

Ueber Betriebskurven und Betriebsicherheit verschiedener Verfahren der Nutzbremmung bei elektrischen Bahnen

Autor(en): **Kummer, W.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **77/78 (1921)**

Heft 13

PDF erstellt am: **18.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-37238>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

INHALT: Ueber Betriebskurven und Betriebsicherheit verschiedener Verfahren der Nutzbremmung bei elektrischen Bahnen. — Zur Architektur der Grossfunken-Station Nauen. — Neue Eisenbetonvorschriften in Oesterreich. — Miscellanea: Zentral-Kommission für den Rhein. — Ein neues Gaskalorimeter. — Simplon-Tunnel II, Monats-Ausweis Februar 1921. — Konkurrenzen: Gussbetonhäuser. — Literatur: Théorie du

Coup de Bélier (Besprechung). — Eingegangene literarische Neuigkeiten. — Vereins-Nachrichten; Eingabe des S. I. A. und der G. E. P. an den Bundesrat betreffend zweckmässiger Bestellung von Fachkommissionen. — Vorläufiger Bericht über die Delegierten-Versammlung des S. I. A. am 19. März d. J. in Freiburg. — Referat über den Vortrag Prof. Prasil im Zürcher Ing. und Arch.-Verein. — Stellenvermittlung.

Band 77.

Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet.

Nr. 13.

Ueber Betriebskurven und Betriebsicherheit verschiedener Verfahren der Nutzbremmung bei elektrischen Bahnen.¹⁾

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

Ueber Betriebskurven und Betriebsicherheit verschiedener Verfahren der elektrischen Bremsung der Züge von Gleichstrombahnen, von Einphasenbahnen und von Drehstrombahnen hatten wir uns in den Jahren 1907 und 1908 schon einmal eingehender in der „Schweiz. Bauzeitung“ geäussert.²⁾ Unsere damaligen Darlegungen sind inzwischen durch die technische Entwicklung zu einem grossen Teil entwertet worden, während die grundsätzliche Bedeutung der dabei behandelten Fragen geblieben ist. Die im abgelaufenen Jahrzehnt eingetretene Entwicklung betrifft insbesondere die Ausbildung der Nutzbremmung auf Gleichstrombahnen und auf Einphasenbahnen, sowie das Zurücktreten der Bedeutung des Verfahrens der Gegenstrombremsung auf Einphasenbahnen, von dem wir seinerzeit einen grösseren Erfolg erwartet hatten.³⁾ In letzter Zeit haben Unfälle, bezw. verhütete Unfälle, eine Behandlung der Fragen der Betriebsicherheit bei den neuen Verfahren der Nutzbremmung auf Gleichstrombahnen und auf Einphasenbahnen neuerdings wünschbar erscheinen lassen. Da die Betriebsicherheit in hohem Masse mit den Betriebskurven zusammenhängt, sind letztere zunächst zu untersuchen. Zu diesem Behufe betrachten wir die drei grundsätzlich verschiedenen Arten der Betriebskurven generatorisch arbeitender Bahnmotoren, die den Schemata des „Bahnmotors mit Sondererregung“, des „Gleichstrommotors mit Serieerregung“ und des „Einphasenmotors mit Serieerregung“ entsprechen. Unsern bezüglichen Betrachtungen liegen derart vereinfachte Motortypen zu Grunde, dass angenommen wird, die in ihnen auftretenden Energieverluste seien vollständig durch einen Widerstand im Hauptstromkreis darstellbar. Diese vereinfachende Auffassung erlaubt, kurz und klar das Wesentliche zum Ausdruck zu bringen.

I. Die Kurven des Bahnmotors mit Sondererregung.

Als „Bahnmotor mit Sondererregung“ bezeichnen wir einen Maschinentyp, den wir schematisch durch die fremderregte Gleichstrommaschine veranschaulichen, während er praktisch sowohl durch die Gleichstrom-Nebenschluss-Maschine, als auch durch die Drehstrom-Asynchronmaschine, in deren Teilgebiet der wirklichen praktischen Verwendung⁴⁾, vertreten wird.

In Abbildung 1 ist links der Armatur-Stromverlauf für motorisches, rechts für generatorisches Verhalten dargestellt, während Schaltung, Drehrichtung und Richtung der Spannungen links und rechts übereinstimmen. Als Spannungsgrössen kommen in Frage die Fahrspannung E_0 und die gegen elektromotorische Kraft E , die unter sich, mit dem Armaturstrom J und mit dem elektrischen Armaturwiderstand r durch:

$$E = E_0 \mp r J$$

¹⁾ Eingereicht am 15. Dezember 1920.

Red.

²⁾ Vergleiche Band I, S. 217 und 233 (26. Oktober und 2. November 1907), sowie Band LII, S. 33 (18. Juli 1908).

³⁾ Eine Anwendung der Gegenstrombremsung auf Einphasenbahnen ist nur bei der Valle Maggia-Bahn erfolgt, wie in Band LVIII im Hauptartikel auf Seite 29 (11. Juli 1911) und in der Miscellanea-Notiz auf S. 43 (11. Juli 1911) nachzulesen ist. Der Nachteil dieses Bremsverfahrens liegt darin, dass entweder ein viel zu grosser Bremswiderstand erforderlich ist, oder dass eine störende Gleichstromerregung auftritt.

⁴⁾ Dieses Teilgebiet ist durch relativ kleine (bis 0,05) positive und negative Schlüpfungswerte gekennzeichnet; vergl. Band LII, S. 33 (18. Juli 1908).

verknüpft sind, wobei das Vorzeichen — für motorisches, das Vorzeichen + für generatorisches Verhalten gilt. Wird durch die Konstante C die Unveränderlichkeit des magnetischen Kraftflusses in der Maschine zufolge konstanter Sondererregung ausgedrückt, so gilt bei Einführung der Winkelgeschwindigkeit ω pro sek der Armatur:

$$E = C \omega$$

Aus den zwei Beziehungen folgt:

$$J = \frac{C \omega \mp E_0}{r}$$

Zwischen der elektromagnetischen Energie EJ der Armatur und der mechanischen Energie ωD an der Welle, bei Verwendung des Formelzeichens D für das Drehmoment in mkg , gilt die Beziehung:

$$EJ = 9,81 D \omega$$

Hieraus folgt bei Ersatz von E durch $C \omega$:

$$J = \frac{9,81 D}{C}$$

Die Gleichsetzung der rechten Seiten der zwei für J erhaltenen Formeln ergibt:

$$E_0 \mp \omega C = r D \frac{9,81}{C}$$

und damit bereits die den Zusammenhang von D und ω festlegende Gleichung für die wichtigste Betriebskurve, deren Form allerdings noch praktischer zu gestalten ist. Ein ausgezeichneter Fall ihrer Gültigkeit besteht dann, wenn bei Betrieb als Motor die sogen. „normale“ Leistung:

$$E_n J_n = 9,81 D_n \omega_n$$

umgesetzt wird, wobei der normale Wirkungsgrad:

$$\eta_n = \frac{E_n}{E_0} = \frac{E_0 - r J_n}{E_0} = \frac{C \omega_n}{E_0}$$

herrscht. Hierfür gilt:

$$E_0 - \omega_n C = r D_n \frac{9,81}{C}$$

und ist C mittels η_n und ω_n ausdrückbar gemäss:

$$C = E_0 \frac{\eta_n}{\omega_n}$$

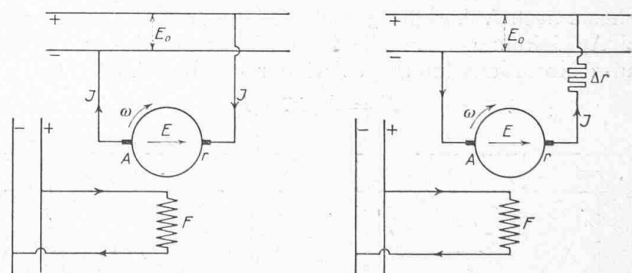


Abb. 1. Bahnmotor mit Sondererregung im Falle von Gleichstrom mit Armatur A , Feld F und Hauptstromwiderstand r , als Motor (links) und als Nutzbremse (rechts) mit Sicherheitswiderstand Δr .

