

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 77/78 (1921)
Heft: 14

Artikel: Ueber Betriebskurven und Betriebsicherheit verschiedener Verfahren der Nutzbremmung bei elektrischen Bahnen
Autor: Kummer, W.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-37241>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 01.07.2025

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

INHALT: Ueber Betriebskurven und Betriebssicherheit verschiedener Verfahren der Nutzbremung bei elektrischen Bahnen. — Wettbewerb für den Ausbau des Länggass-Quartiers in Bern. — Neue Eisenbetonvorschriften in Oesterreich. — Miscellanea: Reines Eisen. Eine neuartige Federaufhängung für Eisenbahnwagen mit Drehgestell. Umgestaltung der Uetlibergbahn in Zürich. Neue grosse Entwässerungsanlagen in Holland. Eine Forschungs- und Prüfungsanstalt für Wärmewirtschaft. Eine

Schwebbahn auf das Höllegebirge. — Konkurrenz: Neubau der Schweizerischen Volksbank in Freiburg. Dorfplatz und Dorfbrunnen in Bettingen. — Nekrologie: Manfred Kinkel. — Literatur. — Korrespondenz. — Vereinsnachrichten: Schweizer Ingenieur- und Architekten-Verein. Société Technique fribourgeoise et Section de Fribourg. Solothurnischer Ingenieur- und Architekten-Verein. Zürcher Ingenieur- und Architekten-Verein. Stellenvermittlung.

Band 77.

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

Nr. 14.

Ueber Betriebskurven und Betriebssicherheit verschiedener Verfahren der Nutzbremung bei elektrischen Bahnen.¹⁾

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

(Schluss von Seite 142.)

III. Die Kurven des Einphasenmotors mit Serie-Erregung.

Auch der Einphasen-Seriemotor ist bekanntlich in unabgeänderter Schaltung zur Nutzbremung unverwendbar¹⁾, wenn auch andere Schwierigkeiten, als beim Gleichstrom-Seriemotor, ausschlaggebend sind. Nichtsdestoweniger sollen auch die Betriebskurven des unabgeänderten Motors auf unsern allgemeinen Grundlagen kurz hergeleitet werden.

a) Der unabgeänderte Motor. Auf Grund der im Schema nach Abbildung 7 dargestellten Bezeichnungen und

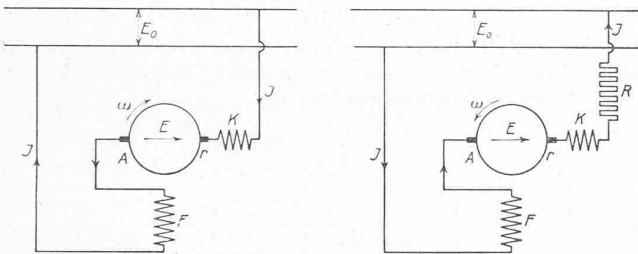


Abb. 7. Einphasen-Seriemotor mit Armatur A, Feld F, Kompensationswicklung K und Seriawicklung r, als Motor (links) und als Gegenstrombremse (rechts) mit Bremswiderstand R.

bei Festsetzung des elektrischen Widerstandes r und der Reaktanz x für die ganze Motorwicklung gelten die Spannungsgleichungen:

$$E_0 \cos \varphi_0 = E \pm rJ; \quad E_0 \sin \varphi_0 = Jx$$

wenn mit φ_0 der Phasenwinkel zwischen der Klemmenspannung E_0 und der Stromstärke J eingeführt wird. Andererseits kann auch hier für die vereinfachende Annahme einer geradlinigen Magnetisierungscharakteristik gesetzt werden:

$$E = \omega C J$$

Aus diesen Beziehungen ergibt sich:

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

Aus der Energiegleichung:

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

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

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

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

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

und damit bereits die den Zusammenhang zwischen D und ω festlegende, wichtigste Betriebskurve, 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:

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

gilt. Für diesen Betriebsfall gilt ferner:

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

und ist C mittels der Daten der Normalleistung ausdrückbar gemäss:

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

d. h. übereinstimmend, wie beim Gleichstrom-Seriemotor. Aus den Betriebsgleichungen, für das Verhalten im allgemeinen und für das Verhalten bei Normalleistung als Motor, folgt das Verhältnis:

$$1 = \frac{D}{D_n} \frac{(\omega C \pm r)^2 + x^2}{(\omega_n C + r)^2 + x^2}$$

Für die Annahme einer geradlinigen Magnetisierungscharakteristik kann die Reaktanz x ausgedrückt werden

$$\text{durch: } x = \frac{E_0 \sin \varphi_0}{J} = \frac{E_0 \sin \varphi_n}{J_n} = E_0 \sin \varphi_n \sqrt{\frac{C}{9,81 D_n}}$$

