirken sich in ungünstiger Weise auf den Fehlwinkel des Messwiderstandes aus. Um diese Einflüsse zu kompensieren, umhüllt man das untere Ende jedes Teilwiderstandes mit einem verschiebbaren Metallzylinder (7), der über eine besondere Klemme mit der Schutzkondensatorplatte verbunden wird. Der Metallzylinder wirkt wie eine zu einem Teil des Messwiderstandes parallel geschaltete Kapazität. Man kann somit aus dem Messwiderstand einen kapazitiven Strom abzapfen und damit den Fehlwinkel des Messwiderstandes für eine bestimmte Frequenz auf einen bestimmten Wert einstellen. Allerdings nimmt man damit eine Frequenzabhängigkeit, hauptsächlich in bezug auf den Phasenwinkel des Messwiderstandes, in Kauf.

**Das Vektordiagramm des Messwiderstandes.**

Um die elektrischen Verhältnisse des Messwiderstandes klar übersehen zu können, soll das Vektordiagramm kurz betrachtet werden.

Man stellt den Messwiderstand durch sein gleichwertiges Ersatzbild dar (Fig. 3).  $C_p$  sei die Polarisationskapazität an den Elektroden des Messwiderstandes. Der Ohmsche Wert sei  $R = R_1 + R_2$ . Die Kapazität des den Widerstand umhüllenden Metallzylinders ist mit  $C_s$  bezeichnet. Mit  $C_k$  ist die Kapa-

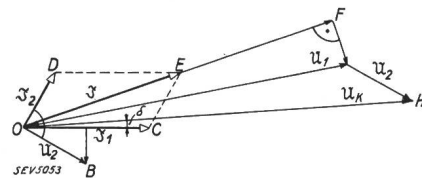


Fig. 4. Vektordiagramm.

zität des Schutzkondensatorfeldes angedeutet. Durch das Messinstrument A fliesst der Meßstrom  $I_1$ , der sich mit dem abgezapften Kapazitätsstrom  $I_2$  zum Gesamtstrom  $I$  zusammensetzt. Mit diesen wenigen Bemerkungen ist das Vektordiagramm (Fig. 4) ohne weiteres verständlich.

Der Fehlwinkel  $\delta$  des Messwiderstandes ist der Winkel zwischen der angelegten Spannung  $U_k$  und dem das Messinstrument durchfliessenden Strom  $I_1$ . Man erkennt leicht, dass  $\delta$  in starkem Masse von der Grösse des abgezapften Kapazitätsstromes abhängig ist.

**Die experimentelle Prüfung des Messwiderstandes.**

Die experimentelle Prüfung des Messwiderstandes erstreckte sich auf die Aufnahme der Strom-Span-

nungs-Charakteristik und der Bestimmung des Fehlwinkels in Funktion der Frequenz.

Die Strom-Spannungs-Charakteristik ist völlig linear. Der Widerstandswert des Messwiderstandes ist somit von der angelegten Spannung unabhängig. In Tabelle I sind die gemessenen Werte zusammengestellt und in Fig. 5 graphisch wiedergegeben.

Tabelle I.

Messspannung $U_k$ kV	Messstrom $I_1$ Mikroampère ( $\mu A$ )	Widerstandswert Megohm ( $M\Omega$ )
50,2	54,4	923
69,3	75,3	920
80,5	87,3	923
102,6	111	921
149,6	162	923
200,3	217	923
230,5	250	922
260,7	283	923
291,6	316	922
		Mittlerer Wert: 922 Megohm

Aus dem in Fig. 3 dargestellten Ersatzbild des Messwiderstandes lässt sich der Verlauf des Fehlwinkels  $\delta$  in Funktion der Frequenz berechnen; man erhält die sehr einfache Beziehung:

$$\text{tg } \delta = \frac{A}{C} \cdot \omega - \frac{B}{C} \cdot \frac{1}{\omega} \quad (1)$$

in der  $A, B$  und  $C$  Konstanten sind, die sich in einfacher Weise aus Kombinationen der Kapazitäten mit den Teilwiderständen zusammensetzen.

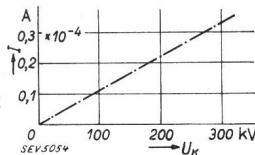


Fig. 5.  
Strom-Spannungs-Charakteristik.

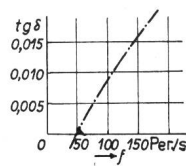


Fig. 6.  
Fehlwinkel als Funktion der Frequenz.

Die experimentelle Prüfung des Messwiderstandes auf dessen Fehlwinkel bei verschiedenen Frequenzen bestätigt den Charakter der abgeleiteten Formel (1). In Tabelle II sind die gemessenen Werte für den bei 50 Per./s auf den Fehlwinkel null eingestellten Messwiderstand zusammengestellt und in Fig. 6 graphisch dargestellt.

Tabelle II.

Frequenz $f$ Per./s	$\text{tg } \delta$ bezogen auf die Skalenteilung der jeweiligen Harmonischen
50	0,000
100	0,009
150	0,016

Aus der Grösse des Fehlwinkels und dem Widerstandswert des Messwiderstandes lässt sich die Grösse der Zeitkonstanten berechnen. Die Zeitkonstante liegt in der Grössenordnung von  $10^{-5}$  Sekunden.