Aus den Betriebsgleichungen, für das Verhalten im allgemeinen und für das Verhalten bei Normalleistung als Motor, folgt das Verhältnis:

$$\frac{E_0 \mp \omega C}{E_0 - \omega_n C} = \frac{D}{D_n}$$

das sich bei Einsetzen der Beziehung:

$$C = E_0 \frac{\eta_n}{\omega_n}$$

in die praktisch brauchbare Form:

$$D (1 - \eta_n) = D_n \left(1 - \frac{\eta_n}{\omega_n} \omega \right)$$

überführen lässt. Die Möglichkeit einer Stufenregelung der Geschwindigkeit bei solchen Maschinen, wofür die Serie-Parallel-Schaltung beim Gleichstromsystem, die Polumschaltung oder die Kaskadenschaltung beim Drehstromsystem, als technische Hilfsmittel zu Gebote stehen, führt analytisch auf die Regulier-Beziehung:

$$E_m = m E_0$$

wobei E_m die nach Massgabe des Parameters m regulierte Klemmenspannung der Maschine darstellt, wofür vorzugsweise die Werte:

$$m = 1, m = 1/2, m = 1/4$$

in Betracht fallen. Für die Betriebskurven zwischen D und ω ergibt sich dann bei analoger Rechnung, wie vorhin, die allgemeinere Gleichung:

$$D(1 - \eta_n) = D_n \left(m \mp \frac{\eta_n}{\omega_n} \omega \right) \quad (1)$$

die für $m = 1$ in die vorherige übergeht. Die Gleichung liefert für jedes m einen linearen Zusammenhang zwischen D und ω . Zur elektrischen Beurteilung gehört noch die zwischen J und D gültige Betriebskurve, die sich durch den Verhältnisswert:

$$i = \frac{J}{J_n} = \frac{D}{D_n} \quad (2)$$

am bequemsten darstellen lässt.¹⁾

Für das Zahlenbeispiel mit den Konstanten

$$\begin{cases} D_n = 450 \text{ mkg} \\ \omega_n = 60 \text{ sek}^{-1} \end{cases}$$

dem also die Normalleistung als Motor:

$$\frac{\omega_n D_n}{75} = 360 \text{ PS}$$

bei $\eta_n = 0,95$ entspricht, gibt Abbildung 2 die nach den Gleichungen (2) und (3) ermittelten Betriebskurven für die Parameter $m = 1, m = 1/2, m = 1/4$. Die praktische Diskussion dieser Kurven soll am Schluss unseres Aufsatzes, anlässlich der gemeinsamen Würdigung der Betriebssicherheit für alle drei Maschinentypen zugleich erfolgen.

II. Die Kurven des Gleichstrommotors mit Serie-Erregung.

Bekanntlich ist zwar der Gleichstrom-Seriemotor in unabgeänderter Schaltung zur Nutzbremmung völlig ungeeignet²⁾; um aber die durch die heutigen Regelverfahren bewirkte Veränderung der Betriebskurven korrekt beurteilen zu können, haben wir vorerst die Betriebskurven des unabgeänderten Motors kurz herzuleiten.

a) Der unabgeänderte Motor. Auf Grund der im Schema nach Abbildung 3 dargestellten Bezeichnungen und bei Ausdehnung des elektrischen Widerstandes r auf die ganze Motorbewicklung gilt wieder die Beziehung

$$E = E_0 \mp r J$$

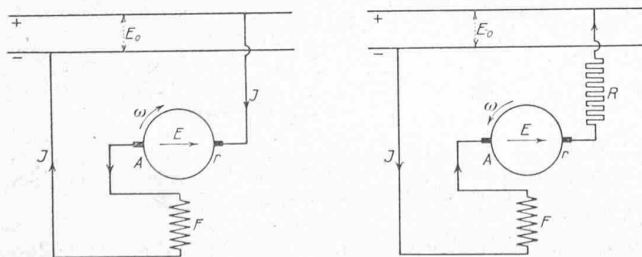


Abb. 3. Gleichstrom-Seriemotor mit Armatur A, Feld F und Seriewiderstand r , als Motor (links) und als Gegenstrombremse (rechts) mit Bremswiderstand R .

Andererseits wird bei der nun herrschenden Serieerregung und für die vereinfachende Annahme einer geradlinigen Magnetisierungscharakteristik zu setzen sein:

$$E = \omega C J$$

¹⁾ Im Falle des Drehstrommotors bedeuten J und J_n lediglich Wattströme, zu denen noch wattlose Parallelströme hinzutreten.

²⁾ Vergl. Band L, S. 218 (26. Oktober 1907).

Diese zwei Beziehungen ergeben:

$$J^2 = \left(\frac{E_0}{\omega C \pm r} \right)^2$$

Aus der Energiegleichung:

$$E J = 9,81 D \omega$$

folgt bei Ersatz von E durch $\omega C J$:

$$J^2 = \frac{9,81 D^2}{C}$$

Die Gleichsetzung der rechten Seiten der zwei für J^2 gefundenen Gleichungen ergibt:

$$E_0^2 C = 9,81 D (\omega C \pm r)^2$$

und damit bereits die den Zusammenhang zwischen D und ω festlegende wichtigste Betriebskurve, zu deren Umgestal-

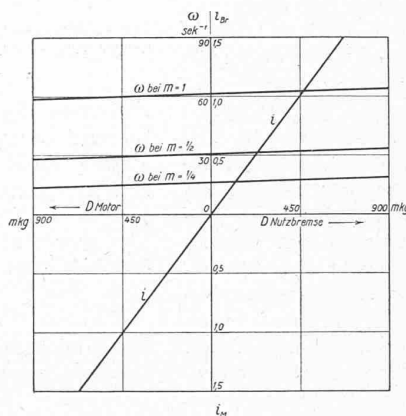


Abb. 2. Betriebskurven des Bahnmotors mit Sondererregung als Motor und als Nutzbremse.

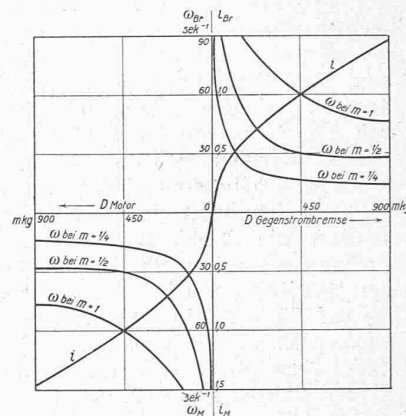


Abb. 4. Betriebskurven des Gleichstrom-Seriemotors als Motor und als Gegenstrombremse.

tung wiederum die Daten der Normalleistung bei Betrieb als Motor:

$$E_n J_n = 9,81 D_n \omega_n$$

herangezogen werden, für die der normale Wirkungsgrad:

$$\eta_n = \frac{E_n}{E_0} = \frac{E_0 - r J_n}{E_0} = \frac{\omega_n C J_n}{E_0}$$

gilt. Für diesen Betriebsfall gilt ferner:

$$E_0^2 C = 9,81 D_n (\omega_n C + r)^2$$

und ist C mittels der Daten der Normalleistung ausdrückbar gemäss:

$$C = \frac{r}{\omega_n} \frac{\eta_n}{1 - \eta_n}$$

Aus den Betriebsgleichungen, für das Verhalten im allgemeinen und für das Verhalten bei Normalleistung als Motor, folgt das Verhältnis:

$$1 = \frac{D}{D_n} \left[\frac{\omega C \pm r}{\omega_n C + r} \right]^2$$

das sich beim Einsetzen des oben für C gegebenen Wertes in die praktisch brauchbare Form:

$$D [\omega \eta_n \pm \omega_n (1 - \eta_n)]^2 = D_n \omega_n^2$$

überführen lässt. Die Möglichkeit einer Stufenregelung der Geschwindigkeit mittels der Serieparallelschaltung führt analytisch auch hier auf eine Beziehung:

$$E_m = m E_0$$

wobei auch hier m vorzugsweise $= 1, = 1/2, = 1/4$ ist. Es gilt dann die Gleichung:

$$D [\omega \eta_n \pm \omega_n (1 - \eta_n)]^2 = m^2 D_n \omega_n^2 \quad (3)$$

Bei Verlustlosigkeit, mit $\eta_n = 1$, lautet sie:

$$D \omega^2 = m^2 D_n \omega_n^2$$

wie wir an anderer Stelle gezeigt hatten.¹⁾ Der Gleichung (3) entspricht eine Betriebsgleichung für die Stromstärke, die zweckmässig in der Form:

$$i = \frac{J}{J_n} = \sqrt{\frac{D}{D_n}} \quad (4)$$

¹⁾ Vergl. Band II, S. 248 (18. Mai 1907), wo der Gleichstrom-Seriemotor als Sonderfall des Wechselstrom-Seriemotors erscheint.

gegeben wird. Die ω -Kurven nach Gleichung (3) führen auf Nullstellen, für die:

$$\omega = 0, \quad D = D_a = m^2 \frac{D_n^2}{1 - \eta_n}$$

gilt. Der bezügliche Sonderwert D_a kann als das „Anlaufdrehmoment“ gemäss der Seriecharakteristik bezeichnet werden.

