Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 43/44 (1904)
Heft: 3

Artikel: Schnellaufende Gleichstrom-Generatoren für Bahnbetrieb
Autor: Rikli-Kehlstadt, H.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-24754

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: 10.12.2025

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

INHALT: Schnellaufende Gleichstrom-Generatoren für Bahnbetrieb. — Rechnerische Bestimmung der Anfahrlinien der Motorwagen elektrischer Bahnen für verschiedene Motortypen. (Schluss.) — Das Geschäftshaus «zur Werdmühle» in Zürich. II. (Schluss.) — Der Neubau der mittlern Rheinbrücke zu Basel. — Miscellanea: Eidg. Polytechnikum. XXVIII. Generalversammlung der «G. e. P.» V. Konferenz schweiz. Kultur-Ingenieure. Monatsausweis über die Arbeiten am Rickentunnel. Eidg. Polytechnikum. — Literatur: Technische Erinnerungsblätter aus Basel. — Vereinsnachrichten: G. e. P.: Geschäftsbericht des Sekretärs für 1902/1904. Stellenvermittlung. Hiezu eine Tafel: Das Geschäftshaus «zur Werdmühle» in Zürich.

Schnellaufende Gleichstrom-Generatoren für Bahnbetrieb.

Von *H. Rikli-Kehlstadt*, Ingenieur in Winterthur.

Wer sich einigermassen mit maschinentechnischen Fragen beschäftigt, weiss, dass es sogenannte normale und abnormale Maschinen gibt. Die Begriffe normal und abnormal sind natürlich relative und verschieben sich je nach dem Fortschritt der Technik. Maschinen mit abnormalen Verhältnissen, oder solche, an die besondere Anforderungen gestellt werden, haben sowohl für den Ingenieur der Praxis, als auch für den mehr wissenschaftlich tätigen Fachmann ein besonderes Interesse, weil sie viel eher die Grenze des technisch Möglichen erreichen, als dies bei normalen Maschinen der Fall ist.

Von jeher haben Gleichstrom-Generatoren für Bahnbetrieb eine besondere Stellung unter den elektrischen Maschinen eingenommen, einmal weil sie — mit Ausnahme von Maschinen für Serien-Kraftübertragung — die höchsten für Gleichstrom vorkommenden Spannungen aufzuweisen haben, und dann der besondern Betriebsbedingungen wegen, denen sie zudem noch genügen sollen.

Zwei sehr rasch laufende Gleichstrom-Generatoren dieser Art sind kürzlich von der *Aktiengesellschaft vormals Joh. Jacob Rieter & Co. in Winterthur* für die Stromlieferung der elektrischen Bahn von Martigny nach Châtelard gebaut und aufgestellt worden. Diese Generatoren sollen im Nachstehenden näher beschrieben und deren Aufbau an Hand von Photographien und Zeichnungen erläutert werden.

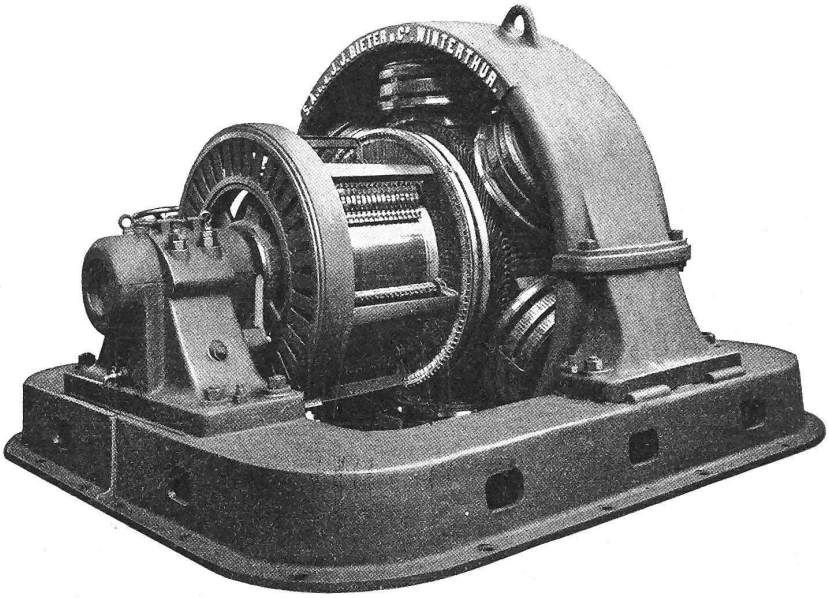

Abb. 1. Schnellaufender Gleichstrom-Generator von 1000 *P. S.*, 800 Volt.

Die Stromlieferung für die erwähnte Bahn geschieht durch die Usine hydro-électrique G. Stächelin in Vernayaz. Die Zentrale war in ihrem hydraulischen Teile früher schon vollständig ausgebaut. Die aufgestellten Turbinen haben eine Leistung von 1000 *PS* bei 500 minutl. Umdrehungen. Dieser Umstand bestimmte von vornherein die Leistung und

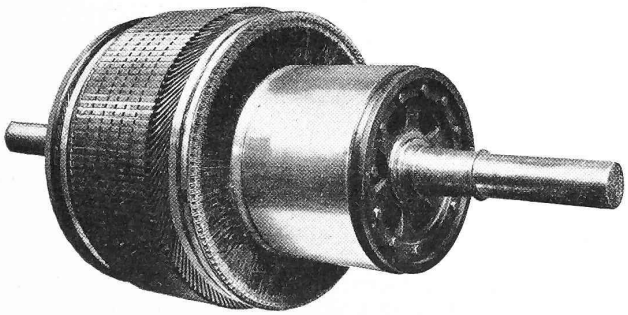

Abb. 2. Armatur des 1000 *P. S.* Gleichstrom-Generators.

hauptsächlich auch die Tourenzahl der aufzustellenden Bahngeneratoren. Bei freier Wahl der Verhältnisse wäre wahrscheinlich eine niedrigere Umdrehungszahl wie 500 in Betracht gezogen worden.

Die beiden Bahngeneratoren sind mit Uebercompoundierung ausgeführt und für folgende Verhältnisse gebaut:

Normalleistung bei Dauerbetrieb . . .	920 *PS*
Maximalleistung während zwei Stunden	1150 *PS*
Umdrehungszahl	500
Spannung	700—800 *Volt*
Stromstärke normal	800 *Amp.*
„ maximal	1000 *Amp.*

Da für eine Leistung von 1000 *PS* bei Gleichstrom-Generatoren die Tourenzahl von 500 schon als eine sehr hohe zu bezeichnen ist, galt es vor allem, dieser hohen Umlaufzahl sowohl in elektrischer wie in mechanischer Beziehung Rechnung zu tragen, letzteres umsomehr, als in den technischen Garantien für diese Generatoren verlangt wurde, dass sie ohne Schaden zu leiden das 1,8-fache der normalen Tourenzahl, also 900 Umdrehungen in der Minute, während $^1/_4$ Stunde sollten aushalten können. Als weiteres, die Konstruktion beeinflussendes Moment traten die Transportverhältnisse auf, indem vom Bahnhof Vernayaz aus die Maschinenteile auf einer besondern Transportbahn von nur 50 *cm* Spurweite in die rund 150 *m* hoch am Bergabhang in die Felswand eingehauene Zentrale gebracht werden mussten. Diese Bahn besitzt zudem noch zwei Tunnels von sehr beschränktem Profil. Die einzelnen Maschinenteile durften daher bestimmte Dimensionen und Gewichte nicht überschreiten.

Da die Maschinen auf Isolatoren gestellt sind, so war eine breite, solide Lagerung geboten. Wie aus der Abbildung 1 ersichtlich, ist die Grundplatte sehr hoch und kräftig gebaut; sie wird von 32 Fundations-Isolatoren getragen. Aus den oben angegebenen Gründen musste diese Grundplatte zweiteilig ausgeführt werden; an den Trennungsflanschen ist sie durch starke Bolzen und Keile durchaus zuverlässig verbunden; zudem sind diejenigen Partien der Grundplatte, welche die Lager tragen, durch vermehrte Fundations-Isolatoren auch am innern Rand solid verankert.

Die Lager selbst sind niedrig und mit breitem Fusse ausgebildet; eine besondere patentierte Lagerkonstruktion (✠ Patent Nr. 28270) sorgt für die richtige Oelzirkulation und zwar ohne Verwendung einer Oelpumpe oder sonstiger mechanischer Hilfsmittel. Das aus den Lagerschalen ausfliessende verbrauchte Oel fliesst zunächst in besondere Kammern mit grosser Oberfläche, in denen sich dasselbe gut abkühlen kann. Diese Kammern kommunizieren mit der Hauptölkammer durch Oeffnungen, welche so angebracht sind, dass das verbrauchte Oel durch die ganzen Vorkammern fliessen muss, bevor es unten in die Haupt-

kammern eintreten kann. Aus diesen wird es durch zwei Schmierringe automatisch der Welle zugeführt. Die beiden Lager sind in den äussern Abmessungen gleich, jedoch hat das auf der Seite der Kupplung gelegene eine grössere Bohrung. Die Dimensionen dieses Lagers sind:

Länge . . . . . 400 *mm*,
Durchmessser . . . . . 155 *mm*.

Der mittlere Druck auf den *cm*² Lagerfläche beträgt 4,2 *kg*.

Dass die beschriebene Schmierung mit forcierter Oelzirkulation ein gutes Resultat ergibt, wurde durch einen Versuch bestätigt. Man liess eine der Maschinen bei den Proben während drei Stunden mit 750 Touren laufen. Dabei stieg die Oeltemperatur in den Vorkammern nicht über 35° C. über die Anfangstemperatur, obschon die Maschine nur provisorisch aufgestellt und die Lager noch lange nicht eingelaufen waren.

In konstruktiver Hinsicht verdienen noch Armatur und Kommutator erwähnt zu werden. Da bei 900 Touren die Umfangsgeschwindigkeit der Armatur etwa 54 *m* beträgt, so waren die gewöhnlichen Drahtbandagen zur Sicherung der Armaturwicklung gegen die Wirkung der Zentrifugalkraft unbedingt ausgeschlossen. Die Befestigung der Armaturelemente in den Nuten geschieht denn auch in viel soliderer Weise durch Keile aus in Paraffin gekochtem Hartholz. Der Zentrifugaldruck pro Nut ist bei 900 Touren rund 260 *kg*.

Besondere Konstruktionen dienen zur Befestigung der Enden der freiliegenden Wicklungsteile; auf der Kommutatorseite werden die einzelnen Elemente durch die geschlossenen Oesen der Verbindung zum Kommutator in durchaus sicherer Weise gehalten; auf der hintern Seite sind die Wicklungsköpfe durch einen konischen Pressring aus Stahlguss nach Art von Kommutatorkonstruktionen ebenfalls absolut zuverlässig befestigt; nur die zwischenliegenden Teile der freiliegenden Wicklung werden durch starke Doppelbandagen aus bestem Siliciumbronzedraht gehalten.

Der Konstruktion des Kommutators musste aus zwei Gründen eine besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden: Einmal musste die Umfangsgeschwindigkeit des letztern ziemlich hoch gewählt werden (18,3 *m*), mit Rücksicht auf dessen grosse Lamellenzahl; dies erschwerte aber eine Konstruktion, die ein absolutes Rundlaufen des Kommutators auf die Dauer gewährleistet. Im Zusammenhang mit dieser Umfangsgeschwindigkeit kam dann noch die grosse Baulänge des Kommutators von 430 *mm* nützlicher Breite als erschwerend in Frage; diese letztere ergab sich durch die niedere Polzahl der Maschine bei einer Stromstärke von 800 bis 1000 *Amp*. Obschon nach Art der Konstruktion, besonders der günstigen Ventilation, nicht anzunehmen war, dass die Erwärmung des Kommutators einen hohen Grad erreichen werde, so wurde doch eine Anordnung getroffen, welche die lockernde Wirkung von oft wiederholter Längenausdehnung und Kontraktion der Lamellen infolge starker Erwärmung und wieder eintretender Abkühlung mit Sicherheit ausschaltet. Die Lamellen sind durch zwei getrennte Systeme von konischen Pressringen gehalten, wovon das vordere System auf lang ausgebildeten Gleitflächen gelagert ist und so eventuell eintretende Längenveränderungen der Lamellen mitmacht; diese Gleitflächen zwischen beiden Systemen sind aufs Genaueste eingeschliffen. Die auf der Armaturseite gelegenen Pressringe sind so angeordnet, dass der innere derselben die mittlern Partien der Lamellen trägt.