Indem man den oben für C gefundenen Wert in x und hierauf x in das obenstehende Verhältnis der Betriebsgleichungen einsetzt, ergibt sich eine endgültige Betriebsgleichung nach einigen einfachen Umstellungen in der praktisch brauchbaren Form:

$$D \{ [\omega \eta_n \pm \omega_n (1 - \eta_n)]^2 \cos^2 \varphi_n + \omega_n^2 \sin^2 \varphi_n \} = \omega_n^2 D_n$$

Die Möglichkeit einer stufenweisen oder stetigen Spannungsregelung, gemäss:

$$E_m = m E_0$$

wobei der Parameter m normalerweise durch Werte:

$$0 < m < 1$$

gegeben ist, führt auf die allgemeinere Gleichung:

$$D \{ [\omega \eta_n \pm \omega_n (1 - \eta_n)]^2 \cos^2 \varphi_n + \omega_n^2 \sin^2 \varphi_n \} = m^2 \omega_n^2 D_n \quad (7)$$

Bei Verlustlosigkeit, mit $\eta_n = 1$ geht diese Gleichung über in:

$$D [\omega^2 \cos^2 \varphi_n + \omega_n^2 \sin^2 \varphi_n] = m^2 \omega_n^2 D_n$$

die wir an anderer Stelle hergeleitet hatten¹⁾. Es mag auch noch erwähnt werden, dass Gleichung (7) für $\varphi_n = 0$ auch die oben hergeleitete Gleichung (3) für den Gleichstrom-Seriemotor als Sonderfall hergibt. Der Gleichung (7) entspricht weiter eine Betriebsgleichung für die Stromstärke, die zweckmässig wieder in der Form:

$$i = \frac{J}{J_n} = \sqrt{\frac{D}{D_n}} \quad (8)$$

gegeben wird. Endlich ist auch der Leistungsfaktor darstellbar, der für die Normalspannung E_0 aus der konstanten Reaktanz x gemäss:

$$x = \frac{E_0 \sin \varphi_0}{J} = \frac{E_0 \sin \varphi_n}{J_n}$$

zu:

$$\sin \varphi_0 = \sin \varphi_n \frac{J}{J_n} = \sin \varphi_n \sqrt{\frac{D}{D_n}}$$

folgt, und der sich für die beliebige Spannung E_m mittels der Beziehungen:

$$\sin \varphi_0 = m \sin \varphi_m; \quad \cos \varphi_m = \sqrt{1 - \sin^2 \varphi_m}$$

gemäss der Gleichung:

$$\cos \varphi_m = \sqrt{1 - \frac{1}{m^2} \frac{D}{D_n} \sin^2 \varphi_n} \quad (9)$$

darstellen lässt. Den ω -Kurven gemäss Gleichung (7) entsprechen Nullstellen, für die:

$$\omega = 0, \quad D = D_n = m^2 \frac{D_n}{\sin^2 \varphi_n \pm \cos^2 \varphi (1 - \eta_n)}$$

gilt. Der bezügliche Sonderwert des Drehmoments $D = D_n$ kann wiederum als das „Anlaufdrehmoment“ gemäss der Seriecharakteristik bezeichnet werden.

¹⁾ Vergl. Band L, S. 218 (26. Oktober 1907).

¹⁾ Vergl. Band IL, S. 248 (18. Mai 1907).

Für das betrachtete Zahlenbeispiel mit den Konstanten

$$D_n = 450 \text{ mkg} \quad \omega_n = 60 \text{ sek}^{-1}$$

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

als Normalleistung als Motor bei dieser Schaltung und bei $\eta_n = 1,0$ und bei $\cos \varphi_n = 0,90$ entspricht, gibt Abbildung 8¹⁾ die nach den Gleichungen (7) und (8) ermittelten Betriebskurven für die Parameter $m = 1$, $= 3/4$, $= 1/2$.

b) Der Motor als Nutzbremse nach System Oerlikon. Unter den verschiedenen Schaltungen zur Nutzbremmung mittels Einphasenseriemotoren, aus denen wir als älteste nochmals die schon im Jahre 1907 in dieser Zeitschrift behandelte Schaltung von W. Cooper²⁾ erwähnen, hat bisher besonders die seitens der Maschinenfabrik Oerlikon³⁾ ausgearbeitete, in der Folge hier kurzweg stets als die „Oerlikon-Schaltung“ bezeichnete Anlage zur Nutzbremmung mittels des Einphasenseriemotors praktische Bedeutung erlangt; vom Standpunkt der Kurve von ω über D und zugleich auch vom Standpunkt der Betriebssicherheit aus entspricht die Oerlikon-Schaltung den Ansprüchen des praktischen Betriebs in so hohem Masse, dass sie kaum übertroffen werden dürfte, und dass deshalb auch der ihr anhaftende Nachteil eines ungünstigen Leistungsfaktors als erträglich erscheint. In Abb. 9 bringen wir das Schema dieser Schaltung zur Darstellung; sie wird in der Literatur meist als eine „Nebenschluss-Schaltung“ bezeichnet, obwohl die bezügliche Maschine keineswegs die „Nebenschluss-Charakteristik“ aufweist, wie wir gleich sehen werden. Als einzige Verlustquelle in dieser Maschine sei der elektrische Widerstand r_r im Rotorkreis angenommen; daneben herrsche noch die Reaktanz x_r im Rotorkreis. Infolge des verlustlos angenommenen Statorkreises steht die dem Stator

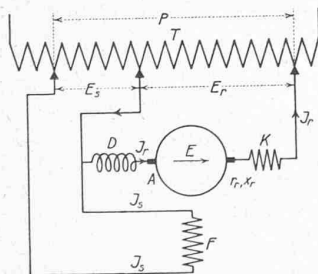


Abb. 9. Der Einphasen-Seriemotor zwecks Nutzbremmung nach System Oerlikon geschaltet, bei Verwendung einer Drosselspule D und getrennten Strömen J_r im Rotor und J_s im Stator.

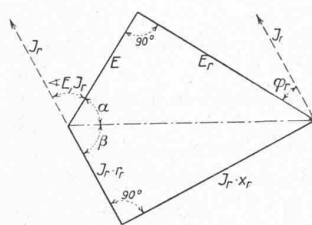


Abb. 10. Spannungsdiagramm des Einphasen-Seriemotors für die Schaltung nach System Oerlikon wie Abbildung 9, bei Wirkungsweise der Maschine als Motor.

aufgedrückte äussere Spannung E_s in Quadratur zur gegen-elektromotorischen E des sich im Statorfelde mit der Winkelgeschwindigkeit ω drehenden Rotors, wobei:

$$E = E_s C \omega$$

gesetzt werden kann und C für eine geradlinige Magnetisierungskurve als Konstante auftritt. Es ist E_s ein Teilbetrag der Transformator-Spannung P , wie auch die dem Rotor aufgedrückte äussere Spannung E_r ein Teilbetrag von P ist. Man kann bei Einführung der als Bruchteile der Zahl 1 verstandenen Parameter m_s und m_r schreiben:

$$E_s = m_s P, \quad E_r = m_r P$$

Bei der weiterhin zulässigen Annahme der Phasengleichheit von E_r und E_s steht auch E_r in Quadratur zu E und

gelten bei einem gegebenen Rotorstrom J_r das in untenstehender Abbildung 10 dargestellte Spannungsdigramm und die Spannungsgleichung:

$$E^2 + E_r^2 = (J x_r)^2 + (J r_r)^2$$

Bei Einsetzen der für die Einzelspannungen erhaltenen Ausdrücke folgt hieraus:

$$(\omega C m_s)^2 + m_r^2 = \frac{J_r^2 (x_r^2 + r_r^2)}{P^2}$$

also auch:

$$J_r^2 = P^2 \frac{(\omega C m_s)^2 + m_r^2}{x_r^2 + r_r^2}$$

Aus der Energiegleichung:

$$9,81 \omega D = E J_r \cos(E, J_r) \\ = P \omega C m_s J_r \cos(E, J_r)$$

folgt der weitere Ausdruck für J_r^2 :

$$J_r^2 = \left(\frac{9,81 D}{P C m_s} \frac{1}{\cos(E, J_r)} \right)^2$$

dessen Gleichsetzung mit dem frühern Ausdrücke für J_r^2 die Beziehung:

$$P^2 \frac{(\omega C m_s)^2 + m_r^2}{x_r^2 + r_r^2} = \left(\frac{9,81 D}{P m_s C} \frac{1}{\cos(E, J_r)} \right)^2$$

und damit bereits die, den Zusammenhang zwischen D und ω festlegende,

wichtigste Betriebskurve ergibt. Aus Abbildung 10 erscheint der $\angle(E, J_r)$ als Nebenwinkel der Winkelsumme $(\alpha + \beta)$, deren Einzelwinkel durch:

$$\text{tg } \alpha = \frac{E_r}{E}, \quad \text{tg } \beta = \frac{x_r}{r_r}$$

bestimmt sind. Es folgt:

$$\cos^2(E, J_r) = \frac{1}{1 + [\text{tg } (\alpha + \beta)]^2} = \frac{(m_r x_r - \omega C m_s r_r)^2}{[m_r^2 + (\omega C m_s)^2] (x_r^2 + r_r^2)}$$

Beim Einsetzen dieses Ausdrucks in denjenigen für die gesuchte Betriebskurve folgt nach einer einfachen Umstellung:

$$D = P^2 C m_s \frac{m_r x_r - \omega C m_s r_r}{9,81 (x_r^2 + r_r^2)^2}$$

Diese Gleichung zwischen D und ω hat Nullstellen mit charakteristischen Werten, die die Gleichung wesentlich vereinfachen:

$$\omega = 0, \quad D = D_a = \frac{P^2 C m_s m_r x_r}{9,81 (x_r^2 + r_r^2)^2}$$

$$D = 0, \quad \omega = \omega_b = \frac{r}{C} \left(\frac{m_r}{m_s} \right) \left(\frac{x_r}{r_r} \right)$$

Unsere Gleichung zwischen D und ω lautet nun:

$$D = D_a \left(1 - \frac{\omega}{\omega_b} \right) \dots \dots \dots (10)$$

und bildet die praktisch brauchbare Betriebsgleichung sowohl für motorischen als auch für generatorischen Betrieb der Einphasenmaschine in Oerlikon-Schaltung. In unsern frühern Betriebsgleichungen zwischen D und ω hatten wir als Konstante die Daten der sog. Normalleistung, also insbesondere D_n und ω_n verwendet, während hier in Gleichung (10) als Konstante das „Anlaufdrehmoment“ D_a und die „Kippgeschwindigkeit“ ω_b auftreten, d. h. Betriebsgrößen, die sich, wie wir noch sehen werden, ebenfalls in Beziehungen zu den Daten der Normalleistung bringen lassen. Im Falle der Verlustlosigkeit der Maschine, wobei $r_r = 0$ sein muss, geht Gleichung 10 über in die Form:

$$D = D_a = \text{konstant}$$

die wir in unserem ersten Bericht über die Oerlikon-Schaltung zur Darstellung ihrer Betriebskurven verwendeten¹⁾; die bezügliche Darstellung haben Autoren deutscher Fachzeitschriften als Beleg dafür benutzt, die Bremsung mittels dieser Schaltung sei nicht stabil²⁾, obwohl von den betreffenden Autoren kaum übersehen wurde, dass es sich nur um vereinfachte Kurven, wie sie bei der für die Frage der Stabilität ungenügenden Annahme verlustloser Maschinen entstehen, handeln könne.

¹⁾ Vergl. Band LXXIII, S. 13 (11. Januar 1919) dieser Zeitschrift.

²⁾ Vergl. Seite 94 der E. T. Z. 1919 und Seite 207, 217 von „Elektr. Kraftbetriebe und Bahnen“ 1919.

¹⁾ Für Betrieb als Generator mit Wirkung als Gegenstrombremse dargestellt, entsprechend dem Schema der Abbildung 7.

²⁾ Vergl. Band L, S. 219 (26. Oktober 1907).

³⁾ Vergl. Band LXXIII, S. 13 und 72 (11. Januar und 15. Februar 1919), sowie Band LXXIV, S. 84 (16. August 1919).

Die den Betriebskurven nach Gleichung (10) entsprechenden Rotor-Stromstärken sind der Beziehung:

$$J_r^2 = P \frac{(\omega C m_s)^2 + m_r^2}{x_r^2 + r_r^2}$$

zu entnehmen, die für $\omega = 0$ den Wert der sogenannten Anlaufstromstärke:

$$J_a = P \frac{m_r}{\sqrt{x_r^2 + r_r^2}}$$

liefert. Mit diesem Sonderwert folgt für J_r der allgemeine Ausdruck:

$$J_r = J_a \sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_b}\right)^2 \left(\frac{x_r}{r_r}\right)^2}$$

aus dem sich ergibt, dass für die verlustlose Maschine:

$$J_r = J_a = \text{konstant}$$

sein muss; dieses Resultat kann offenbar nur durch äusserst ungünstige Verhältnisse des Leistungsfaktors bewirkt sein. Deshalb soll nun der Leistungsfaktor beurteilt werden. Nach Abbildung 10 ist der Phasenwinkel φ_r zwischen J_r und E_r komplementär zum $\angle (E, J_r)$; damit folgt:

$$\text{tg } \varphi_r = \frac{\omega_b - \omega}{\omega_b \frac{r_r}{x_r} + \omega \frac{x_r}{r_r}}$$

Für $\omega = 0$ ergibt sich hieraus der Phasenwinkel bei Anlauf (d. h. im „Kurzschluss-Versuch“), für den nun:

$$\text{tg } \varphi_r = \text{tg } \varphi_a = \frac{x_r}{r_r} = \text{tg } \beta$$

folgt, was auch aus Abbildung 10 ersichtlich ist. Da die dem Stator zugeführten Energien und Schein-Energien nur ein kleiner Bruchteil der von der Maschine im Ganzen umgesetzten Energien sind, so dürfen J_r für J und φ_r für φ gesetzt werden. Für die Stromstärke setzen wir deshalb die zweckmässige Form ein:

$$i = \frac{J}{J_a} = \sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_b}\right)^2 \text{tg}^2 \varphi_a} \quad (11)$$

und für den Leistungsfaktor bei Benützung der Beziehung:

$$\cos \varphi = \frac{1}{1 + \text{tg}^2 \varphi_r}$$

und bei Berücksichtigung von Gleichung (10) den Ausdruck:

$$\cos \varphi = \frac{(D_a - D) \text{tg } \varphi_a + D_a \cotg \varphi_a}{\sqrt{(D_a - D)^2 (1 + \text{tg}^2 \varphi_a) + D_a^2 (1 + \cotg^2 \varphi_a)}} \quad (12)$$

Für $\omega = \omega_b$, wofür $D = 0$ ist, wird $\cos \varphi = 1$. Anderseits wird $\cos \varphi = 0$ für den Sonderwert:

$$D = D_a (1 + \cotg^2 \varphi_a)$$

der im Bereich des generatorischen Verhaltens der Maschine, bei einer Drehzahl $\omega = \omega_b \cotg^2 \varphi_a$, liegt.

Wir formulieren nun noch den Wirkungsgrad η , mit dessen Hülfe wir dann den Zusammenhang zwischen dem „Anlaufpunkt“ und dem „Kippunkt“ mit den Daten der Normalleistung erhalten. Es ist beim Motorbetrieb allgemein:

$$\eta = \frac{E J_r \cos(E, J_r)}{E_r J_r \cos \varphi_r} = \frac{E}{E_r} \text{tg } \varphi = \frac{\omega}{\omega_b} \text{tg } \varphi_a \text{tg } \varphi$$

und für Normalleistung, die also auch beim Motorbetrieb vorliegt:

$$\eta_n = \frac{\omega_n}{\omega_{b,n}} \text{tg } \varphi_a \text{tg } \varphi_n$$

Da nach früher: $\omega_b = \frac{1}{C} \frac{m_r}{m_s} \text{tg } \varphi_a$

ist, kann nun auch die Magnetisierungskonstante C gemäss:

$$C_n = \eta_n \frac{m_r}{m_s} \frac{1}{\omega_n \text{tg } \varphi_n}$$

angegeben werden, ohne dass wir sie übrigens benötigen. Vielmehr dient uns die Vereinigung der Beziehungen:

$$\frac{\omega_n}{\omega_{b,n}} = \frac{\eta_n}{\text{tg } \varphi_n \text{tg } \varphi_n}, \quad \text{tg } \varphi_n = \frac{\omega_{b,n} - \omega_n}{\omega_{b,n} \cotg \varphi_a + \omega_n \text{tg } \varphi_a}$$

zur Festlegung des die Gleichung (10) beherrschenden Verhältnisses $\frac{\omega_n}{\omega_b}$ mit η_n und $\text{tg } \varphi_a$ wofür sich der Ausdruck:

$$\frac{\omega_n}{\omega_{b,n}} = \frac{1}{2} \left[(1 - \eta_n) \pm \sqrt{(1 - \eta_n)^2 - 4 \eta_n \cotg^2 \varphi_a} \right]$$

ergibt. Damit für $\frac{\omega_n}{\omega_{b,n}}$ reelle Werte erscheinen, können nicht zugleich η_n und $\cotg \varphi_a$ hohe Werte haben. Vielmehr muss die Bedingung:

$$(1 - \eta_n)^2 \geq 4 \eta_n \cotg^2 \varphi_a$$

erfüllt sein; für $\eta_n = 1$ würde $\omega_{b,n} = \omega$; für $\eta_n = 0$ würde $\omega_{b,n} = \omega_n$, d. h. es erschiene der Kippunkt. Alle andern reellen Lösungen führen auf $\omega_n > \omega_{b,n}$.

Für das Zahlenbeispiel:

$$D_n = 450 \text{ mkg} \quad \omega_n = 60 \text{ sek}^{-1}$$

dem also die Normalleistung als Motor bei dieser Schaltung:

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

entspricht, sei weiterhin angenommen:

$$\eta_n = 0,4; \quad \cotg \varphi_a = 0,475$$

was $\cos \varphi_a = 0,429$, ferner: $w_n: \omega_{b,n} = 0,30$, sowie auch $\text{tg } \varphi_n = 0,633$, $\cos \varphi_n = 0,845$ bewirkt, und wofür nun Abbildung 11 die nach Gleichung (10) entstehenden Kurven von ω über D , für eine Spannungsregelung, gekennzeichnet durch konstantes m_s und durch ein m_r proportional zu D_a , darstellt. Es ist zu beachten, dass die diesen Daten, insbesondere diesem η_n entsprechende Maschine bei Betrieb

als Seriemotor und als Nutzbremse eine etwa doppelt so grosse „Normalleistung“ aufweist. Als Kurve mit D_n und ω_n wurde diejenige bestimmt, für die:

$$\frac{m_r}{m_s} = \frac{3/4}{1/4} = 3$$

gilt. Man findet in Abbildung 11 das motorische Verhalten der Maschine im vierten Quadranten zum Axenkreuz ($D, 0, \omega$), während im ersten und dritten Quadranten deren generatorisches Verhalten zum Ausdruck kommt, das wegen der Höhe der Geschwindigkeiten nur

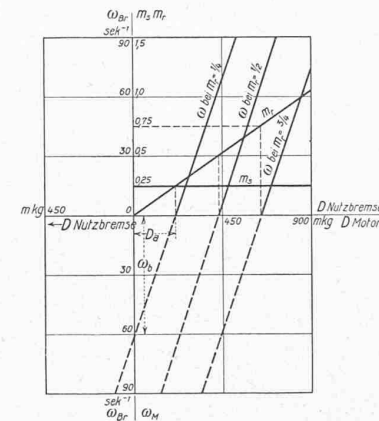


Abb. 11. Der nach System Oerlikon abgeänderte Einphasen-Seriemotor als neuartiger Motor und als Nutzbremse.

für den ersten Quadranten zur Nutzbremung praktisch in Frage kommt. Auf der untern Hälfte der ω -Achse liegen die Kippunkte, für die $\cos \varphi = 1$, $\eta = 0$ gilt. Die in Abb. 11 gezeichnete Linie für m_r stellt zugleich J_a über D proportional dar; von J_a unterscheidet sich J im praktisch in Betracht fallenden Bereich nur wenig und zwar umso weniger, je höher η_n , bzw. je kleiner r_r angenommen wurde. Der Leistungsfaktor der Nutzbremung im ersten Quadranten liegt für unser Beispiel zwischen 0,475 und 0,0; er beträgt jedoch im praktisch verwendeten Bereich nie weniger als 0,35. Das niedrige η_n ist technisch dadurch begründet, dass die Charakteristiken für das motorische Verhalten der Maschine grundsätzlich Anlauf-Charakteristiken, im Sinne des allgemeinen Maschinenbetriebs, sind.

IV. Die Betriebssicherheit der verschiedenen Rekuperations-Verfahren¹⁾.

Die physikalische Beurteilung lässt uns den Grundsatz an die Spitze stellen, dass die Betriebssicherheit einem Maximum zustrebt, wenn die Richtung der generatorischen Linie ω über D sich der Richtung der Winkelhalbierenden durch den ersten Quadranten des Axenkreuz-

¹⁾ Ausser Betracht bleibt hier natürlich die Prüfung der Frage, um wieviel die Betriebssicherheit verkleinert wird, wenn die mit der Lokomotive gekuppelte Zuglast auf den Puffern der voranfahrenden Lokomotive aufrucht.

zes (D , o , ω) nähert, weil dabei besonders auch die Schwankungen der Fahrspannung belanglos werden. Die praktische Beurteilung liefert den weitem Grundsatz, dass der Uebergang von der Fahrt als Motor zur Fahrt als Nutzbremse für das betreffende elektrische Triebfahrzeug ohne jedes, oder nur mittels eines völlig ungefährlichen Schaltmanövers erfolgen soll.

Die Beurteilung der drei Verfahren der Nutzbremmung, die auf Vollbahnen praktisch erprobt wurden, nach diesen zwei, aus physikalischen und praktischen Gesichtspunkten formulierten Grundsätzen gibt folgendes Resultat:

a) Die Nutzbremmung des Bahnmotors mit Sondererregung ist durch den Wegfall eines jeden Schaltmanövers von vorzüglicher Güte. Damit sie auch hinsichtlich der Kurven von ω über D vorzüglich sei, muss mit grossen Sicherheits-Widerständen Δ_r (vergl. Abbildung 1), d. h. mit kleinem Wirkungsgrad η gerechnet werden. Bei den praktisch wichtigen Anwendungen mittels des Drehstrommotors (auf reinen Drehstrom-Bahnen, sowie auf Einphasenbahnen mit Einphasen-Drehstrom-Umformung auf der Lokomotive) wird Δ_r durch Widerstandsregelung im Rotor herbeigeführt¹⁾.

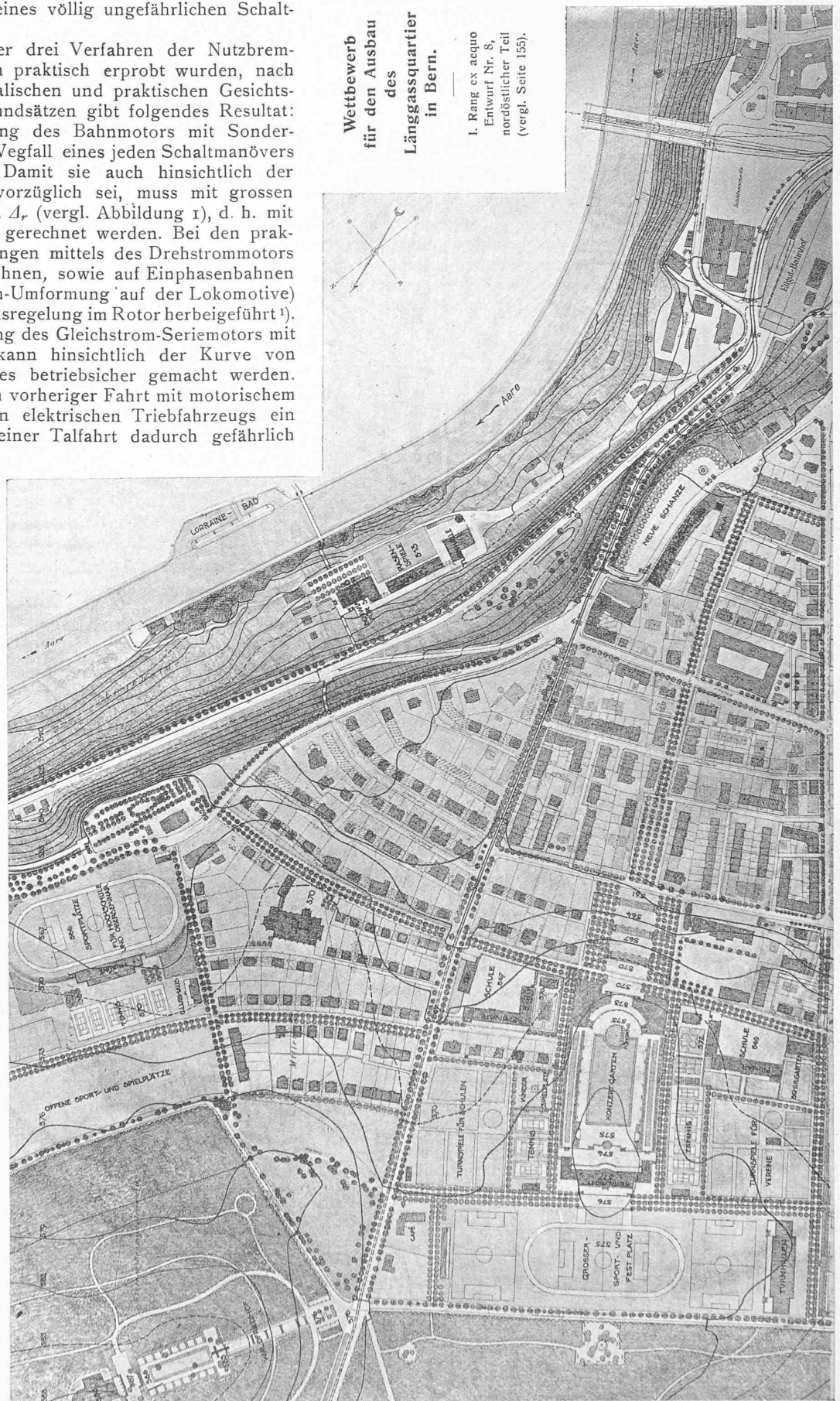
b) Die Nutzbremmung des Gleichstrom-Seriemotors mit Gegenkompoundierung kann hinsichtlich der Kurve von ω über D ohne weiteres betriebsicher gemacht werden. Sie erfordert jedoch nach vorheriger Fahrt mit motorischem Arbeiten des betreffenden elektrischen Triebfahrzeugs ein Schaltmanöver, das bei einer Talfahrt dadurch gefährlich wird, weil erst eine höhere Betriebsgeschwindigkeit des stromlos talfahrenden Fahrzeugs abgewartet werden muss, bis die rekupe-rierende Anlage an die Fahrspannung angeschlossen werden kann; die bezügliche Gefahr ist durch einen, in dieser Zeitschrift eingehend geschilderten Unfall²⁾ anschaulich demonstriert worden³⁾.

c) Die Nutzbremmung des Einphasen-Seriemotors mittels der Oerlikon-Schaltung ist nach beiden Grundsätzen betriebsicher. Sie ist es auch trotz des beim Uebergang vom motorischen zum generatorischen Betrieb nötigen Schaltmanövers, weil die generatorische Wirkung bei einer Tal-

fahrt schon bei beliebig kleiner Fahrgeschwindigkeit möglich ist, infolge des Umstandes, dass im praktischen Fahrbereich die Kurven ω über D durch die D -Axe, nicht aber durch die ω -Axe hindurchgehen.

Wettbewerb für den Ausbau des Länggassquartier in Bern.

I. Rang ex aequo
Entwurf Nr. 8,
nordöstlicher Teil
(vergl. Seite 155).



¹⁾ Im praktisch ziemlich seltenen Fall eines Gleichstrommotors mit Sondererregung sind durch Variation der Erregung beliebige m möglich.

²⁾ Vergl. Seite 20 dieses Bandes (8. Januar 1921).

³⁾ Die gleiche Gefahr besteht auch, immerhin zufolge grösserer Reguliermöglichkeit in etwas kleinerem Masse, für diejenigen Verfahren der Nutzbremmung von Einphasen-Seriemotoren, bei denen nach erfolgtem Umschalten auf Bremsung mit der Charakteristik des Bahnmotors mit Sondererregung gearbeitet wird.

Wir kommen deshalb, auf Grund der Betriebskurven, zur *Schlussfolgerung*, dass eine betriebsichere Nutzbrem-
 sung zwar bei allen Stromarten eingerichtet werden
 kann, dass sie aber gemäss der gegenwärtigen Praxis

des Vollbahnbetriebs nur auf Drehstrom-Bahnen und
 auf Einphasen-Wechselstrom-Bahnen, die die Oerlikon-
 Schaltung oder die Einphasen-Drehstrom-Umformung be-
 nutzen, als tatsächlich betriebsicher erklärt werden kann.



I. Rang ex aequo, Entwurf Nr. 8.
 Arch. Hans Beyeler und Oberg. A. Beyeler, Bern.
 Bebauungsplan 1:6000, Seite 154 nordöstlich,
 Seite 155 südwestlich der Zähringerstrasse.

Wettbewerb für den Ausbau des Länggass-Quartiers in Bern.

Vor ungefähr Jahresfrist kam in Bern ein Wettbewerb zum Austrag, der die ungewohnte Aufgabe der baulichen Sanierung, nach Plan und Bauvorschriften, eines bereits ziemlich stark ausgebauten Stadtteils betraf.¹⁾ Es ist dies das Länggass-Quartier, südlich und östlich begrenzt von S. B. B. und Aare, gegen Nordwest und Nord vom Bremgartenwald und dem Steilhang der Aare bei der Felsenau. Auf mehrfach geäußerten Wunsch, sowie im Hinblick auf die Eigenart der Aufgabe kommen wir heute auf diesen Wettbewerb durch Mitteilung der wich-

tigsten prämierten Arbeiten zurück, obwohl gerade in dem vorliegenden Fall die bloß einfarbige Wiedergabe der Pläne deren Beurteilung hinsichtlich Unterscheidung der verschiedenen Bauklassen-Einteilungsvorschläge erschwert. Immerhin sind gerade in nebenstehendem, durchsichtig dargestellten Entwurf Nr. 8 sowohl die bestehende Bestraßung und Bebauung, als auch die Bodenformen mit der wünschenswerten Deutlichkeit zu erkennen.

Der Wettbewerb zweckte ausser der Gewinnung geeigneter Vorschläge für die Verbesserung des bestehenden Strassennetzes und der Plätze, der Bauzonen und Bauvorschriften, die Ausgestaltung der öffentlichen Anlagen durch systematischen Ausbau und Neuschaffung von Spiel- und Sportplätzen, wofür das von der Landesausstellung 1914 her bekannte aussichtreiche Areal Neufeld, Mittelfeld und Viererfeld längs des Bremgartenwaldes reserviert bleibt. In Verbindung mit diesem Platze waren auch Unterrichtsgärten, wie Schul-, Jugendhort- und Schrebergärten, sowie Licht- und Luftbäder anzuordnen. Aber auch innerhalb der Gelände-

¹⁾ Bd. LXXIV, Seite 286; Bd. LXXV, Seiten 150, 215 und 259.