Für das Zahlenbeispiel mit den Konstanten:

$$\begin{cases} D_n = 450 \text{ mkg} \\ \omega_n = 60 \text{ sek}^{-1} \end{cases}$$

dem also die Normalleistung:

$$\frac{\omega_n D_n}{75} = 360 \text{ PS}$$

bei $\eta_n = 1,0$ entspricht, gibt Abbildung 4 die nach den Gleichungen (3) und (4) ermittelten Betriebskurven¹⁾ für die Parameter $m = 1, = 1/2, = 1/4$.

b) Der Motor mit Verbunderregung. Alle Schaltungen, mittels welcher der Gleichstromseriemotor tatsächlich für die Nutzbremung geeignet gemacht werden konnte, laufen auf Verbundschaltungen nach dem Schema in Abbildung 5 hinaus. Bei gleicher Bedeutung von r wie beim unabhängigen Typ gilt auch wieder:

$$E = E_0 \mp r J$$

wobei das Vorzeichen — dem Verbundmotor, das Vorzeichen + dem Verbundgenerator entspricht. Bei der herrschenden Verbunderregung kann

$$E = \omega (C_0 + C J)$$

gesetzt werden, wobei C_0 die Fremderregung, C dagegen die Serieerregung unter der Annahme einer geradlinigen Magnetisierungs-Charakteristik berücksichtigen. Es ist C_0 festgelegt durch:

$$J = 0, \quad E = E_0 = \omega_0 C_0, \quad C_0 = \frac{E_0}{\omega_0}$$

Aus den zwei Formeln für E folgt:

$$J = E_0 \frac{1 - \frac{\omega}{\omega_0}}{\omega C \pm r}$$

Aus der Energiegleichung:

$$E J = \omega \left(\frac{E_0}{\omega_0} + C J \right) = 9,81 D \omega$$

folgt:

$$D = J \frac{\frac{E_0}{\omega_0} + C J}{9,81}$$

Beim Einsetzen des oben für J gegebenen Wertes geht diese Gleichung über in die folgende:

$$D = \frac{E_0^2}{9,81} \frac{1 - \frac{\omega}{\omega_0}}{(\omega C \pm r)^2} \left(C \pm \frac{r}{\omega_0} \right)$$

welche bereits die, den Zusammenhang zwischen D und ω festlegende, wichtigste Betriebskurve ergibt, zu deren Umgestaltung wiederum die Daten der Normalleistung bei Betrieb als Motor:

$$E_n J_n = 9,81 D_n \omega_n$$

herangezogen werden, für die der normale Wirkungsgrad:

$$\eta_n = \frac{E_n}{E_0} = \frac{E_0 - r J_n}{E_0} = 1 - r \frac{1 - \frac{\omega}{\omega_0}}{\omega_n C + r}$$

gilt. Hierbei gilt ferner:

$$D_n = \frac{E_0^2}{9,81} \frac{1 - \frac{\omega_n}{\omega_0}}{(\omega_n C + r)^2} \left(C + \frac{r}{\omega_0} \right)$$

¹⁾ Für Betrieb als Generator mit Wirkung als Gegenstrombremse dargestellt, entsprechend dem Schema nach Abb. 3. Der Einfachheit halber haben wir $\eta_n = 1,0$ anstatt einem η_n im Bereiche $0,9 < \eta_n < 1,0$ gewählt; der Charakter der Kurven ist bei dieser weiteren Vereinfachung so gut wie ungeändert. Diese Bemerkung gilt auch für unsere übrigen Kurvenbilder, bei denen wir $\eta_n = 1,0$ zu Grunde legten.

und ist C mittels der Daten der Normalleistung ausdrückbar gemäss:

$$C = \frac{r}{1 - \eta_n} \left(\frac{\eta_n}{\omega_n} - \frac{1}{\omega_0} \right)$$

Aus den Betriebsgleichungen, für das Verhalten im allgemeinen und für das Verhalten bei Normalleistung als Motor, folgt das Verhältnis:

$$\frac{D}{D_n} = \frac{1 - \frac{\omega}{\omega_0}}{(\omega C \pm r)^2} \left(C \pm \frac{r}{\omega_0} \right) \frac{1 - \frac{\omega_n}{\omega_0}}{(\omega_n C + r)^2} \left(C + \frac{r}{\omega_0} \right)$$

das sich beim Einsetzen des oben für C gegebenen Wertes in die Form:

$$\frac{D}{D_n} = \frac{(\omega_0 - \omega) \omega_n}{\eta_n \omega_0^2} \frac{\left(\frac{\omega_0}{\omega_n} \eta_n - 1 \right) \pm (1 - \eta_n)}{\left[\frac{\omega}{\omega_n} \left(\eta_n - \frac{\omega_n}{\omega_0} \right) \pm (1 - \eta_n) \right]^2}$$

überführen lässt. Wir setzen:

$$\frac{\omega_n}{\omega_0} = a$$

als einen für die Verbundwirkung der Erregung charakteristischen Verhältnisswert, und erhalten als praktisch brauchbare Betriebsgleichung:

$$D [\omega (\eta_n - a) \pm \omega_n (1 - \eta_n)]^2 = \frac{D_n \omega_n}{\eta_n} (\omega_n - a \omega) [(\eta_n - a) \pm a (1 - \eta_n)]$$

Die Möglichkeit einer Stufenregelung der Geschwindigkeit mittels der Serieparallelschaltung führt auch wieder auf eine Beziehung:

$$E_m = m E_0$$

wobei auch hier m vorzugsweise $1, = 1/2, = 1/4$ ist. Es gilt dann die Gleichung:

$$D [\omega (\eta_n - a) \pm \omega_n (1 - \eta_n)]^2 = \frac{D_n \omega_n}{\eta_n} (m \omega_n - a \omega) [m (\eta_n - a) \pm a (1 - \eta_n)] \quad (5)$$

Diese allgemeine Gleichung umfasst auch, wie übrigens leicht einzusehen ist, die Kurven des Bahnmotors mit Sondererregung, sowie diejenigen des unabhängigen Gleichstrom-Seriemotors als Spezialfälle. Setzen wir in (5) den Wert $a = 0$ ein, so ergibt sich die Kurve (3) des Gleichstrom-Seriemotors; setzen wir dagegen in (5) den Wert $a = \eta_n$ ein, so folgt Kurve (1) des Bahnmotors mit Sondererregung. Bei Verlustlosigkeit, mit $\eta_n = 1$ lautet Gleichung (5):

$$D \omega^2 = D_n \omega_n m^2 \frac{\omega_n - a \omega}{1 - a}$$

Da die unserem Motor zu Grunde liegende Verbunderregung gemäss dem Ansatz:

$$E = \omega (C_0 + C J)$$

grundsätzlich sowohl positive, wie negative Werte von C zulässt, so sind die bezüglichen Fälle zu diskutieren, was gemäss der Gleichung:

$$C = \frac{r}{1 - \eta_n} \left(\frac{\eta_n}{\omega_n} - \frac{1}{\omega_0} \right) = \frac{r \eta_n}{1 - \eta_n} \left(\frac{1}{\omega_n} - \frac{1}{\eta_n \omega_0} \right)$$

erfolgen soll. Es ist demnach:

$$\begin{aligned} C > 0 & \text{ für } \omega_n < \eta_n \omega_0, \text{ d. h. für } a < \eta_n \\ C = 0 & \text{ für } \omega_n = \eta_n \omega_0, \text{ d. h. für } a = \eta_n \\ C < 0 & \text{ für } \omega_n > \eta_n \omega_0, \text{ d. h. für } a > \eta_n \end{aligned}$$

Der erste dieser Fälle bedingt eine Verbunderregung, bei der die Serieerregung und die Sondererregung einander unterstützen, während die zwei Erregungen im dritten Fall einander entgegenwirken; den zweiten Fall, bei dem es sich wieder um die reine Sondererregung handelt, können wir hier, als bereits erledigt, ausser Betracht lassen¹⁾. Nun gehören aber verschiedene Kurven von ω über D , die sich aus Gleichung (5) bei verschiedenen, jeweils konstant gehaltenen

¹⁾ Auf der „Chicago, Milwaukee & St. Paul Rd.“ wird diese Methode der Nutzbremung auf den Lokomotiven 2 C 1 + 1 C 2 der Westinghouse Co. verwirklicht, wie den Angaben von R. E. Ferris in „El. Journ.“ 1920, S. 128, zu entnehmen ist.

