

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 6 (1915)  
**Heft:** 9

**Artikel:** Die Bedeutung des Gesetzes vom magnetischen Kreis für den Elektro-Maschinenbau  
**Autor:** Kuhlmann, Karl  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1059628>

### **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:** 03.04.2025

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

Systemen möglich, insbesondere eignet sich hierzu die Umschaltuhr System Ghilmetti in Bern, welche ohne Aenderungen bis auf 10 Ampères bei 200 Volt belastet werden kann, also für eine Schaltleistung bis zu 2000 Watt verwendet werden darf.

Indem durch diese Schaltanordnung der bei zentralisierten Doppeltarifanlagen vorhandene Kontakt Draht zugleich als Sperrschaltleitung für die Wärmespeicher verwendet werden kann, wird auch eine erhebliche Ersparnis in den Installationsunkosten erzielt, wodurch die Einführung solcher Apparate wesentlich erleichtert werden dürfte.

Die Schaltung hat in der Stadt Zürich bereits seit längerer Zeit praktische Anwendung gefunden und hat sich bestens bewährt.

Es ist selbstverständlich, dass der Stromverbrauch der Wärmespeicher entweder mit Wattstunden oder Zeitzähler gemessen oder pauschal verrechnet werden kann. In obigem Schema ist ein Zeitzähler eingezeichnet. Grössere Apparate mit über 2000 Watt Stromaufnahme können auch durch diese Schaltanordnung indirekt mittelst elektromagnetischem Schalter automatisch gesperrt werden, sodass auch hierbei die Anschaffungs- und Unterhaltungskosten für eine separate Sperrschaltuhr wegfallen.

Selbstverständlich kann die Schaltung dieser Heisswasserspeicher in Verbindung mit elektrischen Kochherden so erweitert werden, dass in die gemeinsame Zuleitung ein einpoliger Umschalter eingebaut wird und zwar in der Weise, dass man beim Einschalten der Kochplatten den Heisswasserspeicher zugleich ausschaltet, wodurch ein weiterer Belastungsausgleich auch während des Tages erzielt wird. In diesem Falle muss selbstverständlich der Heizkörper des Heisswasserapparates etwas stärker gewählt werden, als sonst üblich.

Gelingt es dem elektrischen *Kochkisten-Herd* eine grössere Verbreitung zu sichern, dessen Vorteil nicht nur in der Verringerung des Anschlusswertes bei gleicher Kochleistung, sondern in der denkbar besten Wärmeausnützung während des Kochprozesses liegt, und welcher zugleich ein *vorzeitliches* Kochen einer grossen Zahl von Speisen ermöglicht, so dürften wir in der Lösung des Problems des Belastungsausgleichs unserer Werke durch Abgabe von Wärmestrom in den Haushaltungen in absehbarer Zeit ein gutes Stück vorwärts schreiten.

Zweileiter Anlage.

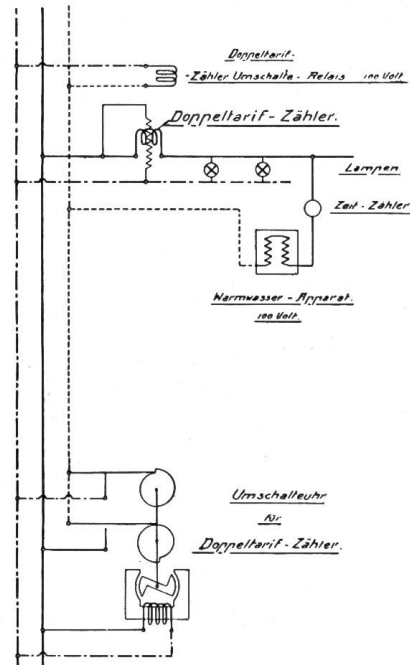


Fig. 2.

## Die Bedeutung des Gesetzes vom magnetischen Kreis für den Elektro-Maschinenbau.

Von Prof. Dr. Ing. Karl Kuhlmann, Zürich.

Das Gesetz vom magnetischen Kreis sagt aus, dass das Linienintegral der magnetischen Feldstärke  $H$  längs eines geschlossenen Weges  $S$  gleich dem  $\frac{4\pi}{10}$  fachen der von dem Wege  $S$  umschlossenen elektrischen Durchflutung in Ampère bzw. Ampèrewindungen ist.  $H$  ist hierbei in Gauss gemessen:

$$\oint H_s d\mathfrak{s} = \frac{4\pi}{10} i z \tag{1}$$

oder wenn die magnetische Feldstärke in Aw/cm gemessen wird, also H durch H' ersetzt wird, wo  $H' = \frac{H_{(\text{Gauss})}}{4\pi \cdot 10}$  ist, so folgt

$$\oint H_{\delta}' d\delta = iz. \quad (2)$$

Im folgenden soll nun an dem geschlitzten Ringe, als einem sehr drastischen Beispiel gezeigt werden, wie bei einem magnetischen Kreise die totalen Erregerampèrewindungen räumlich verteilt werden müssen, damit die magnetische Streuung gleich Null wird.

Wir behandeln zunächst den geschlitzten Eisenring und nehmen an, dass die Schlitzstrecke  $\delta$  relativ schmal ist und der Eisenring selbst gleichmässig mit Z Windungen bedeckt ist.

Sei  $l_f$  die mittlere Länge des Eisenringes, so ist  $\frac{Z}{l_f}$  die pro cm entfallende Windungszahl und  $\frac{iz}{l_f}$  die erregende Ampère-Windungszahl pro cm.

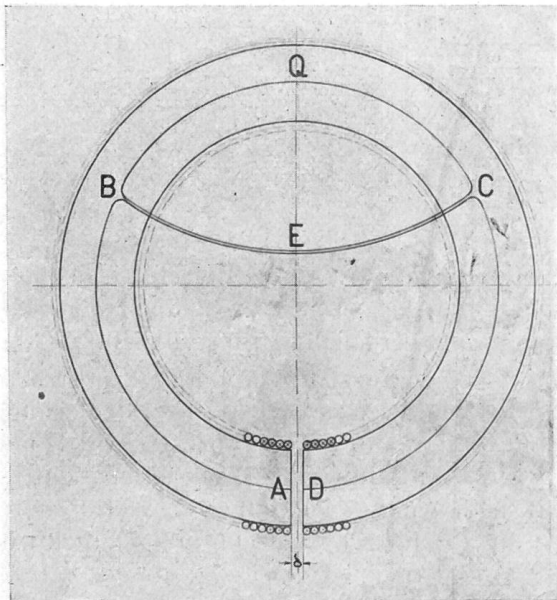


Abb. 1.

Wir bilden nun obiges Linien-Integral auf zwei verschiedenen geschlossenen Wegen. Zunächst auf dem Wege von bQceb. Wir setzen

$$\begin{aligned} bQ &= Qc = x \\ \frac{abQcd}{ceb} &= l_f \\ &= y \\ \frac{da}{da} &= \delta \end{aligned}$$

dann ist

$$\oint H_{\delta}' ds = \int_{b-Q-c} H_x' dx + \int_{c-e-b} H_y' dx = iz \frac{x}{l_f} \quad (3)$$

Wegen des relativ schmalen Schlitzes dürfen wir längs des Eisens mit einer mittleren Feldstärke  $H_{fx}'$  rechnen, ebenso mit einer mittleren Feldstärke  $H_{my}'$  längs des Weges y. Dann wird

$$H_{fx}' \cdot x + H_{my}' \cdot y = iz \left( \frac{2x}{l_f} \right) \quad (4)$$

Für einen zweiten Integrationsweg  $\overline{abQcda}$  ergibt sich, wenn  $H_{\delta}'$  die mittlere Feldstärke in dem Luftspalt ist,

$$H_{fx}' \cdot (2x) + H_{fx}' \cdot (l_f - 2x) + H_{\delta}' \cdot \delta = iz \quad (5)$$

Die mittlere Feldstärke  $H_{fx}'$  im Eisen ist darin

$$H_{fx}' = \frac{(iz - H_{\delta}' \delta)}{l_f} = \frac{AW_f}{l_f} \quad (6)$$

Damit folgt für die magnetische Spannung zwischen den Punkten b und c, also längs des Weges y:

$$\begin{aligned}
 H_{my}' \cdot y &= iz \cdot \frac{2x}{l_f} - [iz - H_{fx}' \cdot (l_f - 2x) - H_{\delta}' \cdot \delta] \\
 &= -iz \cdot \left( \frac{l_f - 2x}{l_f} \right) + \frac{iz - H_{\delta}' \cdot \delta}{l_f} (l_f - 2x) - H_{\delta}' \cdot \delta \\
 &= H_{\delta}' \cdot \delta \cdot \left( \frac{2x}{l_f} \right)
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

Also folgt 1), dass die magnetische Spannung zwischen den Punkten b und c wächst, je mehr wir uns vom Punkt P, welcher dem Schlitz genau gegenüber liegt, nach dem Luftspalte hin bewegen. Die magnetische Spannung nimmt linear mit x zu. Im abgewickelten Zustande des Ringes ergibt das folgende Bild (Abb. 2):

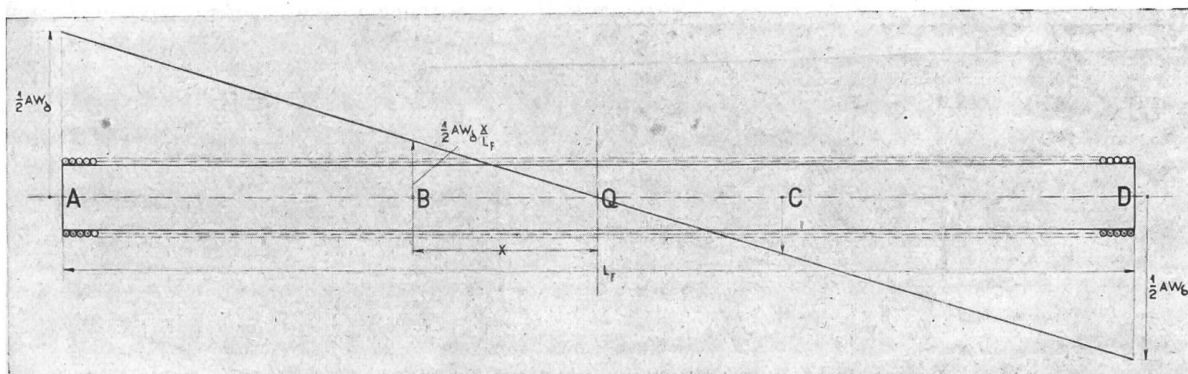


Abb. 2.

Fall b. Der Ring sei wiederum gleichmässig bewickelt mit  $z_f$ -Windungen und es soll ( $iz_f$ ) diejenige Ampèrewindungszahl sein, die für den Eisenweg  $l_f$  allein verbraucht wird, dann ist

$$\left. \begin{aligned}
 H_{fx}' \cdot l_f &= iz_f; & H_{fx}' &= \left( \frac{iz_f}{l_f} \right) \\
 H_{\delta}' \cdot \delta &= AW_{\delta} = i(z - z_f) = iz_{\delta}
 \end{aligned} \right\}
 \tag{8}$$

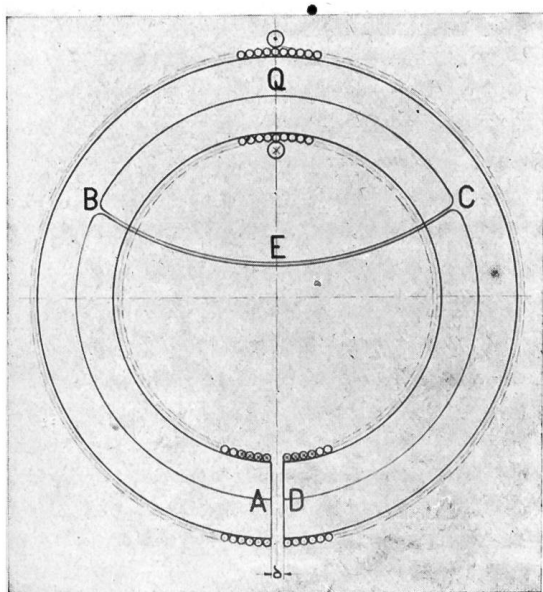


Abb. 3.

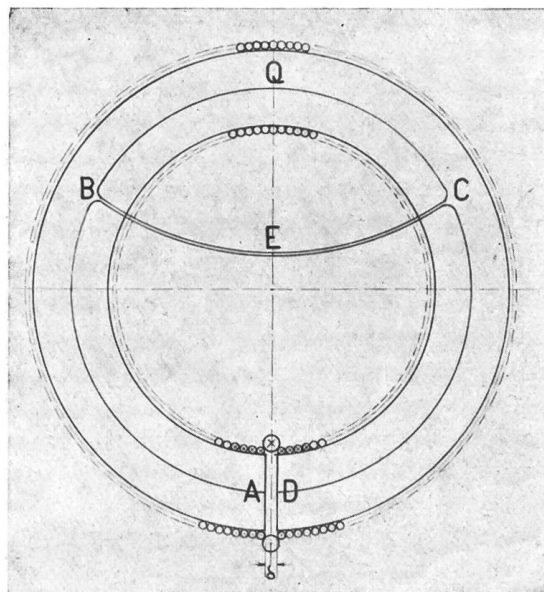


Abb. 4.

Diese Ampèrewindungen  $AW_\delta$  wollen wir nun genau dem Schlitz gegenüber und zwar derartig uns angebracht denken, dass sie nur aus einer einzigen Windung mit sehr hohem Strome bestehe (Abb. 3).

Wählt man die Integrationswege wie vorher, so ergibt sich jetzt auf dem ersten Integrationswege:

$$H_{ix}' \cdot 2x + H_{my}' \cdot y = iz_f \left( \frac{2x}{l_f} \right) + iz_\delta \quad (9)$$

Daraus mit Hilfe von 8)

$$H_{my}' \cdot y = iz_f \cdot \frac{2x}{l_f} - iz_f \frac{2x}{l_f} + iz_\delta \quad (10)$$

$$H_{my}' \cdot y = iz_\delta = \text{constant.} \quad (11)$$

Wir finden also, dass diese Anordnung noch ungünstiger ist wie die erste, denn die magnetische Spannung  $H_{my}' \cdot y$  ist konstant, also unabhängig von  $x$  und gleich der magnetischen Spannung am Luftspalt.

*Fall c.* Wir rechnen nun mit folgender Anordnung (Abb. 4), wobei wir die Aufteilung der Windungen  $z$  in  $z_f$  und  $z_\delta$  genau lassen wie früher, aber die Ampèrewindungen  $AW_\delta = iz_\delta$  unmittelbar über dem Luftspalt anbringen. Dann ist wie im Falle b

$$H_f' = \left( \frac{iz_f}{l_f} \right) \quad (12)$$

$$H_{ix}' \cdot 2x + H_{my}' \cdot y = iz_f \cdot \frac{2x}{l_f} \quad (13)$$

Hierin den Wert für  $H_f'$  aus 12) eingesetzt, ergibt

$$H_{my}' \cdot y = iz_f \frac{2x}{l_f} - \left( \frac{iz_f}{l_f} \right) \cdot 2x = 0 \quad (14)$$

Bringen wir also die  $AW_\delta$  unmittelbar da an, wo sie verbraucht werden, so tritt keine Streuung ein. Der Ring verhält sich wieder genau wie eine magnetische Flussröhre. Hieraus entspringt eine wichtige Lehre für den Elektromaschinenbau, die man kurz so ausdrücken kann.

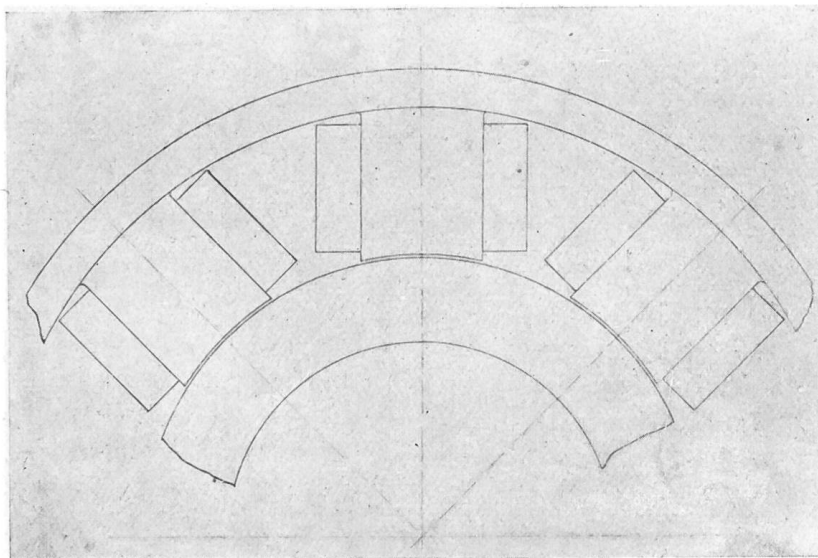


Abb. 5.

*Denkt man sich den zu magnetisierenden Weg durch eine Summe aneinander gelegter Zylinder entstanden, so soll jeder Zylinder gerade von soviel AW umflossen werden, wie zu seiner Magnetisierung verbraucht werden.*

Diesem Grundsatz ganz zu entsprechen ist natürlich nur selten möglich, insofern müssen wir uns mit einem gewissen Prozentsatz von Streuung zufrieden geben.

Das Ziel des rationellen Elektro-Maschinenbaues muss natürlich darin bestehen, immer mehr an aktivem Material zu sparen. Da aber mit zunehmender Sättigung die Streuung immer mehr wächst, so wird die gewöhnlich angewendete Verteilung der magnetisierenden Ampèrewindungen immer nachteiliger werden.

Immerhin gibt es viele Fälle, wo der Konstrukteur elektrischer Maschinen der obigen theoretischen Forderung in höherem Masse gerecht werden kann als es bisher geschieht. Z. B. ist es theoretisch nicht einwandfrei, die Kompoundwindungen von Gleichstrom-Ma-

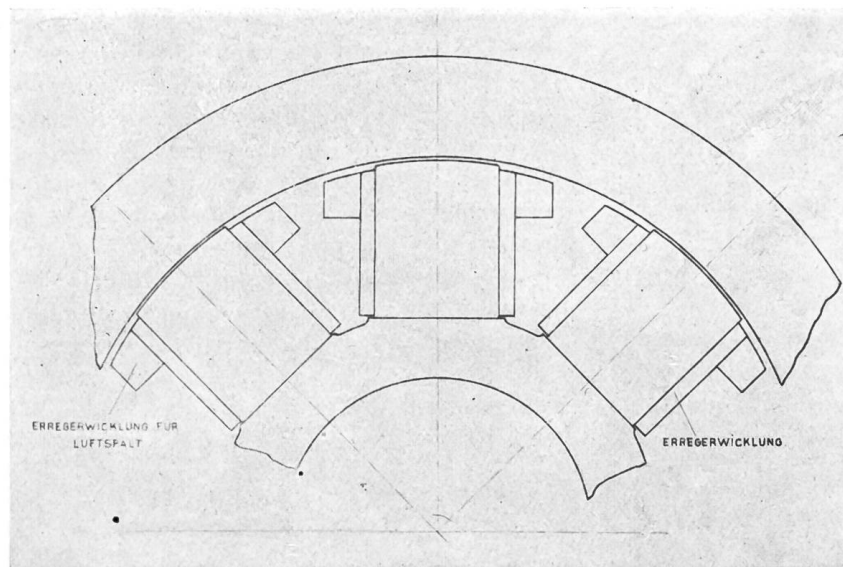


Abb. 6.

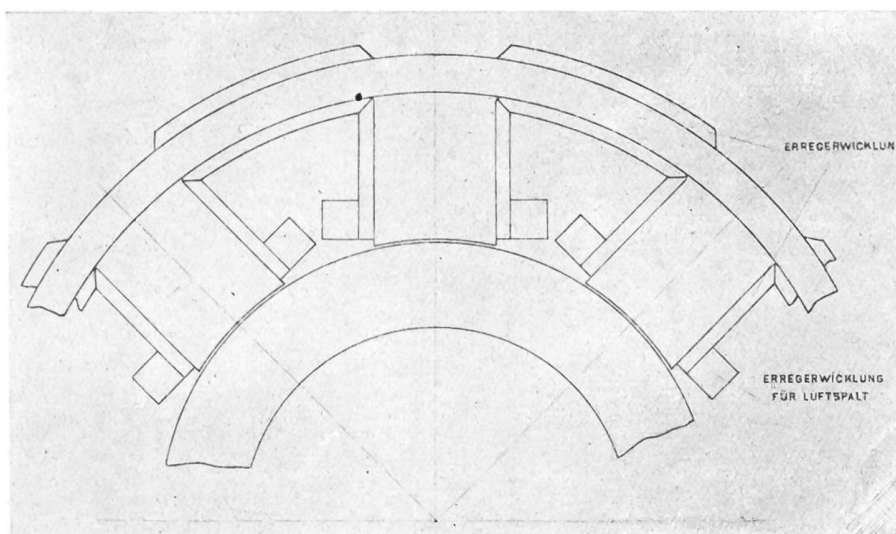


Abb. 7.

schinen über die ganze Schenkellänge anzuordnen. Vielmehr müssen sie so nahe wie möglich am Luftspalt angebracht werden.

Aus diesem Grunde lassen sich Innenpolmaschinen magnetisch günstiger in Bezug auf Streuung bauen wie Aussenpolmaschinen (Abb. 5 und 6).

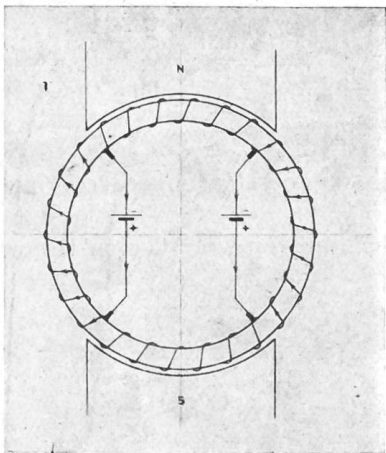


Abb. 8.

Der theoretischen Forderung über die Anordnung der Ampèrewindungen kommt man z. B. bei einer Gleichstrommaschine durch eine Anordnung, wie sie Abb. 8 darstellt, am nächsten. Der Anker hat vier Hilfsbürsten, die wie bei den Deri-Wechselstrommotoren gegeneinander verschoben werden können und so eingestellt werden, dass die im Anker über diese Hilfsbürsten zirkulierenden Ströme gerade soviel Ampèrewindungen erzeugen, wie der Wert des Linienintegrals der magnetischen Feldstärke im Ankereisen und dem halben Luftspalte erfordert. Der Rest der Ampèrewindungen für die übrige Hälfte des Luftspaltes wäre dann noch auf dem Magneten in unmittelbarer Nähe des Luftspaltes anzubringen. Man kann durch Verstellen der Bürsten dann auch noch die Feldverzerrung, die durch die Ankerrückwirkung eintritt, kompensieren. Eingehender soll diese Einrichtung hier nicht behandelt werden. Sie soll lediglich zeigen, wozu uns die strengere Beobachtung des Gesetzes vom magne-

tischen Kreis mit seiner Forderung für möglichste Streuungsfreiheit führt. Es ist z. B. ohne weiteres klar, dass die Ankerwicklung auch aus zwei von einander getrennten Wicklungen bestehen darf, wovon die eine als Magnetisierungswicklung von einer besonderen Stromquelle erregt werden kann.

Die Bestrebungen, möglichst streuungsfreie magnetischer Kreise in den elektrischen Maschinen zu erzeugen, sind schon sehr alt. So sei z. B. an die Eikemeyer-Maschine erinnert, worüber schon Kittler's Handbuch\*) berichtet.

\*) Kittler's Handbuch der Elektrotechnik. 1899, Seite 648, Abb. 469 und Seite 941, Abb. 626.

## Miscellanea.

**Inbetriebsetzung von schweizerischen Starkstromanlagen.** (Mitgeteilt vom Starkstrominspektorat des S. E. V.) In der Zeit vom 20. Juni bis 20. Juli 1915 sind dem Starkstrominspektorat folgende wichtigere Anlagen als betriebsbereit gemeldet worden:

### Motorenanlagen.

*Gesellschaft der L. von Roll'schen Eisenwerke, Gerlafingen.* Zwei Umformergruppen in der Giesserei in Bern. (I. Gruppe 300 kVA, II. Gruppe 53 kVA, Drehstrom, 3100/200 Volt, 50 Per.).

*Gesellschaft für chemische Industrie in Basel. Techn. Bureau, Werk Monthey.* Turbogeneratorengruppe. (2000 kW, Drehstrom, 5000/100 Volt, 50 Perioden).

*Aktiengesellschaft der Eisen- und Stahlwerke vorm. G. Fischer, Schaffhausen.* Versetzen von

zwei Drehstrom-Motoren à 110 PS, 2000 Volt im Schweisserei-Maschinenhaus Birch. Aufstellung eines vierten Hochspannungsmotors von 110 PS im Converter-Maschinenhaus Werk I. Aufstellung eines Hochspannungsmotors von 110 PS, 2000 Volt in der Zentrale und Verteilstation des Werkes I.

### Hochspannungsfreileitungen.

*Nordostschweizerische Kraftwerke A.-G., Baden.* Leitung nach Ueken (Bez. Laufenburg), Drehstrom, 8000 Volt, 50 Perioden.

*Favetto, Bosshard, Steiner & Cie., Unternehmung Brienserseebahn I. und II. Los, Brienz.* Leitung im Anschluss an die Leitung Meiringen-Interlaken in der sog. „Bolani“ (Gem. Oberried) für eine elektrische Aufzugsanlage, Drehstrom, 12000 Volt, 50 Perioden.