Für Armatur- und Kommutatorkonstruktion wurde ausschliesslich Stahlguss verwendet, einerseits zur Erhöhung der Festigkeit, anderseits um mit dünnwandigern Konstruktionen auszukommen, als dies bei Grauguss möglich gewesen wäre, und so Raum zu gewinnen für die Durchführung einer ausgiebigen Ventilation von Kommutator und Armatur. Da die Maschinen wegen ihrer niedern Polzahl ziemlich grosse Massen aufzuweisen haben, so ist vor allem darauf Bedacht genommen worden, diese Massen durch Luftschlitze zweckentsprechend zu unterteilen. Das von der A.-G. vorm. Joh. Jacob Rieter & Co. in Winterthur in den letzten Jahren bei allen ihren Konstruktionen angewandte, bewährte Ventilierungssystem ist hier in besonders sorgfältiger Weise durchgeführt worden. Die kühlende Luft wird auf natürliche Weise so geführt, dass sie alle der Erwärmung ausgesetzten Teile von Kommutator und Armatur bestreichen muss. Der Kommutator wird sowohl auf der äussern Fläche als auch im Innern durch Kühlluft bestrichen. Besonders energisch werden die Wicklungsköpfe ventiliert, sodass die Wärme förmlich aus der Armatur herausgesogen wird. Der durch die Armaturflanschen, die als Ventilatoren ausgebildet sind, hervorgebrachte starke Luftzug wird weiter dazu benutzt, auch die Erregerspulen ausgiebig zu kühlen, wie dies aus den Schnittzeichnungen (Abb. 3 u. 4) ersichtlich ist.

Hinsichtlich der elektrischen Verhältnisse der Maschinen kam hauptsächlich die Erreichung einer guten Kommutation in Frage, und diese ist es auch, welche bestimmend auf die Dimensionierung der Maschine wirkte. Erst in zweiter Linie war Rücksicht zu nehmen auf Nutzeffekt und Erwärmung, da sich diese durch passende Verteilung von Kupfer und Eisen und durch zweckentsprechende Konstruktion leichter in den richtigen Grenzen halten lassen. Dass die Verhältnisse durchaus richtig gewählt wurden, beweist das gute Funktionieren der Maschinen bei Belastung. Dieselben laufen durchaus funkenfrei von Leerlauf bis 25 % Ueberlastung bei *fixer* Bürstenstellung. Ja, die Maschinen laufen sogar im Kurzschluss, also bei reiner Widerstandskommutierung, bis zu 1000 *Amp*. bei Stellung der Bürsten

Schnellaufende Gleichstrom-Generatoren für Bahnbetrieb.

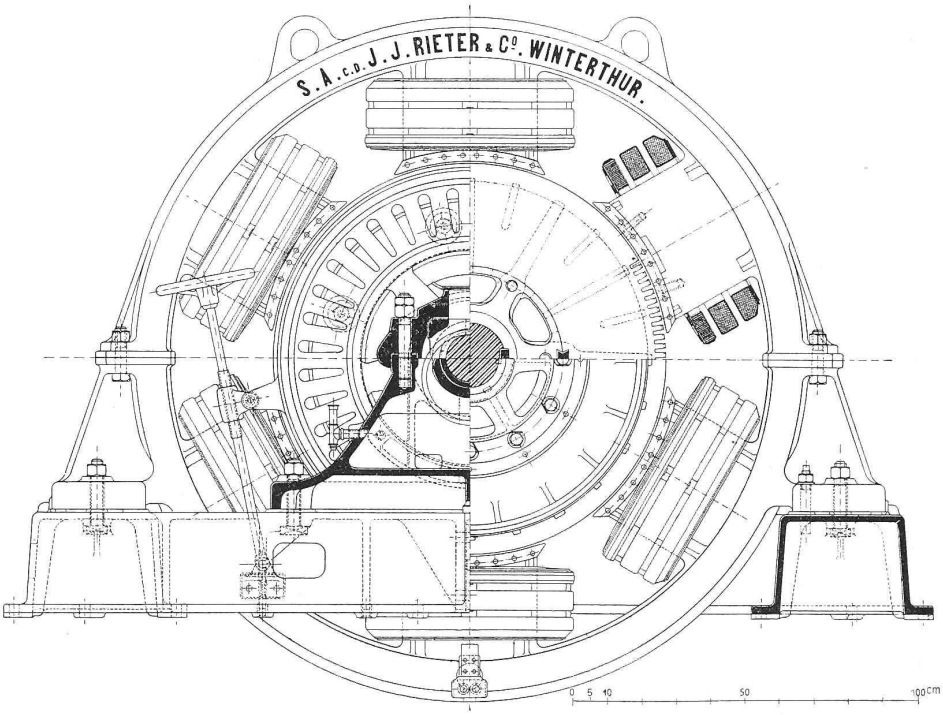

Abb. 3. Gleichstrom-Generator von 1000 *P. S.*, 800 Volt. — Ansicht und Schnitte senkrecht zur Welle. — 1 : 20.

in der neutralen Zone ohne die geringste Funkenbildung. Die Maschinen sind sechspolig. Die Armaturwicklung ist eine zweifache Parallelschaltung mit Schleifenwicklung; die beiden Wicklungen sind getrennt und jede ist durch eine grosse Zahl von Aequipotentialverbindungen ausbalanziert. Die mittlere Luftinduktion beträgt bei 800 *Volt* 12 000 *c. g. s.* und die Sättigung in den Ankerzähnen ist rund 24 500 *c. g. s.*; dieses sehr starke Feld erlaubte es, mit dem Verhältnis von Ampèrewindungen für Luft und Zähne zu den quermagnetisierenden Ankerampèrewindungen sehr weit hinunter zu gehen und zwar bei 1000 *Amp.* bis zu etwa 1,15. Trotz dieses kleinen Verhältnisses ist dennoch die Reaktion der Maschinen eine sehr kleine, wie dies aus dem beigefügten Leerlauf- und Belastungsdiagramm (Abb. 5) hervorgeht.

Schnellaufende Gleichstrom-Generatoren für Bahnbetrieb.

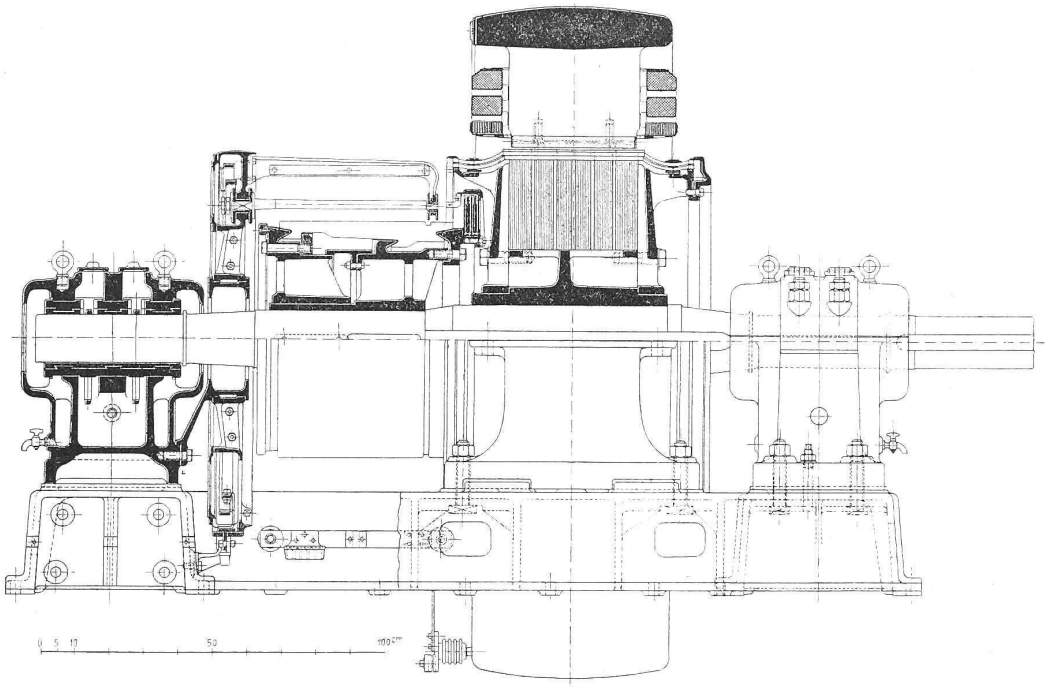

Abb. 4. Gleichstrom-Generator von 1000 *P. S.*, 800 Volt. — Ansicht und Schnitte parallel zur Welle. — 1 : 20.

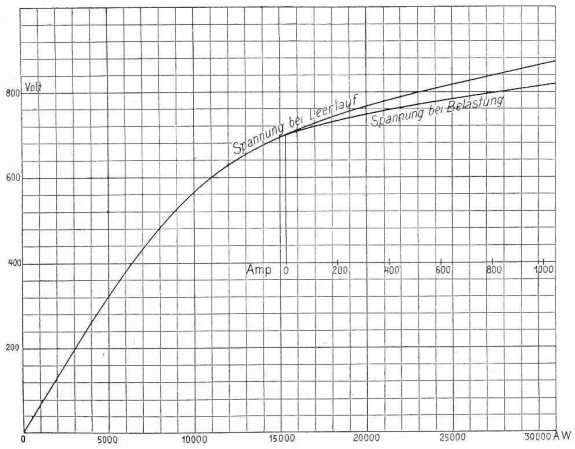

Abb. 5. Leerlauf- und Belastungs-Diagramm.

In Amerika sind Gleichstrom-Maschinen mit mehrfacher Parallelschaltung in Schleifenwicklung sehr häufig; weniger beliebt sind diese Wicklungsarten in Europa und doch sind es Wicklungen, die sehr gute Resultate geben bezüglich Kommutation, was von den in Europa seinerzeit vielerorts so beliebten Serienparallelschaltungen durchaus nicht behauptet werden kann, auch wenn solche mit Aequipotentialverbindungen versehen sind. Zumal für rasch laufende Maschinen haben sich die Serienparallelschaltungen gar nicht bewährt.

Im vorliegenden Falle kam nur noch eine achtpolige Maschine mit einfacher Parallelschaltung in Frage; diese wäre im Gewicht wohl etwas leichter ausgefallen, hätte aber kaum die günstigen Kommutierungsverhältnisse gezeigt wie die Ausführung.

Zum Schlusse seien noch einige der hauptsächlichsten Daten und Versuchsergebnisse erwähnt.

Es betragen bei diesen Bahngeneratoren:

Armatur-Durchmesser	1140	*mm*
Eisenbreite, Luftschlitze inbegriffen	380	*mm*
Nutenzahl	132	
Stabzahl pro Nut	8	
Stabquerschnitt	15	*mm*²
Kommutator-Durchmesser	700	*mm*
Kommutator nützliche Breite . . .	430	*mm*
„ Lamellenzahl	528	

Die Stromabnahme geschieht pro Stift durch 18 Kohlen von 15 × 20 *mm* Kontaktfläche.

Das Kupfergewicht von Armatur und Erregung beträgt 760 *kg*, also etwa 1,2 *kg* für 1 *Kw*. Das Gewicht einer kompleten Maschine ist netto 14 100 *kg*.

Die Verluste und Wirkungsgrade bei 320, 640 und 800 *Kw* sind folgende:

Leistung in *Kw*		320	640	800
Eisenverluste	in Watt	11 500	13 400	14 600
Kupferverluste:				
a) Armatur	» »	1 800	6 600	10 200
b) Nebenschluss	» »	3 650	3 900	4 000
c) Compound	» »	350	1 400	2 150
Uebergangsverluste am Kommutator	» »	600	2 000	3 000
Verluste durch Lagerreibung, Bürstenreibung und Ventilation	» »	6 200	6 200	6 200
Wirkungsgrad	in %	93,0	95,0	95,2

Die Maschinen sind also auch bezüglich Wirkungsgrad sehr günstig dimensioniert, ebenso bleibt die Erwärmung

in mässigen Grenzen. Die Erregerspulen erreichen bei Dauerbetrieb bei einer Spannung von 800 *Volt* eine Uebertemperatur von 45° C. über die Temperatur der Umgebung, alle andern Maschinenteile weisen geringere Erwärmungen auf.

Rechnerische Bestimmung der Anfahrlinien der Motorwagen elektrischer Bahnen für verschiedene Motortypen.

Von Dr. *W. Kummer*, Ingenieur in Zürich.

(Schluss.)