tenen Werten α ergeben, nicht zum selben Normalpunkt (ω_n, D_n), weil auch bei variablem α die Grösse C konstant bleiben muss, um eben eine „Konstante“ zu sein, während anderseits C_0 , je nach α , auf verschiedene Sonderwerte der Sondererregung einstellbar ist, wodurch dann eben die verschiedenen α erzielt werden. Damit wird die Regulierbedingung:

$$\left(\frac{1}{\omega_n} \mp \frac{1}{\eta_n \omega_0}\right) = \frac{C}{r \eta_n} (1 - \eta_n) = \text{konstant}$$

begründet, gemäss welcher eine Abhängigkeit des Normalpunktes (ω_n, D_n) vom Verhältniswert α der Verbundwirkung festgelegt wird. Aus dem Normalpunkt auf der Seriecharakteristik, der durch (ω_{ns}, D_{ns}) bzw. durch (E_{ns}, J_{ns}) bestimmt ist, wobei $\alpha = 0$ ist, folgt mit Rücksicht auf $\eta_n = \eta_{ns}$ die Beziehung:

$$\frac{C}{r \eta_n} (1 - \eta_n) = \frac{E_{ns}}{\omega_{ns} J_{ns}} \frac{1 - \eta_n}{r \eta_n} = \frac{1}{\omega_{ns}}$$

Damit wird:

$$\left(\frac{1}{\omega_n} \mp \frac{1}{\eta_n \omega_0}\right) = \frac{1}{\omega_{ns}}$$

wofür sich auch schreiben lässt:

$$(\eta_n \mp \alpha) = \eta_n \frac{\omega_n}{\omega_{ns}}$$

wodurch nun die Veränderlichkeit von ω_n bei veränderlichem α ausgedrückt ist. Zugleich mit ω_n verändert sich D_n , wofür der Ansatz dienen kann:

$$\omega_n D_n = \omega_{ns} D_{ns} = \text{konstant}$$

der auf der Annahme einer konstanten elektrischen Leistung $E_n J_n$ beruht; nach diesem Ansatz sind ω_n und D_n nach einer Hyperbel variabel.

Von den drei Fällen $C > 0$, $C = 0$, $C < 0$ scheiden für die Nutzbremmung praktisch, bzw. grundsätzlich, der erste und der zweite Fall als Sonderfälle aus; der Fall $C > 0$ scheidet aus, weil die durch Gleichung (5) dargestellten Betriebskurven von ω über D sich noch zu wenig

von den Betriebskurven des Seriennormals unterscheiden, während der Fall $C = 0$ überhaupt keine Verbunderregung mehr bedeutet. Dagegen ist der Fall $C < 0$, für den $\omega_n > \eta_n \omega_0$ bzw. $\alpha > \eta_n$ gilt, normal und beansprucht eine erhebliche praktische Bedeutung¹⁾. Für diesen Fall ist die Abhängigkeit des Normalwertes ω_n vom Verhältniswerte α der Verbundwirkung durch den Ausdruck:

$$(\eta_n + \alpha) = \eta_n \frac{\omega_n}{\omega_{ns}}$$

gegeben. Dabei ergibt sich für den kleinsten Wert, den α haben kann, d. h. für $\alpha = \eta_n$ im Grenzfall, eine Sondererregung, die durch $\omega_0 = 2 \frac{\omega_{ns}}{\eta_n}$ festgelegt wird. Mit wachsendem α nähert sich die Sondererregung der Grenze, die durch $\omega_0 = \frac{\omega_{ns}}{\eta_n}$ gegeben ist.

Unserer Gleichung (5) entspricht endlich auch eine Betriebsgleichung für die Ar-

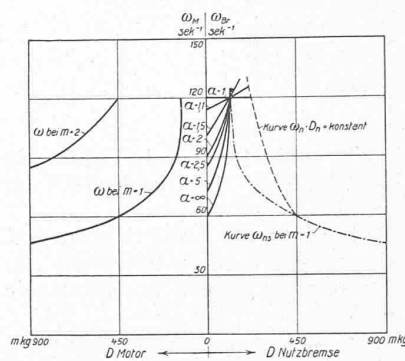


Abbildung 6. Betriebskurven des Gleichstrom-Bahnmotors in reiner Serieschaltung (links) und als Nutzbremse (rechts) bei verschiedenen Werten der Stromstärke der Sondererregung.

maturstromstärke, die aus der Beziehung:

$$\frac{D}{D_n} = \frac{J(C_0 + C J)}{J_n(C_0 + C J_n)}$$

durch den Verhältniswert: $i = \frac{J}{J_n}$ nach:

$$\frac{D}{D_n} = i \frac{1 + \frac{C_0}{C J_n}}{1 + \frac{C_0}{C J}}$$

darstellbar ist, wobei mit Rücksicht auf:

$$\frac{C_0}{C J_n} = \frac{\alpha}{\eta_n - \alpha}$$

die bequemere Form folgt:

$$i \alpha + i^2 (\eta_n - \alpha) = \frac{D}{D_n} \eta_n \quad (6)$$

Für das Zahlenbeispiel unseres ursprünglichen Seriennormals mit den Daten:

$$D_{ns} = 450 \text{ mkg} \quad \omega_{ns} = 60 \text{ sek}^{-1}$$

und $\eta_n = 1$ stellen wir in Abbildung 6 für eine Reihe von Verhältniswerten α der Verbundwirkung bei $\alpha > \eta_n$ die gemäss Gleichung (5) eintretenden Betriebskurven für ω über D für den Parameter $m = 1$ dar, wobei nebenstehend die motorischen Betriebskurven für $m = 1$ und $m = 2$, erstere nach Abb. 4 zum Vergleich wiederholt, beigelegt sind, um zu zeigen, dass für gleiche Fahrbereiche nicht gleiche Stufenschaltungen beim motorischen und beim generatorischen Betrieb möglich sind. (Schluss folgt).

Zur Architektur der Grossfunkenstation Nauen.

Von Hermann Muthesius.

(Mit Tafeln 11 und 12).

Goethe äusserte einmal, dass es bei einem Bauwerke nicht darauf ankomme, mit welchen Schwierigkeiten es entstanden sei, sondern dass das Werk später als solches ohne weitere Erklärung dastehe und der Beurteilung preisgegeben sei. So steht es auch mit dem Bau in Nauen. Indessen sind gerade an diesem die Umstände, die mit seiner Entstehung verknüpft waren, von einigem Interesse. Es lag, wie es zu geschehen pflegt, bereits ein Ingenieurentwurf vor, als der Architekt an die Aufgabe herangerufen wurde. Die Forderungen der bauenden Gesellschaft, die im wesentlichen darin bestanden, unter Aufrechterhaltung der bis-

¹⁾ Auf der „Chicago, Milwaukee & St. Paul Rd.“ wird diese Methode der Nutzbremmung insbesondere auf den Güterzuglokomotiven 2 D + D 2 verwendet, wie wir den Angaben von R. Stearns in „Gen. El. Rev.“ 1916, S. 942, entnehmen. Bei dieser Schaltung ist also auch der auf Seite 20 dieses Bandes beschriebene Unfall erfolgt.

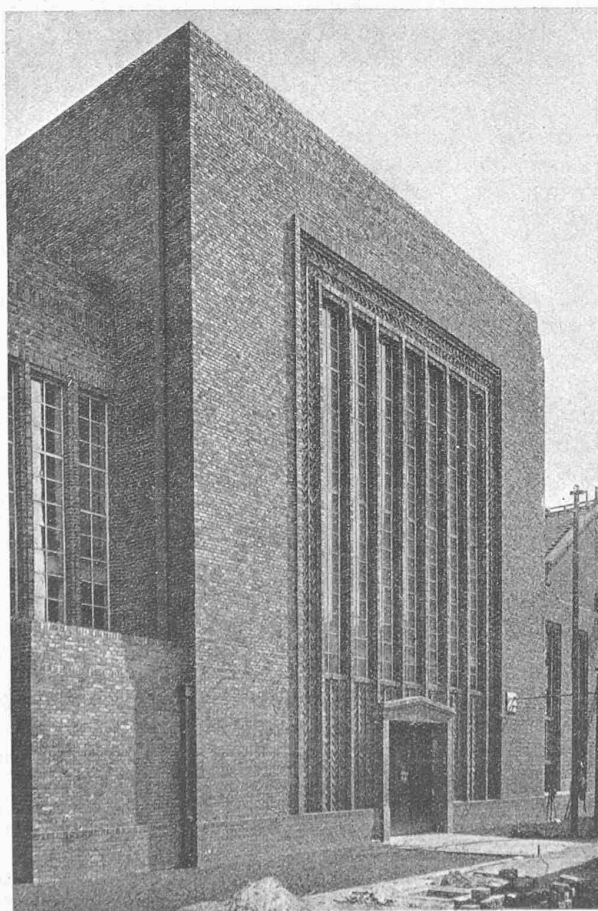


Abb. 5. Stirnfront des Querschiffs der Grossfunkenstation Nauen.