

**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens  
**Herausgeber:** Association suisse des électriciens  
**Band:** 13 (1922)  
**Heft:** 9

**Artikel:** Die Grenzwerte von Leistung und Drehzahl bei Gleichstrommaschinen ohne Wendepole  
**Autor:** Kummer, W.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1058310>

### **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:** 25.05.2025

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

phasen-Nutzbremmung) Gelegenheit bieten, das hier angedeutete Verfahren noch ausführlicher zu entwickeln. Zum Schlusse mag noch erwähnt werden, dass sich auch die Diagramme der Mehrphasen-Motoren auf dieser Basis entwickeln lassen, wenn man nur die Anzahl der Achsen und deren gegenseitige Winkel dem Mehrphasensysteme entsprechend wählt. (Fortsetzung folgt.)

## Die Grenzwerte von Leistung und Drehzahl bei Gleichstrommaschinen ohne Wendepole.

Von Prof. Dr. W. Kummer, Ingenieur, Zürich.

*Ausgehend von den Untersuchungen von Hobart und Esson entwickelt der Autor Beziehungen von die Grenzwerte von Leistung und Drehzahl sparsam dimensionierter Gleichstrommaschinen ohne Wendepole unter Voraussetzung möglichst günstiger Verhältnisse für Wärmeabfuhr und Kommutation. Diese Grenzwerte können nur bei Anwendung von Wendepolen oder Kompensationswicklungen überschritten werden.*

*L'auteur détermine, partant des études de Messieurs Hobart et Esson, les valeurs maximum obtenables quant à la puissance et le nombre de tours avec des machines à courant continu de dimensions réduites sans pôles auxiliaires. Ces valeurs limites, qui supposent du reste les meilleures conditions de refroidissement et de commutation, ne peuvent être dépassées qu'en ayant recours à des pôles de commutation ou à des enroulements de compensation.*

Im Dezember 1910 legten wir im „Bulletin“<sup>2)</sup> dar, dass für normale elektrische Maschinen der innere Zusammenhang der nominellen Leistung  $L$  einer Maschine mit ihrer nominellen Drehzahl  $n$  durch die einfache Potenzformel:

$$L \cdot n^5 = \text{Konstante}$$

begründet werden könne. Im folgenden soll gezeigt werden, dass die Grundlagen jenes Zusammenhanges nur noch um die weitere, grundlegende Annahme einer für Gleichstrommaschinen ohne Wendepole gerade noch zulässigen Reaktanzspannung vermehrt werden müssen, um in einfacher Weise die Grenzwerte von Leistung und Drehzahl bei Gleichstrommaschinen, die noch ohne Anwendung von Wendepolen eine zufriedenstellende Kommutation aufweisen können, allgemein anzugeben.

Bekanntlich kann nach H. M. Hobart<sup>1)</sup> die Reaktanzspannung  $E_r$  durch die Formel:

$$E_r = \frac{\text{Leistung} \times \text{axiale Länge}}{\text{Polzahl} \times \text{Flux pro Pol}} \times \text{Konstante}$$

dargestellt werden. Da für eine gegebene, ebenfalls als konstant zu betrachtende Kraftliniendichte, der Nenner von  $E_r$  der Armatureoberfläche proportional ist, kann bei Einführung des aktiven Armaturvolumens  $V$  und der neuen Konstanten  $K$  für  $E_r$  die Beziehung:

$$E_r = \frac{L}{V^{\frac{1}{3}}} \cdot K$$

gesetzt werden. Dabei ist das aktive Armaturvolumen, ebenso wie in unserer Arbeit von 1910, als Zylinder definiert, dessen Durchmesser mit dem Armaturdurchmesser und dessen Höhe mit der axialen Eisenstärke der Armatur übereinstimmen. Der Faktor  $K$  ist dann eine Konstante innerhalb von eigentlichen Maschinen-Typenreihen, für die feste Verhältnisse sowohl zwischen dem Armaturdurchmesser und der axialen Armatureisenstärke, als auch zwischen letzterer und der in der ersten Formel für

<sup>1)</sup> Proc. Inst. Electr. Engrs., London 1901, Vol. XXXIII, S. 170.

<sup>2)</sup> Seite 357 von Band I des „Bulletin des S. E. V.“ 1910.

$E_r$  verwendeten „axialen Länge“ bestehen. Indem man weiterhin die Windungszahl pro Kollektorlamelle nach den Bedürfnissen der Stromwendung einheitlich festsetzt, kann auch der Quotient:

$$\frac{E_r}{K} = c_c$$

als Typenkonstante, nämlich als „Koeffizient der Kommutation“ verwendet werden, derart, dass die Formel:

$$L \cdot \left(\frac{1}{V}\right)^{\frac{1}{3}} = c_c \tag{1}$$

entsteht, die einen Zusammenhang zwischen der Maschinenleistung  $L$  in kW und dem aktiven Armaturvolumen  $V$  in  $\text{cm}^3$  für funkenfrei arbeitende Gleichstrommaschinen ohne Wendepole schafft. Da alle ältern, mit natürlicher Ventilation arbeitenden Gleichstrommaschinen mit verhältnismässig grossem Armaturvolumen und mit verhältnismässig schwacher Leistung ausgeführt wurden, konnten sie bei einiger Kenntnis der elektrischen Vorgänge ohne besondere Schwierigkeit für funkenfreien Betrieb hergestellt werden. Als aber, zum Zwecke erhöhter Ausnutzung der Baustoffe, die gesteigerte Ventilation moderner Maschinen eingeführt wurde, empfand man bald das nach Formel (1) aus Kommutationsrücksichten erforderliche Armaturvolumen als übertrieben gross und ging an seine Herabsetzung, die durch die Anwendung der den Koeffizienten  $c_c$  günstig beeinflussenden Kompensationswicklungen, insbesondere der sogenannten Wendepole (Hilfspole), möglich wurde. Dazu verleitete eben, dass das aus Wärmeabfuhr-Rücksichten nötige Armaturvolumen nur mit dem umgesetzten Drehmomente, bezw. gemäss der Formel von *W. B. Esson* <sup>1)</sup>,

von der wir auch schon in der Arbeit von 1910 Gebrauch machten, verknüpft ist; diese Formel schreiben wir nun in der Form:

$$\frac{L}{n \cdot V} = c_d \tag{2}$$

wobei die Typenkonstante  $c_d$ , als der „Dimensionierungskoeffizient“, eingeführt wird. Die einzelnen Typenreihen sind wiederum durch feste Verhältnisse zwischen dem Armaturdurchmesser und der axialen Armatureisenstärke gekennzeichnet, sowie ausserdem durch den Grad ihrer „Schnelläufigkeit“. Für diesen benutzen wir den Zusammenhang:

$$V \cdot n^6 = c_v \tag{3}$$

mit der Typenkonstanten  $c_v$ , die als „Geschwindigkeitskoeffizient“ eingeführt ist, und der Forderung eines Maximums für die zulässige Fliehkraft pro Masseneinheit am Rotorumfang Rechnung trägt. Diese Formulierung haben wir grundsätzlich auch schon in unserer Arbeit von 1910 benutzt. Indem wir noch festsetzen, dass  $n$  in Umläufen pro Sekunde gemessen werden soll, „normalisieren“ wir vier Typenreihen, die wir als „Langsamläufer“, als „Normalläufer“, als „Schnelläufer“ und als „Expressläufer“ (Turbodynamos) bezeichnen wollen, und für die der Koeffizient  $c_v$  je die Werte  $10^8$ ,  $10^{10}$ ,  $10^{12}$  und  $10^{14}$  haben soll. Da tatsächlich  $c_v$  das wahre Kriterium einer Typenreihe bildet, so ändern sich mit  $c_v$  zugleich auch die Koeffi-

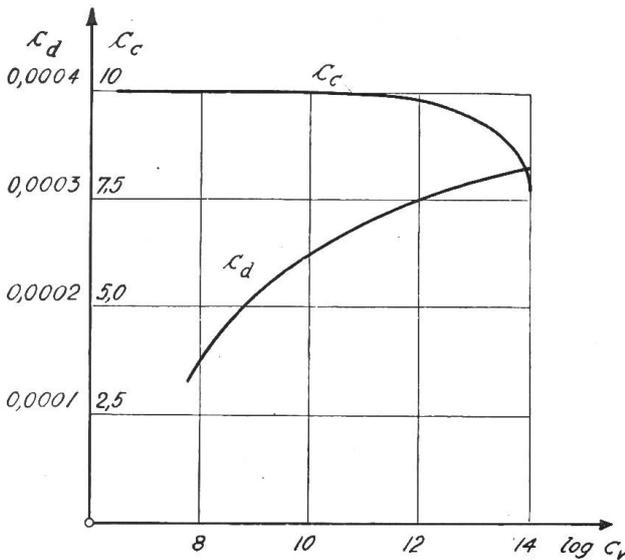


Fig. 1

führt ist, und der Forderung eines Maximums für die zulässige Fliehkraft pro Masseneinheit am Rotorumfang Rechnung trägt. Diese Formulierung haben wir grundsätzlich auch schon in unserer Arbeit von 1910 benutzt. Indem wir noch festsetzen, dass  $n$  in Umläufen pro Sekunde gemessen werden soll, „normalisieren“ wir vier Typenreihen, die wir als „Langsamläufer“, als „Normalläufer“, als „Schnelläufer“ und als „Expressläufer“ (Turbodynamos) bezeichnen wollen, und für die der Koeffizient  $c_v$  je die Werte  $10^8$ ,  $10^{10}$ ,  $10^{12}$  und  $10^{14}$  haben soll. Da tatsächlich  $c_v$  das wahre Kriterium einer Typenreihe bildet, so ändern sich mit  $c_v$  zugleich auch die Koeffi-

<sup>1)</sup> Proc. Inst. Electr. Engrs., London 1891, Vol. XX., S. 265.

zienten  $c_d$  und  $c_c$ , für die wir nun die Zuordnung zu den festgesetzten Typenreihen, einerseits in der folgenden Zahlentafel, und anderseits in Fig. 1. vornehmen. Diese Tafel, die sich für Maschinen ohne Wendepole versteht, lautet:

Typenreihen	$c_v$	$c_d$	$c_c$
Langsamläufer . . . . .	$10^8$	0,00015	10,00
Normalläufer . . . . .	$10^{10}$	0,00025	10,00
Schnelläufer . . . . .	$10^{12}$	0,00030	9,75
Expressläufer . . . . .	$10^{14}$	0,00033	7,75

In der Abbildung haben wir als Abszissen der darzustellenden Kurven statt  $c_v$  die Werte  $\log c_v$  gewählt, da die einzelnen Werte von  $c_v$  soweit auseinander liegen. Durch Elimination des Volumens  $V$  aus den Formeln (2) und (3) erhält man die Beziehung:

$$L \cdot n^5 = c_v \cdot c_d \quad (4)$$

die inhaltlich identisch ist mit unserer frühern Beziehung:

$$L \cdot n^5 = \text{Konstante}$$

für den normalen Zusammenhang der nominellen Leistung mit der nominellen Drehzahl, wie er sich aus Erwärmungsrücksichten, bzw. genauer aus Wärmeabfuhr-rücksichten ergibt, und wobei die Konstante ( $c_v \cdot c_d$ ) für jede Typenreihe einen charakteristischen Wert aufweist.

Eliminieren wir dagegen das Volumen  $V$  aus den Formeln (1) und (3), so erhalten wir in der Beziehung:

$$L \cdot n^2 = c_c \cdot c_v^{\frac{1}{3}} \quad (5)$$

den Zusammenhang zwischen Leistung und Drehzahl, der sich aus den Kommu-tationsrücksichten ergibt.

Die Vergleichung der Formeln (4) und (5) veranschaulicht zunächst die Tat-sache, dass Leistungen und Drehzahlen, wie zu erwarten war, hinsichtlich der Erwärmung und hinsichtlich der Stromwendung in wesentlich anderer Weise verknüpft sind. Es lassen sich nun aber die Formeln (4) und (5) auch dazu verwenden, um die *Grenzleistungen*  $L_g$  und die *Grenzdrehzahlen*  $n_g$  festzustellen, die das Gebiet der Gleichstrommaschinen *ohne* Wendepole vom Gebiete der Gleichstrommaschinen *mit* Wendepolen scheiden. Zu diesen Grenzwerten  $L_g$  und  $n_g$  gelangen wir wie folgt: Erhebt man die Gleichung (5) in die fünfte Potenz und dividiert sie dann durch die ins Quadrat erhobene Gleichung (4); so liefert die Auflösung nach  $L$  mit dem neuen Symbol  $L_g$  die Beziehung:

$$L_g = \sqrt[3]{c_v^5 \cdot c_c^{-\frac{1}{3}} \cdot c_d^{-2}} \quad (6)$$

Die Herbeziehung von Gleichung (4) ergibt mit  $n_g$  für  $n$  weiter

$$n_g = \sqrt[5]{c_v \cdot c_d \cdot L_g^{-1}} \quad (7)$$

Indem wir nun aus unserer obenstehenden Tafel, bzw. aus Fig. 1, die den vier Typenreihen entsprechenden Werte von  $c_v$ ,  $c_d$  und  $c_c$  benutzen, finden wir auf

Grund der Formeln (6) und (7) die in nachstehender Zahlentafel mitgeteilten Resultate der Berechnung von  $L_g$  und von  $n_g$ . Diese Tafel lautet:

Typenreihen	Grenzleistung $L_g$ in kW	Grenzdrehzahl ( $60 \cdot n_g$ ) in Uml/min.
Langsamläufer . . . . .	2170	$1,48 \times 60 = 88,8$
Normalläufer . . . . .	906	$4,88 \times 60 = 292,8$
Schnelläufer . . . . .	461	$14,5 \times 60 = 870$
Expressläufer . . . . .	177	$45,1 \times 60 = 2706$

Bei jeder der vier Typenreihen werden somit Gleichstrommaschinen von höherer Leistung, als der in dieser Tabelle jeweils aufgeführten, ohne Wendepole keine befriedigende Kommutation mehr aufweisen, es sei denn, es werde ein grösseres Armaturvolumen zur Konstruktion beansprucht, als es aus Erwärmungsrücksichten erforderlich ist. Mit der Aufstellung dieser Tabelle ist somit die Aufgabe der Angabe der Grenzwerte von Leistung und Drehzahl bei Gleichstrommaschinen ohne Wendepole, die wir uns stellten, für Maschinen, die mit konstanter Drehzahl, konstantem Flux und konstanter Spannung betrieben werden, und ohne Rücksicht auf das mechanische Verhalten des Kommutators als gelöst zu betrachten.

## Elektrische Mehrmotorenantriebe für Papiermaschinen.

Von Dr.-Ing. Wilhelm Stiel, Charlottenburg.

*Der Verfasser erläutert einleitend die bisher gewöhnlich angewendeten Antriebsarten und bespricht darauf die Vorzüge und Nachteile einer ganzen Reihe von elektrischen Einzelantrieben. Er legt daher das Hauptgewicht auf Ausschaltung von Kegel-Riemenantrieben und weist auf die Schwierigkeiten nicht nur einer genauen Papier-Zugeinstellung hin, sondern auch auf die ungleich schwerer zu verwirklichende Papier-Zug-aufrechterhaltung in der Papiermaschine.*

*L'auteur commence par decrire les méthodes usitées pour la commande par moteurs électriques des machines à papier et indique les inconvenients et les avantages de chacune. Il démontre l'infériorité de la commande par poulies coniques et fait ressortir l'importance qu'il y a à pouvoir non seulement régler exactement mais aussi à maintenir rigoureusement constante la tension du papier.*

### I. Allgemeines.

Der elektrische Antrieb der Papiermaschine wurde bisher fast durchweg in der Weise ausgeführt, dass zwei Motoren vorgesehen wurden: ein Motor mit unveränderlicher Drehzahl zum Antrieb des „konstanten Teils“ und ein zweiter Motor mit regelbarer Drehzahl zum Antrieb des „variablen Teils“. Es handelt sich bei dieser Anordnung also um elektrische Gruppenantriebe, bei welchen die Verteilung der Energie auf die einzelnen Teile der Gesamtmaschine mittels mechanischer Kraftübertragung, in der Hauptsache durch Seil- und Riementriebe, vorgenommen wurde. Die Figuren 1 und 2 zeigen die grundsätzliche Anordnung einer in dieser Weise elektrisch angetriebenen neuzeitlichen Langsieb-Papiermaschine. Zum besseren Verständnis alles Folgenden sei vorerst anhand dieser Figuren die Anordnung und Arbeitsweise der Papiermaschine kurz erläutert.

Man unterscheidet bei jeder Papiermaschine die bereits angedeuteten beiden Teile: „konstanter Teil“ und „variabler Teil“.

Der *konstante Teil* umfasst die Vorrichtungen, welche dauernd mit gleicher Geschwindigkeit betrieben werden; zu ihm gehören in der Hauptsache: