

H1 Geschichte des Stromwandlers, Teil 1

Einleitung

Um die Wende des 19. Jahrhunderts sind schon Messwandler bekannt. Um mit empfindlichen Messgeräten größere Spannungen oder Ströme zu messen, benutzte man davor Shunts in Form ohmscher Widerstände.

In den Jahren 1887 bis 1899 fertigte S&H sogenannte Stromzeiger (*Bild 1*). Das Instrument besteht im Wesentlichen aus einer Spule, in die zwei weiche Eisenstäbchen hineinragen und je nach Größe des Stromes mehr oder weniger hineingezogen werden. Diese Bewegung wird mittels Hebel auf einen Zeiger übertragen, der auf einer Skala den Strom direkt in Ampere anzeigt [1]. Mit diesem direkt messenden Ampereparameter können Wechsel- und Gleichströme bis 1.800 A gemessen werden. Die Skalengröße von einem Durchmesser von 28 cm ermöglichte auch eine Ablesung bei einer Installation auf Potential.

Die ersten Messwandler, auch Messtransformatoren genannt, entstanden in Deutschland um die Wende des 19. Jahrhundert. Die hauptsächlichen Gründe für die Verwendung von Wandlern in Schaltanlagen waren:

- Fernhaltung der Hochspannung von der der Berührung zugänglichen Messgeräten, Zählern und Relais,
- Wandeln von Strömen beliebiger Stärke in eine für die Messung geeignete Größe gleicher Phasenlage und Frequenz,
- Trennung von Warte und Schaltheis bzw. Freiluftanlage.

Erste Stromwandler

Das erste Stromwandlerpatent stammt aus dem Jahre 1882 [2] und 1898 erfindet *Gustav Benischke*, AEG, den Stromwandler (*Bild 2*) [3][4][6]. In seinem Standardwerk „Die wissenschaftlichen Grundlagen der Elektrotechnik“ schreibt er: „Die jüngeren Elektrotechniker lernen die Schwierigkeiten, die früher bestanden, und die man durch Meßinstrumenten-



Bild 1: Strommesser auf Potenzial, S&H, um 1890

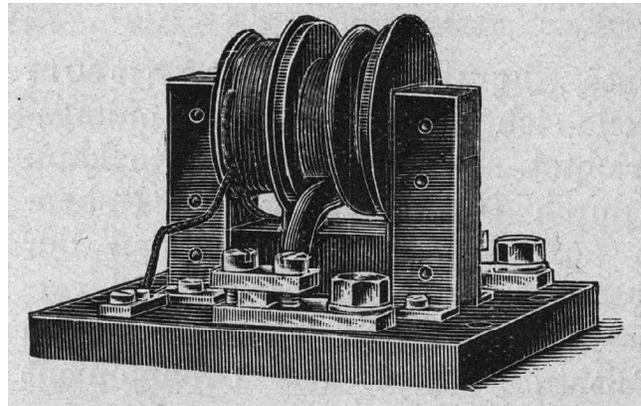


Bild 2: Stromwandler, AEG, 1898

Gehäuse aus Isolierstoff nebst isolierender Befestigung derselben, durch isolierte Aufstellung der ganzen Schalttafel samt Bedienungsgang, durch Schutzfenster usw. zu überwinden suchte, gar nicht mehr kennen. Die Schwierigkeiten waren so groß, daß eine Anwendung von mehr als 10.000 V. im praktischen Betriebe unmöglich war. Das wurde erst anders durch die Erfindung der Stromwandler vom Verfasser im Jahre 1898 (ETZ, 1899, S. 86).“

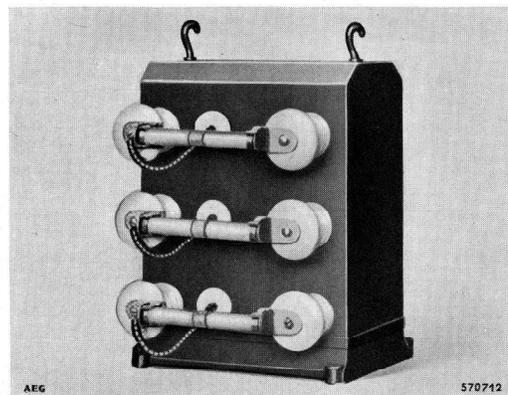
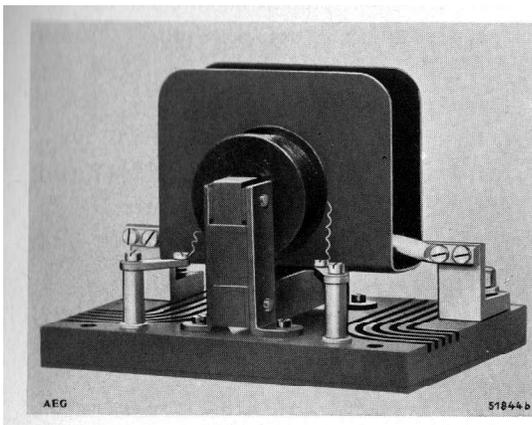


Bild 3: Stromwandler Typ A (links) und Spannungswandler, AEG (rechts), 1899

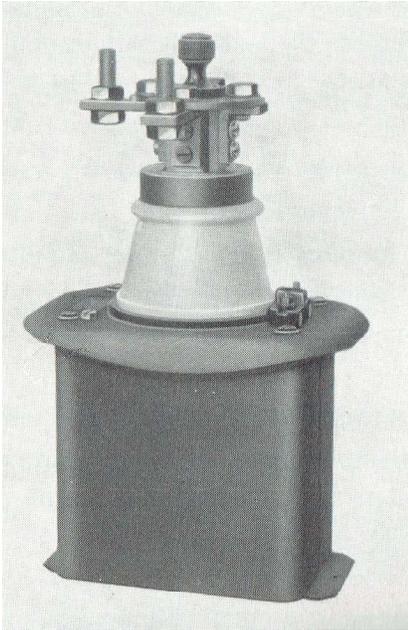


Bild 4: Masseisolierter umschaltbarer Stromwandler, 1908

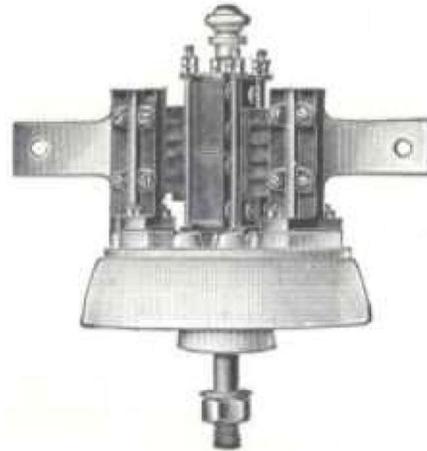


Bild 5: Stromtransformator N51, S&H, 1900

Bild 3 zeigt links einen der ersten Wandler, der für Betriebsspannungen bis 7.500 V bestimmt war. Das Stromwandler-Sekundärwicklungen stets geschlossen sein müssen, war damals noch nicht erkannt. Es wurde erwähnt, dass mit einem Messgerät in mehreren Leitungen ohne hochspannungsseitige Umschaltungen gemessen werden kann, wenn nur jeder dieser Leitungen die Primärwicklung eines Stromwandlers eingeschaltet wird, an deren Sekundärwicklungen das Messgerät mit einem einfachen Umschalter angeschlossen werden kann. Rechts ist ein dreiphasiger Spannungswandler abgebildet. Die drei Hochspannungswicklungen bestehen aus mehreren nebeneinander angeordneten scheibenförmigen Teilsulen. Die Spannungswandler werden so bewickelt, dass die Sekundärspannung immer rund 125 V beträgt. [5]

Zur Isolierung wurde Luft sowie Stabilität und Kunstglimmer benutzt. Etwa 1906 baute man die Stromwandler schon als Topfwandler mit Öl- oder Massefüllung. (Bild 4)

Franz Schrottke, S & H, konstruierte 1900 den Stromtransformator Modell N51 (Bild 5). Der aus Blechen zusammengesetzte Eisenkern hat die Form eines Rechteckes und trägt auf seinen Schenkeln die aus vielen Windungen bestehende Sekundärspule, darüber die wenigen Windungen der Primärseite. Er wurde für Primärströme bis 1.000 A und Spannung bis 3.000 V gebaut.

1900 erhält G. Dietze in Meran, Südtirol, sein Patent „Gerät zum Anzeigen und Messen pulsierender oder wechselnder magnetischer Felder“, DRP 117605, und entwickelt 1902 den tragbaren Einleiterstromwandler in Zangenform, den Dietze-Anleger [15] (Bild 6).

Wandler für Hochspannungsanlagen wurden - wie bei Leistungstransformatoren schon üblich - mit Ölisolation versehen. Bild 7 zeigt, dass die beiden Anschlüsse der drei Primärwicklungen zunächst mit getrennten Isolatoren durch den Ölkessel geführt wurden.

Solche Wandler hielten bereits Spannungen bis 30 kV aus. Recht bald wurde die Bedeutung der Hochspannungsmesswandler erkannt, und die Anforderungen an Genauigkeit, Prüf-



Bild 6: Strommessung mit Dietze-Anleger

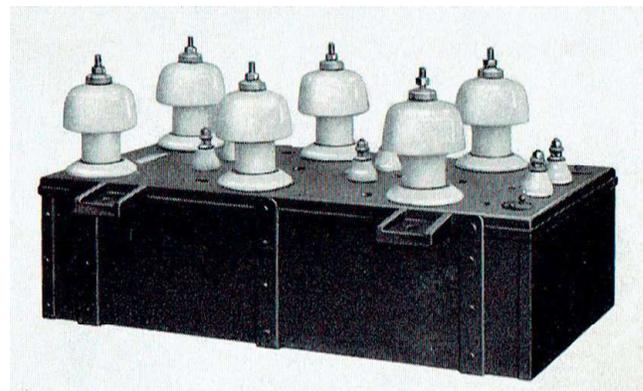


Bild 7: Ölisolierter Stromwandler, AEG, 1906

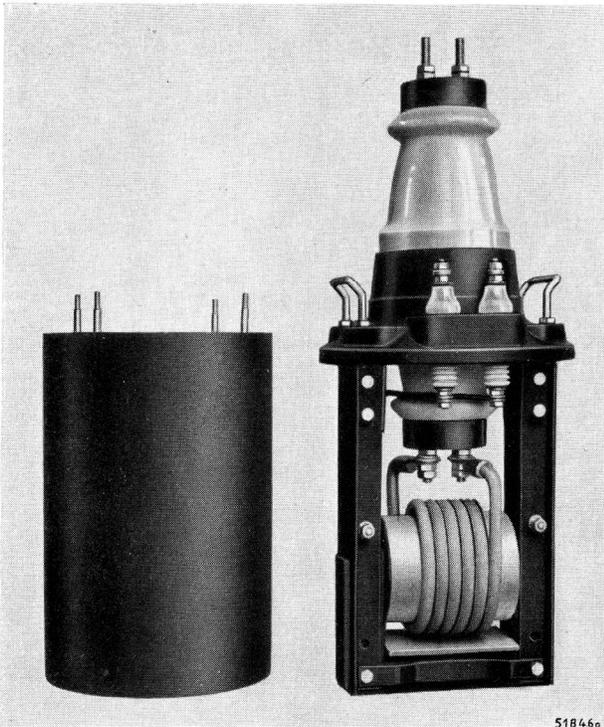


Bild 8: Universalwandler, AEG, 1907

spannung und Leistung führten bereits 1907 bei AEG zu einer Stromwandlerbauform, dem sogenannten Universalwandler (Bild 8), mit einem Stromfehler von nur noch 1 % bei einer Leistung von 45 VA. Als Isolation diente Transformatoröl. Die ursprüngliche Betriebsspannung 33 kV wurde bald durch Vergrößerung der Abmessungen auf 44 und 77 kV gebracht.

Für Spannungen bis 10 kV wurde die Ölfüllung 1908 durch eine Vergussmasse ersetzt, die im geschmolzenen Zustand unter Vakuum eingefüllt wurde. Sie hatte den Vorteil, dass die Wicklungen ohne besondere Maßnahmen gut gegen Verschiebung durch die dynamischen Wirkungen von Kurzschlussströmen gesichert waren (Bild 9).

Die Isoliermasse wurde später mit Quarzsand versetzt, um ihre Wärmeleitfähigkeit zu vergrößern. Für Einleiter-Durchführungsstromwandler wurde Hartpapierisolation unmittelbar auf den Kupferbolzen gewickelt (Bild 10), später wurde bei Stromstärken über 500 A Porzellanisolation verwendet.

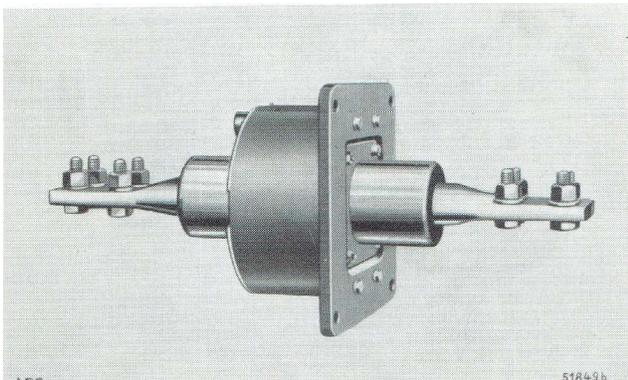


Bild 10: 10-kV-Stabstromwandler mit Hartpapierisolation, AEG

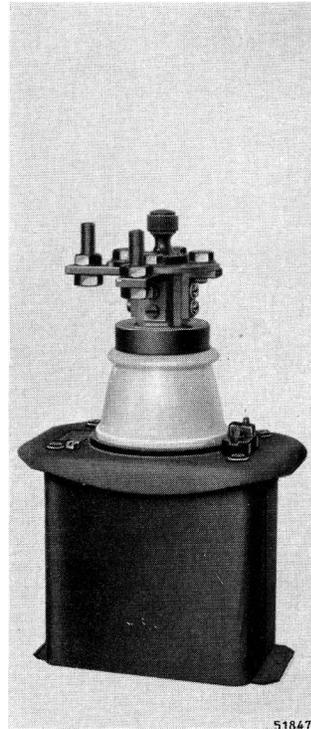


Bild 9: Umschaltbarer Stromwandler Form PF, AEG

Eine wesentliche Verbesserung der Leistung und der Kurzschlussfestigkeit brachte die Gegenmagnetisierung für den Stromwandlerbau der AEG (Vahl, DRP 528349 von 1925). Die Kernleistung stieg durch diese Kunstschtaltung auf etwa das Zwei- bis Dreifache und es gelang, die hinsichtlich ihrer Kurzschlussfestigkeit unübertrefflichen Einleiterwandler für kleine Nennströme, als dies vorher möglich war, brauchbar zu machen. Durch Anwendung des gleichen Prinzips bei den Doppeldurchführungswandlern (Schleifenstromwandlern) (Bild 11) gelang es, auch für noch kleinere Primärströme Wandler sehr hoher Kurzschlussfestigkeit zu schaffen.

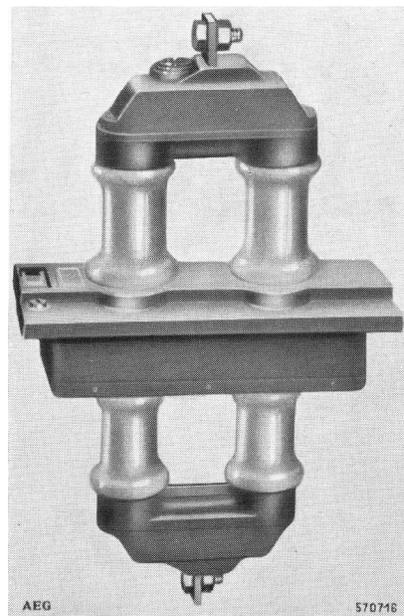


Bild 11: Schleifenstromwandler DS, AEG

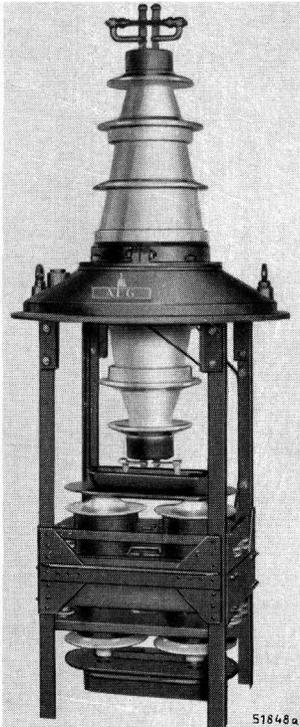


Bild 12: 110-kV-Topfstromwandler, AEG, 1911

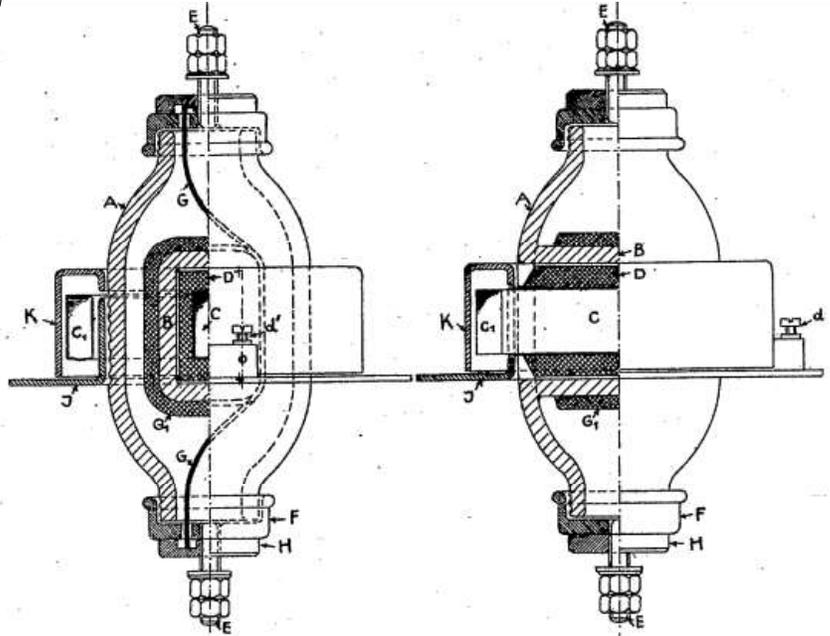


Bild 13: Querloch-Durchführungswandler, Koch & Sterzel, 1919

Im Jahre 1911 entstand bei der AEG der erste 110-kV-Stromwandler als Topfwan- dler (Bild 12), allerdings wieder mit Öl ge- füllt.

Um einen wirksamen Schutz gegen Wanderwelle zu er- reichen beginnt 1916 eine Diskussion über den Einsatz von ohmschen Parallelwiderständen an den Primäranschlüssen von Stromwandlern als Überspannungsschutz [10] und um 1925 wird dies fast immer realisiert.

1919 entwickelt Franz Joseph Fischer, Koch & Sterzel, Pat.- Nr. 325 495 (Bild 13), das Funktionsprinzip „Querloch“. Die mit reiner Porzellanisolierung versehenen Querlochwandler wur-

den für Nennströme von 5 bis 800 A und für Spannungen bis etwa 30 kV sowohl als Stützerstromwandler (Bild 14) als auch Durchführungstromwandler (Bild 15) gebaut. [9] [11]

Bei Durchführungs- und Querlochwan- dler benutzte man mehrere Kerne mit Sekundärwicklungen zusammen mit einer gemeinsamen Primärwicklung und trennte Mess- und Relais- stromkreise, die ja ganz verschiedenen Bedingungen genü- gen müssen.



Bild 14: Querloch- Stützerstromwandler, Koch & Sterzel, 1919

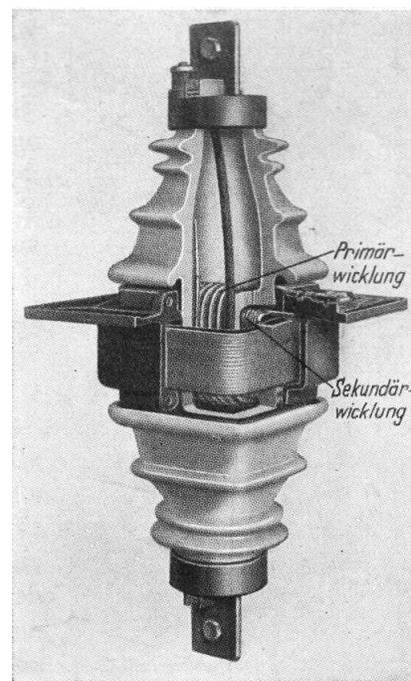


Bild 15: Querloch- Durchführung- stromwandler, Koch & Sterzel

Das Sortiment Strom- und Spannungswandler von H&B aus dem Jahre 1921 zeigt *Bild 16*. [12]

Einen Stromwandler der Siemens Schuckert Werke aus dem Jahre 1925 zeigt *Bild 17*. Die technischen Daten lauten: 20/64 kV, 50 Hz, 20/5 A, 0,6 Ω , $n < 10$, Kl. 0,5

1929 entwickelt *Ferranti* zur Erfassung des Erdschlussstromes den nach ihm benannten Ferranti-Wandler (*Bild 18*), auch Ersatzstromwandler oder heute Kabelumbauwandler genannt. [15].

Die Isolation der Hochspannungswicklung der Mittelspannungswandler 6 bis 30 kV aus Öl bzw. Compoundmasse in Verbindung mit Papier führte bei den wachsenden Kurzschlussleistungen der Anlagen und den dadurch hervorgerufenen Zerstörungen solcher Stromwandler, die für die großen Kurzschlussströme nicht ausgelegt waren, zu unangenehmen

Begleiterscheinungen in Form von Brand und Verrußen. Daraus ergab sich die Notwendigkeit, trockenisolierte Wandler zu schaffen. Als idealer Isolierstoff für Trockenstromwandler wurde das Porzellan erkannt, das nur den einen Nachteil hat, dass zur Herstellung sehr hohe Temperaturen erforderlich sind. Der gesamte Isolierkörper muss also vor dem Aufbringen der Wicklungen usw. vollkommen fertiggestellt werden. Die Entwicklung führt bei der AEG dazu, dass ein U-förmiges Porzellanrohr (*Bild 19*) als Isolator für die Primärwicklung verwendet wird.

Die nachträgliche Einbringung der Wicklung in einen fertigen Isolierkörper ist aber immer mit gewissen Schwierigkeiten verbunden. Es wurden daher nach Konstruktionen nach mehrteiligen Porzellankörpern gesucht. Mit dem zweiteiligen Porzellankörper wurde von der AEG 1937 mit dem AL 10 eine brauchbare Verbindungsart ohne zusätzlichen Raumbedarf und ohne Vergussmassen angewandt (*Bild 20*) gefunden.

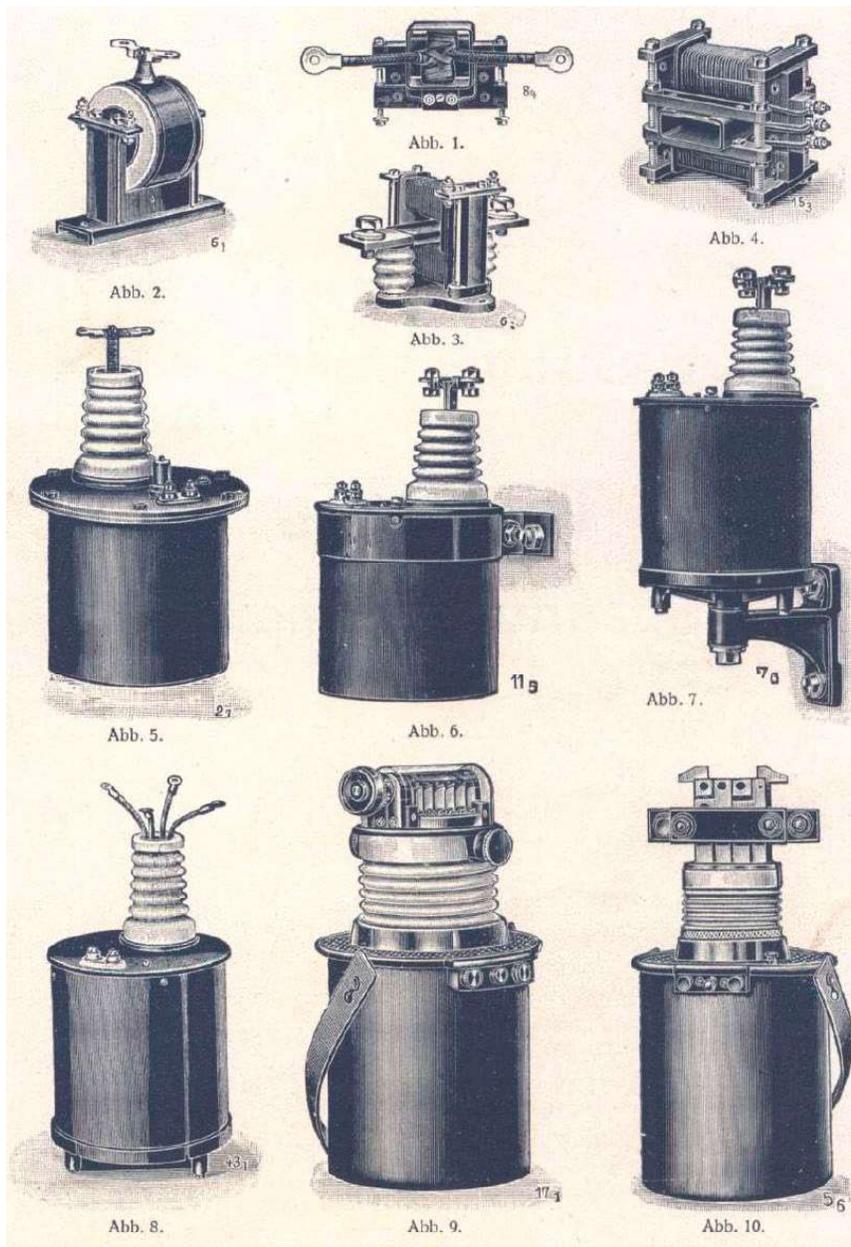


Bild 16: Sortiment Stromwandler, H&B, 1921



Bild 17: Stromwandler A20P1, SSW, 1925

Quellen

- [1] Katalog der Erzeugnisse der Firmen Siemens & Halske und Siemens-Schuckertwerke im Deutschen Museum zu München. Berlin 1906
- [2] Hermstein, W.: Entwicklungstendenzen im Wandlerbau. Elektrizitätswirtschaft 68(1969)8, 246–257
- [3] Imhof, A.: 100 Jahre Messwandler. Bull. ASE/UCS 70(1979)5, 228–236
- [4] Benischke, G.: Die wissenschaftlichen Grundlagen der Elektrotechnik. Verlag von Julius von Springer, Berlin 1918
- [5] Schweder, B.: Forschen und Schaffen. Beiträge der AEG zur Entwicklung der Elektrotechnik bis zum Wiederaufbau nach dem zweiten Weltkrieg. Band 1, 472 S.; Band 2, 472 S. u. Band 3, 520 S., Hrsg. AEG, Berlin 1965
- [6] Benischke, G.: Die wissenschaftlichen Grundlagen der Elektrotechnik. Verlag von Julius von Springer, Berlin 1918, 5. Aufl. 1920
- [7] Vorschriftenbuch des Verbandes Deutscher Elektrotechniker. Hrsg. Generalsekretariat des VDE, Dreizehnte Auflage, Stand: 31. Dezember 1925, Verlag von Julius Springer, Berlin: 1926
- [8] Rüdenberg, R.: Relais und Schutzschaltungen in elektrischen Kraftwerken und Netzen. Verlag von Julius Springer, Berlin 1929
- [9] Buchhold/Happoldt: Elektrische Kraftwerke und Netze. 3. Auflage 1956, Springer-Verlag
- [10] Wirtz, E.: Überspannungsschutz bei Stromwandlern. ETZ 37(1916)5, 69–70
- [11] Herold, H.; Hütter, W.; Issel, G.: 1904 bis 2004: 100 Jahre Messwandler aus Dresden. Ritz Messwandler Dresden, August 2004
- [12] Preisliste über Schalttafel-Meßgeräte, 11. Teil, Ti. Stromwandler, Te, Td, Ts, Spannungswandler, Hartmann & Braun A.-O., Frankfurt am Main, 1921
- [13] Goldstein, I.: Die Meßwandler ihre Theorie und Praxis. Verlag von Julius Springer, Berlin 1928

- [14] Walter, M.: Die Entwicklung der Strom- und Spannungswandler (Messwandler). Elektrizitätswirtschaft 65(1966)23, 710–717
- [15] Walter, M.: Strom- und Spannungswandler. Verlag von R. Oldenburg, München und Berlin 1937



Dipl.-Ing. Walter Schossig
 VDE Thüringen
 VDE AK07 „Relais- und Schutztechnik“ und
 Mitarbeit Ausschuss „Geschichte der
 Elektrotechnik“
info@walter-schossig.de
www.walter-schossig.de

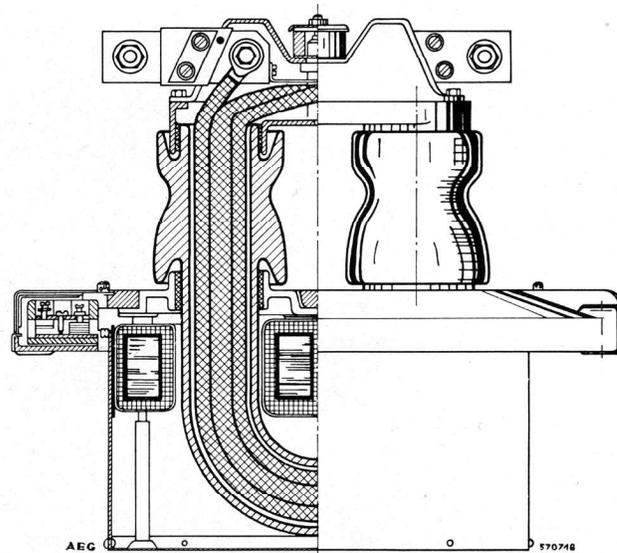


Bild 19: U-Rohr-Stromwandler, AEG, AP 10 und AP 20, 1937

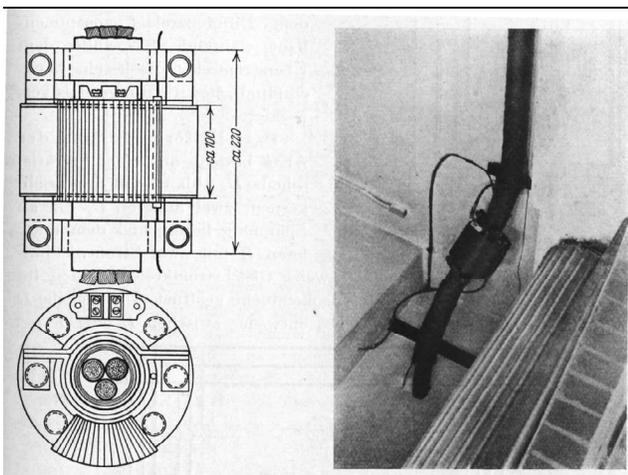


Bild 18: Ferranti-Wandler

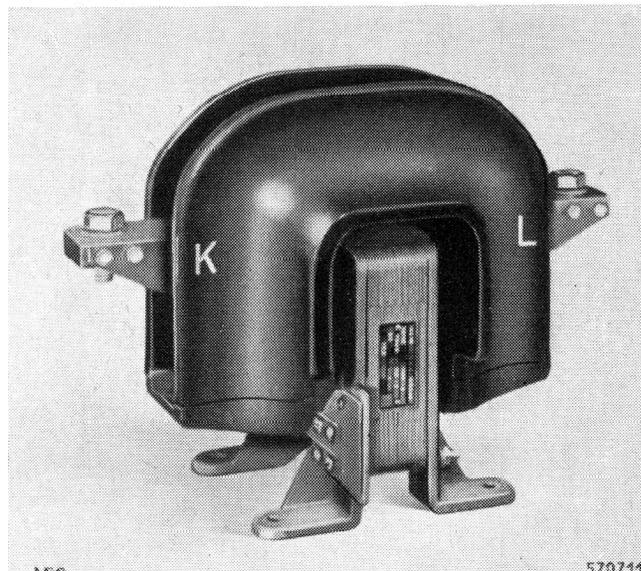


Bild 20: 10-kV-Stromwandler AL 10, AEG, 1937