Die zusätzlichen Messfehler, die durch die Verwendung des Messwiderstandes in die Messung eingehen, lassen sich ebenfalls leicht berechnen. Die Durchführung der Rechnung zeigt, dass nur in den seltensten Fällen und nur bei Kurvenformen mit stark ausgebildeten Oberschwingungen die zusätzlichen Fehler die Grenze von 1 % des wirklich vor-

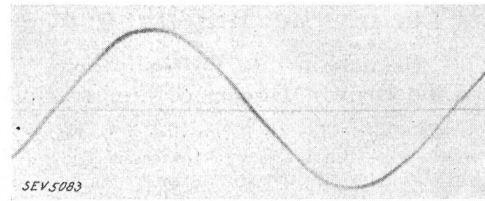


Fig. 7.

Spannungskurve eines 500-kV-Transformators, aufgenommen auf der Oberspannungsseite bei 300 kV und 50 Per./s.

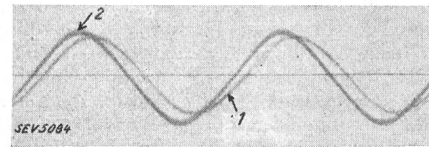


Fig. 8.

Primär- (1) und Sekundär- (2) Spannung des Transformators Fig. 7, aufgenommen bei 380 kV primär und 185 V sekundär, 100 Per./s.

handenen Wertes überschreiten. Die in der Starkstromtechnik verbreiteten Kurvenformen zeigen jedoch selten so stark ausgebildete Oberschwingungen, welche der Berechnung der Messfehler zugrunde gelegt wurden. Dementsprechend wird in den mei-

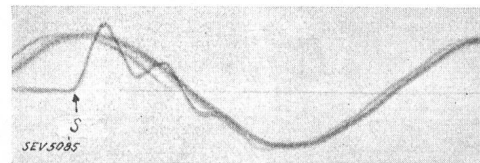


Fig. 9.

Einschaltvorgang, aufgenommen auf der Hochspannungsseite des Transformators Fig. 7, bei 300 kV und 50 Per./s. S Schaltmoment.

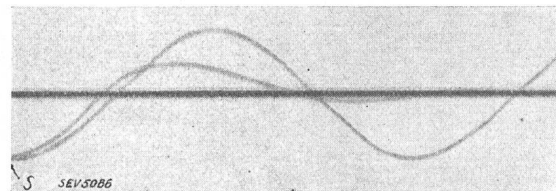


Fig. 10.

Ausschaltvorgang bei gleichen Bedingungen wie Fig. 9. S Schaltmoment.

sten Fällen der zusätzliche Messfehler vernachlässigbar klein.

Bei geeigneter Anwendung des Messwiderstandes können heute Messungen bei Hochspannung genau so gefahrlos und exakt wie bei Niederspannung durchgeführt werden. Die genaue Messung der Grösse der Hochspannung, die Bestimmung der Kur-

venform, die Messung der Leistung und aller interessierenden Eigenschaften der Hochspannung lassen sich ohne Schwierigkeiten sehr genau durchführen.

Die Fig. 7 bis 10 zeigen an Oszillogrammen, die mit diesem Widerstand auf der Hochspannungsseite aufgenommen wurden, einige Anwendungs-

beispiele, die keiner weiteren Erläuterung bedürfen.

Dem Messwiderstand steht somit ein weites Anwendungsbereich offen, ja er kann sogar unsere Kenntnisse von den elektrischen Vorgängen bei Hochspannung bedeutend erweitern helfen.

## Technische Mitteilungen. — Communications de nature technique.

### Besuch in den Werkstätten der A.-G. Brown, Boveri & Cie. in Baden.

Auf den 20. November d. J. lud die A.-G. Brown, Boveri & Cie. einen grösseren Kreis von Interessenten zum Besuch ihrer Etablissements ein, der um so interessanter war, als er gestattete, die Fortschritte und Weiterentwicklungen an Hand der früheren Besuche (siehe Bull. SEV 1933, Nr. 13, S. 294) besonders augenfällig darzutun. Im praktisch und schön ausgerüsteten Vortragssaal der Lehrlingswerkstätte begrüßte vorerst der Delegierte des Verwaltungsrates, Herr Dr. Leo Bodmer, die Gäste, die in der grossen Zahl von über hundert der Einladung der Firma gefolgt waren, wobei die Vertreter der Elektrizitätswerke das Hauptkontingent stellten. Hierauf bereitete Herr Direktor Schiesser in einem fast zweistündigen, äusserst interessanten Vortrag die Teilnehmer auf die Besichtigung vor, indem er ihnen an Hand von Lichtbildern einen Querschnitt durch die Neuerungen auf den verschiedenen Fabrikationsgebieten gab. Dabei gelang es ihm, in sympathischer und humorvoller Form den Zuhörern die eigentlich doch recht ernste Tatsache vor Augen zu führen, dass die Weiterentwicklung der Technik, ja sogar nur die Arbeit, um sie bei uns in der Schweiz auf ihrer anerkannten

lich nur Luftschalter bekannt waren und dass erst in diesem Jahre bei Brown, Boveri durch unseren allverehrten Herrn Dr. Sulzberger sel. und Herrn Aichele eigentlich der Oelschalter erfunden und in die Praxis eingeführt wurde. Er erinnerte ferner an die grundlegenden Arbeiten von Prof. Dr. Bauer und unseres Altmeisters Prof. Dr. Wyssling über den Lichtbogen im Oelschalter. Es scheint, dass der Oelschalter seine Rolle heute fast ausgespielt hat, «qu'on revient à ses premiers amours», und dass der Luftschalter in nächster Zeit das Feld beherrscht. Weiter streifte er die Wichtigkeit der Entwicklung der Relais und die ganze damit zusammenhängende Frage des Netzschutzes und des stabilen Betriebes der Netze, kam dann auf die Ueberspannungsfrage und die Ueberspannungsableiter zu sprechen, um endlich vom neuesten und aussichtsreichsten Gebiet, den Mutatoren, wo ja Brown, Boveri für die ganze Welt bahnbrechend gewirkt hat, zu sprechen. Auch die Frage der Hochspannungs-Gleichstrom-Uebertragung fand die gebührende Erwähnung, wiederum mit einem kurzen historischen Rückblick auf die früheren Lösungen, das System Thury usw. Besonders interessant war die Erwähnung der Netzkopplung durch Mutatoren, eine Aufgabe, die man noch vor relativ wenigen Jahren nur durch gewaltige, rotierende Maschinen glaubte lösen zu können.

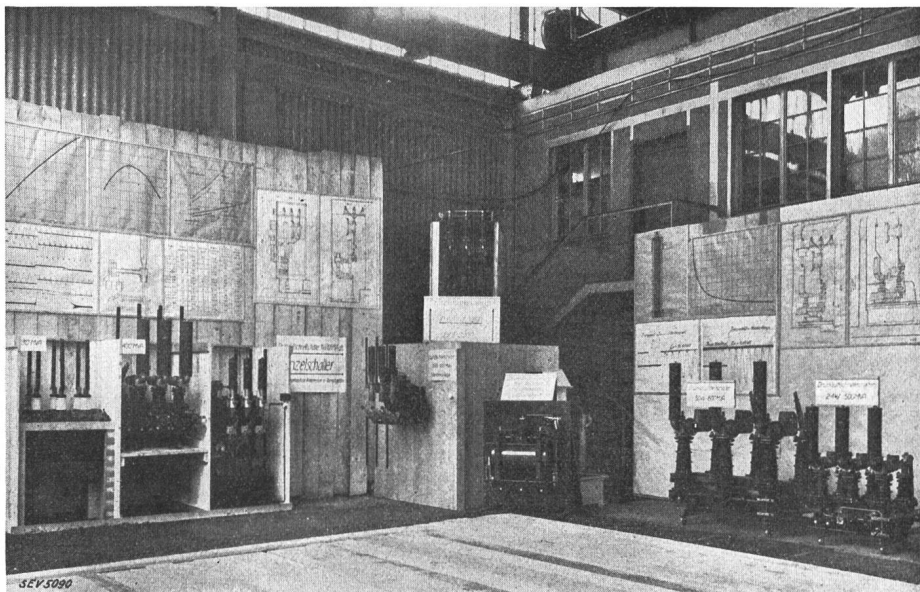


Fig. 1.  
Ausstellung von Druckluftschaltern.

Höhe zu halten, sehr viel Mühe, Arbeit und Geld erfordert und dass diese Bemühungen nicht nur materielle, sondern auch gar viele persönliche Opfer fordern und die dabei beteiligten wertvollen Menschen früher verbrauchen als in andern Betrieben, wo der Kampf mit den «Tücken des Objekts» und den tausend Widerständen, die die Natur selbst den kühnen Erfindereien entgegensezt, nicht so scharf zum Ausdruck kommt wie gerade hier, wo häufig erst die minuziöse Kleinarbeit Resultate bringen kann. Herr Schiesser streifte bei der Aufzählung der alten und neuen Fabrikationsgebiete auch beim wichtigen Gebiet der Leistungsschalter die historische Entwicklung, wobei er erwähnte, dass bis 1897 eigent-

Nachdem man durch diesen Vortrag einen Ueberblick über den theoretischen Teil der Aufgabe einer Maschinenfabrik erhalten hatte, ging man zum zweiten Teil, den Demonstrationen, über. In der gedeckten Vorhalle des Kurzschlusshauses orientierte Herr Ing. Thommen eingehend über die Entwicklung der Leistungsschalter, wobei der Lautsprecher dafür sorgte, dass seine Ausführungen durch vorwitzige Zwischenbemerkungen der Zuhörer nicht gestört wurden. Man sah hier eine ganze Kollektion der verschiedenen Schalter. Eine Serie Oelschalter beweist, dass diese Apparate ihre Rolle doch noch nicht ausgespielt haben und noch für recht viele Anwendungen gebraucht werden können. Dagegen schien