Damit wären die verschiedenen Beziehungen, die sich aus der Annahme einer mechanischen Charakteristik nach dem Linienzug LMN der Abbildung 3 ergeben, dargelegt. Wie bereits bemerkt, gibt dieser Linienzug das Verhalten des Seriemotors bei Betrieb mit konstanter Spannung.

Nun ist aber zu bemerken, dass in den Anwendungen der Praxis der Seriemotor in der Anfahrtperiode nicht vollständig bei Betrieb mit konstanter Spannung verwendet wird. Vielmehr wird die erste Phase der Anfahrt, die sogenannte Schaltperiode unter Betrieb mit konstantem Strom gefahren, wobei sich somit für die ganze Anfahrt ein Linienzug nach QMN der Abbildung 3 (S. 15) ergibt. Das technische Verfahren, mittels dessen anfänglich ein Betrieb bei konstantem Strom und nachher bei konstanter Spannung erreicht wird, ist dasjenige der Widerstandsvorschaltung in der Schaltperiode; die Gleichstromserieparallelmethode bedeutet nur eine spezielle ökonomische Anwendung dieses Verfahrens, insofern es sich um das Prinzip der mechanischen Charakteristik handelt.

Die erste Phase des so gewonnenen neuen Typs eines Traktionsmotors — es möge ihm der Name des Seriemotors mit Anlasswiderstand gegeben werden — entspricht somit der Horizontalen QM der Abbildung 3 und wird durch dieselben Gleichungen, mit entsprechend gewählten Grenzen, befriedigt, wie der weiter oben behandelte Drehstrommotor mit konstanter Spannung und Frequenz und schaltbarem Rotorwiderstand. Die zweite Phase des Seriemotors mit Anlasswiderstand wird durch die Geschwindigkeitskurve: $t = -\frac{1}{gb}\, lg\,(a - r_1 - bv) + C_i$

geregelt, wobei aber C_i wie folgt zu bestimmen ist: Seien t_1 und v_1 die Zeit und Geschwindigkeit, die dem Punkte M entsprechen, dann ist:

$$t = t_1, \quad v = v_1, \quad C_i = t_1 + \frac{1}{bg} \cdot lg\,(a - r_1 - bv_1)$$

also:

$$t = \frac{1}{bg}\, lg\, \frac{a - r_1 - b \cdot v_1}{a - r_1 - b \cdot v}$$

$$v = \frac{a - r_1}{b} - \frac{a - r_1 - bv_1}{b}\, e^{-bg\,(t - t_1)}$$

welch letzte zwei Gleichungen zwischen den Punkten M und N der Abbildung 3 gültig sind. Zwischen den Punkten Q und M derselben gilt allgemein

$$v = \gamma_0 \cdot t$$

und für den Punkt M im besondern:

$$v_1 = \gamma_0 \cdot t_1.$$

Ferner ist für die Phase QM:

$$z = C_o = a - b \cdot v_1 = \text{konstant.}$$

Die Beschleunigung im Punkte M ergibt die Doppelgleichung: $\gamma_o = \frac{v_1}{t_1} = g\,(a - r_1 - b \cdot v_1).$

Nachdem auf diese Weise die Ausdrücke für die Geschwindigkeit während der beiden Phasen des Anlaufs des Seriemotors mit Widerstand festgelegt sind, erübrigt noch, die abgeleiteten Grössen des Arbeitsverbrauchs, des Weges u. s. w. zu bestimmen. Für die erste Phase gelten hier die bereits gegebenen Gleichungen des behandelten Drehstrommotors, für die zweite Phase sind die bezüglichen Werte abzuleiten aus der Geschwindigkeitskurve:

$$v = \frac{a - r_1}{b} - \frac{a - r_1 - b\,v_1}{b}\, e^{-bg\,(t - t_1)}$$

Diese Gleichung, wie auch ihre Derivierte

$$\gamma = \frac{dv}{dt} = g \cdot \left(a - r_1 - b\,v_1\right) e$$

sind dargestellt in der Abbildung 5. Auch hier nähert sich v einem Grenzwerte

$$v_{max} = \frac{a - r_1}{b}$$

während γ sich dem Grenzwerte o nähert; diese Grenzwerte werden theoretisch erst für $t = \infty$ erfüllt.

Der maximale Effekt ergibt sich hier ebenfalls zu:

$$E_{max} = \frac{a^2}{4b}$$

mit einer ihm entsprechenden Geschwindigkeit von:

$$(v)_{E_{max}} = \frac{a}{2b},$$

blos ist hier der Zeitpunkt dieses maximalen Effekts ein anderer; er folgt nämlich aus:

$$e^{-bg\,(t - t_1)} = \frac{1}{2} \cdot \frac{a - 2r_1}{a - r_1 - bv_1} = \frac{1}{2}\, \frac{g}{\gamma_0} \cdot \left(a - 2r_1\right)$$

Seien A_1 und s_1 Arbeit und Weg während der ersten Phase, entsprechend der Linie OA in Abbildung 5 und seien A_2 und s_2 Arbeit und Weg während der zweiten Phase, entsprechend der Linie AB in derselben Abbildung, so folgt:

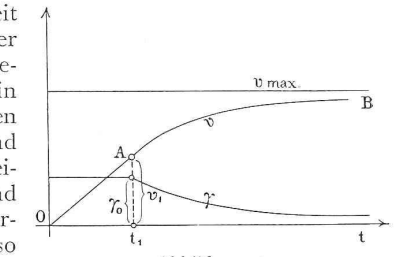

Abbildung 5.

$$A_1 = r_1 \int_o^{t_1} v\,d\,t + \frac{1}{g} \int_o^{v_1} v\,d\,v = \frac{v_1^2}{2} \left(\frac{r_1}{\gamma_0} + \frac{1}{g}\right)$$

$$s_1 = \frac{v_1^2}{2\,\gamma_o}$$

$$s_2 = \int_{t_1}^{T} v\,d\,t = \int_{t_1}^{T} \frac{a - r_1}{b}\,dt - \int_{t_1}^{T} \frac{a - r_1 - bv_1}{e}\, e^{-bg\,(t - t_1)}\,dt$$

$$= \frac{a - r_1}{b} \Big[t\Big]_{t_1}^{T} + \frac{a - r_1 - bv_1}{b} \left[\frac{1}{bg}\, e^{-bg\,(t - t_1)}\right]_{t_1}^{T}$$

$$s_2 = \frac{a - r_1}{b} \Big[T - t_1\Big] + \frac{1}{bg} \Big[v_1 - v_e\Big] = v_{max} \left(T - t_1\right) + \frac{1}{bg} \left(v_1 - v_e\right)$$

Kommt es auf einige Prozent Genauigkeit nicht an, so kann man schreiben:

$$s_2 = \infty\, v_e \left[T - t_1 - \frac{1}{bg} \left(1 - \frac{v_1}{v_e}\right)\right]$$

Ferner folgt:

$$A_2 = \int_{t_1}^{T} r_1\, v\,d\,t + \int_{v_1}^{v_e} \frac{1}{g}\, v\,d\,v = r_1\, v_{max} \left(T - t_1\right) + \frac{r_1}{bg} \left(v_1 - v_e\right) + \frac{1}{g} \cdot \frac{1}{2} \left(v_e^2 - v_1^2\right)$$

Kommt es auch hier auf einige Prozent Genauigkeit nicht an, so folgt:

$$A_2 = \infty\, r_1\, v_e \left[T - t_1 - \frac{1}{gb} \left(1 - \frac{v_1}{v_e}\right)\right] + \frac{1}{2\,g} \left(v_e^2 - v_1^2\right)$$

Die totale Arbeit und der totale Weg, A und s sind durch die Summen:

$$A = A_1 + A_2 \text{ und } s = s_1 + s_2$$

dargestellt.

Man erhält die Mittelwerte der Geschwindigkeit und des Effekts wie folgt:

$$v_{mittel} = \frac{s_1 + s_2}{(t_1 + T - t_1)} = \frac{s}{T}$$

$$E_{mittel}\ \frac{A_1 + A_2}{t_1 + (T - t_1)} = \frac{A}{T}$$

Ein explizites Anschreiben dieser Werte wird unterlassen, da es zu keinen neuen Schlüssen führen würde.

Es ist hier noch auf den Zusammenhang des konstanten a, b und v_1 hinzuweisen. Aus der Wahl der Grössen v_{max}, v_1 und γ_o folgen a und b durch die Beziehung: