

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 49/50 (1907)
Heft: 21

Artikel: Vorausberechnung und Beurteilung der charakteristischen Kurven von Serienmotoren für Gleichstrom und Wechselstrom hinsichtlich der Bedürfnisse der elektrischen Traktion
Autor: Kummer, W.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-26720>

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: 09.07.2025

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

rücksichtigung. Die amerikanischen Bahnen wurden durch die bereits im letztjährigen Bericht erwähnte Delegation der Herren Professor Dr. Wyssling¹⁾ und Kontrollingenieur Wirth studiert. Ueber die Vergleichung der gefundenen Resultate und die daraus zu ziehenden Schlussfolgerungen liegen 11 von den Mitarbeitern, Herren Thormann, Weber-Sahli und Reverdin verfasste Teilberichte vor. Dieselben sind jedoch nicht alle von der Subkommission zu Handen der Gesamtkommission durchberaten und genehmigt.

Die Subkommission III hat auf Grund sorgfältiger Erhebungen über die verfügbaren Wasserkräfte des Landes berichtet. Sie setzt ihre Studien über die Verwendbarkeit dieser Kräfte, ihre günstigste Verteilung, die Kraftpreise an den Speisepunkten, sowie über die Möglichkeit der Akkumulation von Kräften fort.

Es bleiben daher in der Hauptsache nur noch die Punkte IV (Kostenanschläge für typische Verhältnisse) und V (Normalien für den Bau) des Arbeitsprogramms zu behandeln übrig. Das Eisenbahndepartement hat auch für 1906 an die Arbeiten der Studienkommission einen Jahresbeitrag von 10000 Fr. geleistet. Gemeinschaftlich mit den S. B. B. ist ihm die Revision der Rechnungen der Kommission übertragen worden.

Der schon im letztjährigen Bericht erwähnte, von der Maschinenfabrik Oerlikon unternommene Versuch des elektrischen Betriebes auf der Bahnstrecke Seebach-Wettingen befindet sich immer noch in der Bauperiode. Ende Mai wurde die elektrische Ausrüstung der zweiten Teilstrecke Affoltern-Regensdorf vollendet, und es konnten ab 1. Juni die Versuchsfahrten von Seebach bis Regensdorf ausgedehnt werden, d. h. auf eine Strecke von 6,2 km. Die Fertigstellung der weiteren Teilstrecken und damit der ganzen Versuchsstrecke Seebach-Wettingen (19,43 km) fällt in das Jahr 1907. Die im Berichtsjahr vorgenommenen Versuchsfahrten wurden mit der Lokomotive Nr. 2, welche Wechselstrom-Kollektormotoren besitzt, ausgeführt. Das Ergebnis dieser Fahrten war ein ebenso befriedigendes, wie das mit der Umformerlokomotive Nr. 1 erreichte, indes treten bei der Verwendung der Lokomotive Nr. 2 in den der Bahnlinie parallel laufenden eidgenössischen Telephonlinien so starke störende Geräusche auf, dass die Versuchsfahrten mit dieser Lokomotive auf gewisse Tagesstunden eingeschränkt werden mussten. Da die Störungen im Telephonbetriebe schon bei einem Parallelverlauf der eidgenössischen Telephonlinien von etwa

hoffen, dass im Laufe des Jahres 1907 zum regelmässigen Betriebe dieser elektrischen Vollbahnversuchsstrecke übergegangen werden kann.

Die Vorgeschichte der Einführung des elektrischen Betriebes auf den Strecke Brig-Iselle (Simplontunnel) haben wir im letzten Jahresberichte eingehend erörtert. Die Firma A.-G. Brown, Boveri & Cie hat die Installationsarbeiten in der kurzen, zur Verfügung stehenden Frist programmgemäss ausgeführt, sodass die Kollaudation am 23. Mai und die Eröffnung, wie vorgesehen, am 1. Juni stattfinden konnte. Es wurden mit elektrischen Lokomotiven geführt: bis zum 13. Juni acht Züge im Tag, ab 14. Juni zehn Züge im Tag, ab 1. August alle Züge (mit Ausnahme von zwei Expresszügen und der Luxuszüge), ab 1. Oktober alle Züge (mit Ausnahme der Luxuszüge und zweier Nachtzüge), und seit dem 15. November der ganze Betrieb, mit Ausnahme zweier Nachtzüge, für welche die Dampftraktion beibehalten wurde, um für die auf der Strecke Iselle-Domodossola verkehrenden Dampflokomotiven aus dem Depot einen regelmässigen Turnus zu ermöglichen. Der Betrieb wickelte sich im Berichtsjahre vollständig glatt ab, und es kann der elektrische Versuchsbetrieb durch den Simplontunnel als gelungen bezeichnet werden. Die Unternehmerfirma ist im Begriffe, für den Simplonbetrieb eine neue vierachsige 1000pferdige Lokomotive mit einem Adhäsionsgewicht von 64 Tonnen zu bauen, deren motorische Einrichtung es gestattet, mit vier verschiedenen Geschwindigkeiten zu fahren, während die vorhandenen Lokomotiven nur zwei Geschwindigkeiten zur Auswahl haben.

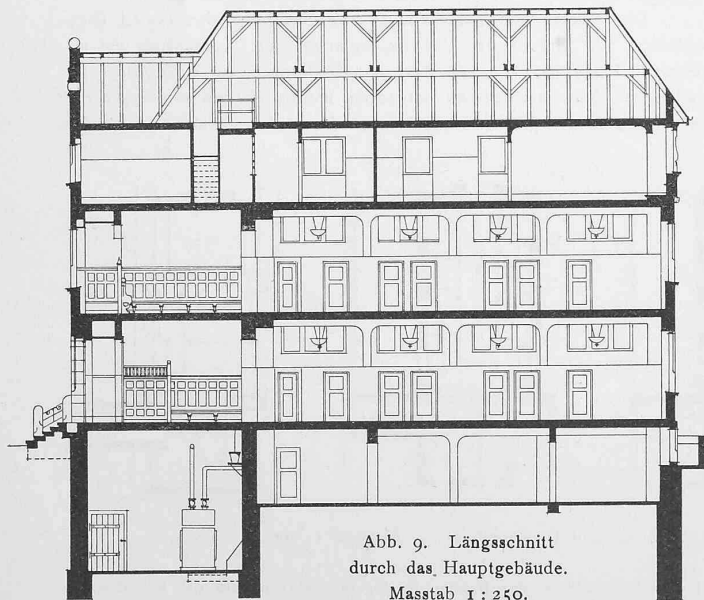
Nachdem die Arth-Rigi-Bahn schon im Vorjahre die bisher mit Dampflokomotiven betriebene Talstrecke Arth-Goldau für elektrischen Motorwagenbetrieb umgebaut hatte, wurde im Berichtsjahre die gleiche Umwandlung auch für die Bergstrecke Goldau-Rigikulum durchgeführt. Die Vollendung dieser Arbeit und der Uebergang zum elektrischen Betrieb fallen indes in das Jahr 1907. Die Motorwagen dieser Zahnradbahn weisen die Eigentümlichkeit auf, dass die elektrischen Motoren nur bei der Bergfahrt arbeiten, während die Talfahrt wie beim Dampfbetriebe, mit der Luftrepressionsbremse vollzogen wird, mit der das eine Wagendrehgestell ausgerüstet ist.

Ernsthafte Studien für die Umwandlung des Dampfbetriebes in elektrischen Betrieb werden zurzeit von der Wengernalpbahn gemacht.

(Schluss folgt.)

Das Brausebad St. Johann in Basel.

Erbaut von Th. Hünerwadel, Hochbauinspektor in Basel.



3,2 km in unzulässiger Weise auftreten, könnte von einer Ausdehnung dieser Versuchsfahrten mit der Lokomotive Nr. 2 auf weitere Teilstrecken oder gar bis Wettingen ohne Aenderungen an den Telephonlinien keine Rede sein. Ueber die zu treffenden Massnahmen fanden zwischen den beteiligten Stellen Verhandlungen statt, die im Berichtsjahr noch nicht zum Abschluss kamen. Ausser den zwei genannten, ungefähr 400pferdigen Lokomotiven Nr. 1 und 2 wird die Maschinenfabrik Oerlikon später noch über eine etwa 1000pferdige sechsachsige Lokomotive mit einem Adhäsionsgewicht von 62 Tonnen verfügen, welche zurzeit im Bau ist. Es ist zu

¹⁾ Bd. IL, S. 91.

Vorausberechnung und Beurteilung der charakteristischen Kurven von Seriennmotoren für Gleichstrom und Wechselstrom hinsichtlich der Bedürfnisse der elektrischen Traktion.

Von Dr. W. Kummer, Ingenieur.

(Schluss.)

Die Diskussion der eben abgeleiteten Beziehungen wird nun am einfachsten an Hand eines konkreten Zahlenbeispiels geführt und ergeben sich dann die nicht nur für das besondere Beispiel sondern allgemein geltenden Schlussfolgerungen ohne weiteres:

Wir gehen aus von einem Traktionsmotor, der die normalen Daten:

$$D_n = 450 \text{ mkg} \\ \omega_n = 60 \text{ in der Sekunde.}$$

besitzen möge, somit eine normale Leistung

$$\omega_n D_n = 27000 \text{ mkg/Sek.} = 360 \text{ P. S.}$$

bei 574 minutlichen Umdrehungen entwickelt. Für Gleichstrombetrieb sind $\cos \varphi = 1$ und $\sin \varphi = 0$ und lautet dann Gleichung 8: $D\omega^2 = 1620000 \cdot m^2$.

Für Einphasenwechselstrom setzen wir $\cos \varphi_n = 0.90$ und bekommen für Gleichung 8:

$$D(\omega^2 + 839.5) = 2000000 \cdot m^2.$$

In diesen numerischen Gleichungen bedeutet m den Spannungsparameter, dem wir der Reihe nach die Werte $m = 1, \frac{3}{4}, \frac{2}{4}, \frac{1}{4}$ erteilen, und dann in der Abbildung 1 die dadurch bewirkten mechanischen Charakteristiken des Traktionsmotors durch Schaulinien darstellen. Für die Ausrüstung eines Zuges mit Gleichstrommotoren würden durch z. B. 12 Motoren, die der Reihe nach zu 12, zu 6, zu 4 und zu 3 in Serie geschaltet sind, die Parameter $\frac{1}{4}, \frac{2}{4}, \frac{3}{4}$ und $\frac{4}{4}$ hergestellt. Die Charakteristiken für Wechselstrom ergeben für das Drehmoment Nullstellen, die durch

$$D_{\omega=0} = \frac{D_n}{\sin^2 \varphi_n} \cdot m$$

für jeden Spannungsparameter m berechenbar sind.

Die Vergleichung der einem bestimmten Spannungsparameter z. B. $m = 1$ zugeordneten Charakteristiken zeigt, dass man beim Wechselstrom gegenüber Gleichstrom über einen etwas grösseren Bereich der Geschwindigkeit, dagegen einen wesentlich kleineren Bereich des Drehmoments verfügt. Für einen bestimmten Wert des Spannungsparameters und des Drehmoments ist die Neigung oder die trigonometrische Tangente gegen die negative D -Achse beim Wechselstrom stets grösser als beim Gleichstrom. Wie ebenfalls aus der Gleichung 8 abgeleitet werden kann, zeigt Abb. 1, dass für die Normalgeschwindigkeit $\omega_n = 60$ sich für jeden Parameter die Charakteristiken für Gleichstrom und Wechselstrom schneiden.

In Abbildung 2 bringen wir die Gleichung 8 für Gleichstrom in der Form:

$$m = \frac{\sqrt{D}}{1272} \cdot \omega$$

und für Wechselstrom in der Form:

$$m = \frac{\sqrt{D}}{1414} \cdot \sqrt{\omega^2 + 839,5}$$

für verschiedene, der Reihe nach konstant gehaltene Werte von ω zur Darstellung.

Diese Abbildung zeigt also, welche Anforderungen an die Spannungsregulierungs-Anlage für die Forderung konstanter Geschwindigkeit für alle Drehmomente im Falle der Gleichstromausrüstung und der Wechselstromausrüstung zu erfüllen sind. Wie dem weiter oben Gesagten zu entnehmen ist, fallen für die Normalgeschwindigkeit $\omega_n = 60$ die Regulierkurven für Gleichstrom und Wechselstrom zusammen, für konstante Geschwindigkeiten die grösser sind als ω_n liegt die Regulierkurve für Gleichstrom höher als diejenige für Wechselstrom, für konstante Geschwindigkeiten, die kleiner sind als ω_n liegt dagegen die Regulierkurve für Wechselstrom höher. Dieser Unterschied

strom eine durch die Gleichung 12 festgelegte ist, welche im vorliegenden Fall lautet:

$$m = 0,436 \sqrt{\frac{D}{450}}$$

Für den Motorbetrieb bei Geschwindigkeiten, die höher liegen als $\frac{\omega_n}{2}$, liegen für die beiden Stromarten Gleichstrom und Wechselstrom die Regulierkurven so nahe bei einander, dass man vom theoretischen Standpunkt aus die beiden Motorgruppen Gleichstromseriemotoren und Wechselstromseriemotoren zur

Einhaltung der Forderung konstanter Geschwindigkeiten für verschiedene Drehmomente als gleichwertig bezeichnen müsste. Nun ist aber bekanntlich die Spannungsregulierung bei Gleichstrom-Seriemotoren nur durch mehrfache Motorenserieschaltung und durch Benutzung von Vorschaltwiderständen zu erreichen, während sie bei Wechselstromseriemotoren in viel vollkommener Weise unter Benutzung von Transformatoren mit veränderlicher Spannungsübersetzung und von Induktionsreglern möglich ist. Unter Voraussetzung einer Gleichstromausrüstung mit 12 Motoren, die zu 12, zu 6, zu 4

und zu 3 in Serie geschaltet werden können, sind von der ganzen Kurvenschar in Abbildung 2 nur die 18 Punkte, die besonders bezeichnet wurden, im Intervall $D = 0$ bis $D = 2 D_n$ überhaupt erhältlich. Ferner sind Reguliermöglichkeiten mit $m > 1$ für Ausnahmefälle (Einholen von Verspätungen), wobei die Leistungsfähigkeit der Motoren über das normale Mass zu steigern ist, sowohl bei Wechselstrom als auch bei Gleichstrom (mittels Shunting der Magnetwicklung) vorhanden.

Das Brausebad St. Johann in Basel.



Anb. 10. Blick in den Mittelgang des Baderaums der Männerabteilung.

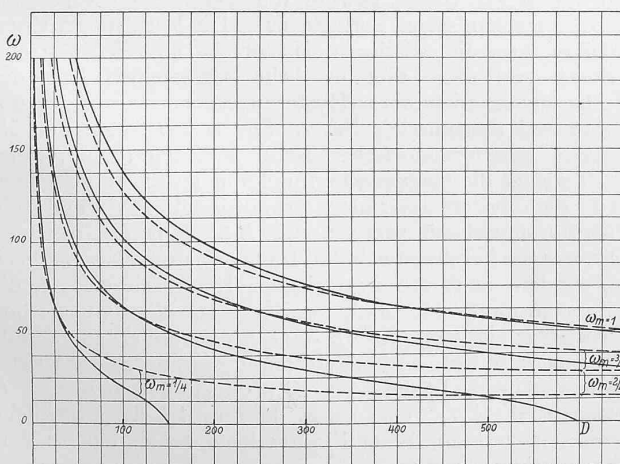


Abb. 1. Regulierkurven für konstante Spannungen mit $m = 1, \frac{3}{4}, \frac{2}{4}, \frac{1}{4}$.

der Regulierkurven ist am bedeutendsten für $\omega = 0$, also für den Stillstand oder Kurzschluss, wobei für den angenommenen verlustlosen Motor die Regulierkurve bei Gleichstrom zusammenfällt mit der Abszissenaxe und bei Wechsel-

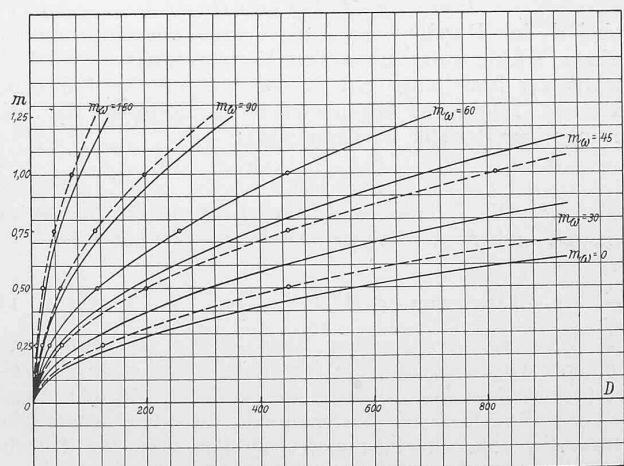


Abb. 2. Regulierkurven für konstante Geschwindigkeiten mit $\omega = 150, 90, 60, 45, 30, 0$.

An Hand der Abbildungen 1 und 2 können wir nun die am Eingang der Arbeit aufgestellten Anforderungen an die mechanische Charakteristik von Gleichstrom- und Wechselstrom-Seriemotoren hinsichtlich ihrer Rückwirkung

auf die Spannungsregulieranlage genau beurteilen und kommen zu dem Ergebnis, dass die Spannungsregulierung für Wechselstrom-Seriemotoren mit hohem Wirkungsgrad und beliebiger Feinheit der Regulierung durchführbar ist, während sie für Gleichstrommotoren entweder nur mit sehr bedenklichem Wirkungsgrad (Widerstandsregulierung) oder dann mit sehr bedenklicher Unfeinheit (mehrfache Motor-serieschaltung) und komplizierter Anlage erreichbar ist.

In der Abbildung 3 bringen wir nun für das gewählte Zahlenbeispiel die rein elektrischen Daten J und $\cos \varphi$ zur Darstellung. Aus Gleichung 9 könnte man bei oberflächlicher Betrachtung den Schluss ziehen, dass für denselben Motor der Betrieb mit Gleichstrom einen kleineren Strom für ein bestimmtes Drehmoment erfordert, als der Betrieb mit Wechselstrom derselben Spannung; dieser Schluss ist deswegen nicht zulässig, weil für gleiche Werte der Klemmenspannung bei Gleichstrom und bei Wechselstrom nicht derselbe Wert ω_n resultieren kann, der in Gleichung 9 einzusetzen ist. Wir wollen den Beweis für die Uebereinstimmung von J als Funktion von D für Gleichstrom und Einphasen-

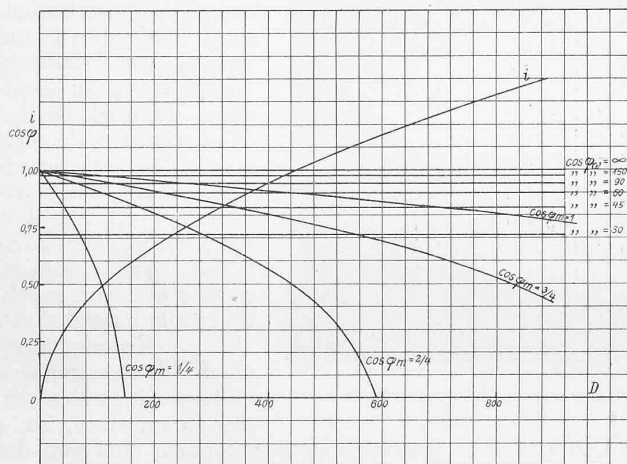


Abb. 3. Kurven der Stromstärke und des Leistungsfaktors.
 i = Stromstärke für Gleich- und Wechselstrom.

strom hier gleich allgemein führen, indem wir den in Gleichung 3 vorkommenden Ausdruck:

$$\left(\frac{P \Phi W}{J} \cdot \frac{1}{\pi} \right) 10^{-8}$$

etwas umformen. Es ist nämlich

$$P \Phi = \pi \cdot d \cdot l \cdot f \cdot \alpha \cdot B \quad \dots \quad 13$$

wobei d der Durchmesser, l die Länge des Motorankers, f einen Wicklungsfaktor, α den Verhältnisfaktor des Polbogens zur Polteilung und B die magnetische Induktion bedeuten. Infolge der angenommenen geradlinigen Magnetisierungscharakteristik ist dann auch:

$$\frac{B}{J} = \frac{10}{4\pi} \cdot \frac{W'}{2 \cdot \delta} \cdot f' \quad \dots \quad 14$$

wenn W' die Windungszahl im Feld, δ der einseitige Luftspalt und f' der Wicklungsfaktor des Feldes ist. Es wird dann:

$$\left(\frac{P \Phi W}{J} \cdot \frac{1}{\pi} \right) 10^{-8} = \pi d l \cdot W' \cdot W' \cdot \frac{10}{4\pi} \cdot \frac{\alpha \cdot f \cdot f'}{2 \delta} 10^{-8} \quad \dots \quad 15$$

Weil auf der rechten Seite dieser Gleichung nur konstante Grössen sind, die für Gleichstrom und Wechselstrom denselben Wert haben, so ist daher für den angenommenen verlustlosen Motor genau dieselbe Stromstärke erforderlich, um ein bestimmtes Drehmoment bei Gleichstrombetrieb und bei Wechselstrombetrieb zu erzeugen.

Zur Darstellung der Stromstärke in Abbildung 3 beziehen wir nun den relativen Stromstärkemasstab auf den dem Normaldrehmoment D_n entsprechenden Normalstrom, den wir gleich 1 setzen.

Wir stellen somit in Abbildung 3 das Verhältnis: $i = \frac{J}{J_n}$ dar als Mass der Stromstärke, wobei wir für Gleichstrom und Wechselstrom dieselbe Kurve erhalten. Der Verlauf

der Kurven $\cos \varphi$ für konstante m und für konstante φ entspricht natürlich vollkommen den Gleichungen 11 und bietet zu keinen weiteren Bemerkungen Anlass.

Wir haben uns nun damit zu befassen, die in der Studie vorgenommenen Abstraktionen einer kritischen Diskussion zu unterwerfen. Die bisher nicht berücksichtigten Energieverluste des Seriemotors setzen sich zusammen aus Geschwindigkeitsverlusten und Drehmomentsverlusten, welche ihr elektrisches Aequivalent in Spannungs- und Stromstärke-Aufwendungen finden. Die Geschwindigkeitsverluste sind bedingt durch den Ohm'schen Widerstand, durch Wirbelstromverluste im Motorkupfer und durch Verluste infolge des zusätzlichen Stromes bei der Kommutation des Armaturstromes; die Gesamtheit dieser Verluste kann schematisch durch einen Ausdruck von der Form: $i^2 \cdot w$ berücksichtigt werden, wobei dann w der sog. effektive Widerstand ist, und $J^2 \cdot w$ in Watt gemessen wird; die entsprechende zusätzliche Spannung ist dann von der Form $J \cdot w$ und ergibt als Funktion von D eine Kurve, deren Ordinaten dem Ausdruck $\sqrt{D}$ proportional sind. Für konstante Werte von w sind daher in Abb. 2 die Kurven für m sinngemäss zu korrigieren bzw. höher zu legen, indem man berücksichtigt, dass $J \cdot w$ die Wattkomponente der Klemmenspannung vergrössert; für den Fall $\omega = 0$ bei Gleichstrom bekommt man die grösste Aenderung, indem die Spannungskurve nun nicht mehr mit der Abszissenachse zusammenfällt, sondern eine analoge m -Kurve ergibt, wie z. B. die für $\omega = 0$ bei Wechselstrom gezeichnete. Für konstante Werte von m sind bei Berücksichtigung der Verluste $J \cdot w$ in Abb. 1 die Kurven für ω sinngemäss zu korrigieren, bzw. tiefer zu legen, indem man berücksichtigt, dass $J \cdot w$ einen Verlust an der Spannungswattkomponente bedeutet. Die Berücksichtigung der wirklichen Magnetisierungscharakteristik, welche keine geradlinige ist, wie wir bisher annehmen, wirkt kompensierend gegen den durch $J \cdot w$ verursachten Abfall der Kurven ω in Abb. 1 und wirkt andererseits auch kompensierend gegenüber der Erhöhung der Kurven m in Abb. 2. Die Berücksichtigung von $J \cdot w$ durch eine Kurve proportional $\sqrt{D}$ ist nun keine strenge infolge der noch zu erörternden Drehmomentsverluste; namentlich ist nicht für $D = 0$ gleichzeitig $J \cdot w = 0$, wenn D das nutzbar abgegebene Drehmoment bedeutet, indem schon für $D = 0$ ein gewisser Strom J und eine gewisse Spannung $J \cdot w$ erforderlich sind. Was nun die Drehmomentsverluste betrifft, so sind dieselben einzuteilen in die magnetischen und elektrischen Verluste im Eisen und in die mechanischen Verluste. Für $\omega = 0$ treten nur die Verluste im Eisen auf und für $\omega > 0$ treten sowohl die Verluste im Eisen als auch die mechanischen Verluste auf. Die Verluste im Eisen zerfallen ihrerseits wieder in Hysteresis- und Wirbelstromverluste und zwar gibt es beim allgemeinen Fall des Wechselstromseriemotors Hysteresisverluste transformatorischer und dynamischer Natur. Für $\omega = 0$ treten nur die Verluste transformatorischer Natur auf, dann sind, wenn mit B wieder die magnetische Induktion im Eisen bezeichnet wird, die Hysteresisverluste proportional $B^{1.6}$ und die Wirbelstromverluste proportional B^2 . Für $\omega > 0$ treten nicht nur die bereits erwähnten transformatorischen Verluste auf, sondern auch die dynamischen Hysteresisverluste, die $B^{1.6} \cdot \omega$ proportional sind, sowie auch die dynamischen Wirbelstromverluste, die $(B \cdot \omega)^2$ proportional sind. Für die Annahme einer geradlinigen Magnetisierungscharakteristik als angenäherte Lösung ist B proportional $\sqrt{D}$ und ω proportional $(\sqrt{D})^{-1} \cdot m \cdot \cos \varphi$. Ist nun ΔJ_e der zusätzliche Strom zur Deckung dieser Eisenverluste, so sind diese Verluste gegeben durch:

$$C_0 \cdot m \cdot \cos \varphi \cdot \Delta J_e$$

und muss dann ΔJ_e aus Einzelbestandteilen bestehen, die als Funktion von D angenähert proportional sind zu:

$\frac{D^{0.8}}{m \cos \varphi}$	für die transformatorische Hysteresis
$\frac{D}{m \cos \varphi}$	für die transformatorischen Wirbelstromverluste
$\frac{D^{0.3}}{m \cos \varphi}$	für die dynamische Hysteresis
$m \cdot \cos \varphi$	für die dynamischen Wirbelstromverluste.

Für die Fälle mit konstanten m wächst nun ΔJ_e mit wachsendem D nicht gleichmässig, wie für die Fälle mit konstanten ω ; es nimmt nämlich $m \cdot \cos \varphi$ für konstante m mit wachsendem D beständig ab, während $m \cdot \cos \varphi$ für konstante ω mit wachsendem D beständig zunimmt. Ein ausgezeichneter Fall, auf den wir hier eintreten wollen, ist gegeben durch $\omega = 0$ und hat praktische Bedeutung wegen der Anlauffrage. Für $\omega = 0$ treten nur die transformatorischen Eisenverluste auf und zwar auch nur beim Wechselstromseriemotor, während für den Gleichstromseriemotor keine Drehmomentsverluste vorhanden sind. Unter Berücksichtigung der Drehmomentsverluste und der Geschwindigkeitsverluste hat man dann für $\omega = 0$ für Wechselstrom die in Abbildung 4 und für Gleichstrom die in Abbildung 5 dargestellten charakteristischen Kurven. Während also beim Gleichstromseriemotor i wie beim verlustlosen Motor verläuft und m nur unbedeutende Werte



Abb. 4.

Abb. 5.

Abb. 6.

annimmt, so sind beim Wechselstromseriemotor die Kurven i und m erheblich verändert gegenüber dem verlustlosen Motor und zwar hauptsächlich für $D = 0$ und für kleine Werte von D . In beiden Fällen kommen für i noch dazu die Abweichungen infolge des nicht geradlinigen Verlaufs der Magnetisierungskurve und für den Wechselstromseriemotor noch die Tatsache, dass infolge der Hysterisis eine kleine Phasenverschiebung zwischen J und Φ besteht, die ebenfalls deformierend auf die Kurve i einwirkt. Für grösser werdende Werte von D nehmen die Unterschiede der i -Kurve beim Wechselstromseriemotor und beim Gleichstromseriemotor beim Anlauf beständig ab, die Unterschiede der m -Kurve dagegen beständig zu. Für die beim Bahnbetrieb vorkommenden grossen Anlaufmomente ist im Stromkonsum also praktisch kein Unterschied zwischen dem Wechselstromseriemotor und dem Gleichstromseriemotor; ein erheblicher Unterschied besteht dagegen bezüglich der Anlaufspannung, wo der Nachteil auf Seiten des Wechselstromseriemotors zu liegen scheint; mit Berücksichtigung dessen, was wir weiter oben hinsichtlich der praktischen Ausführung der Spannungsregulierung auf dem Zuge ausgesagt haben, werden aber die Verhältnisse, und zwar ganz bedeutend, zugunsten des Wechselstromseriemotors modifiziert; die Tatsache der Geschwindigkeits- und der Drehmomentsverluste bringt es nun mit sich, dass für den Anlauf des Wechselstromseriemotors der Leistungsfaktor nicht den theoretischen Wert $\cos \varphi = 0$, sondern einen Wert von etwa 0,4 hat.

Wie bereits erwähnt, haben wir für alle Fälle

$$\omega > 0$$

ausser den bereits besprochenen Eisenverlusten noch mechanische Drehmomentsverluste zu verzeichnen, für die wir, da sie als Reibungsverluste anzusehen sind, einen zusätzlichen Strom ΔJ_r der Reibung einzuführen haben. Für diese Reibungsverluste bestehen nur prinzipielle Unterschiede, je nachdem die Reibung von Zahnradübersetzungen zu berücksichtigen ist oder nicht. Bei Ausschluss von Zahnradern nehmen die Reibungsverluste bei konstantem m mit wachsendem D rasch ab; ΔJ_r , das den Wattverlusten sowie $\frac{1}{m \cdot \cos \varphi}$ proportional ist, wird daher ebenfalls, wenn auch weniger rasch abnehmen. Bei Ausschluss von Zahnradern und konstantem ω bleiben die Reibungsverluste ungefähr konstant; ΔJ_r nimmt dann wegen des wachsendem m etwas ab. Bei Vorhandensein von Zahnradern und bei konstantem m bleiben die Reibungsverluste mit wachsendem D ungefähr konstant oder sie gehen durch ein Minimum hindurch; ΔJ_r nimmt dabei um etwas zu. Bei Vorhandensein von Zahnradern und bei konstantem ω nehmen die Reibungsverluste erheblich zu und noch mehr ΔJ_r . Die gleichzeitige Berücksichtigung der zusätzlichen Ströme ΔJ_e

und ΔJ_r für $\omega > 0$ liefert sowohl für Wechselstrom und Gleichstrom eine i -Kurve, die in Abbildung 6 ersichtlich ist und die für jedes andere ω und jedes andere m ebenfalls etwas anders liegt und beim Wechselstromseriemotor etwas höher als beim Gleichstromseriemotor. Die Berücksichtigung der Geschwindigkeits- und Drehmomentsverluste bringt auch Änderungen in den Kurven von $\cos \varphi$ hervor. Für konstante m verlaufen die Kurven $\cos \varphi$ als Funktionen von m flacher als beim verlustlosen Wechselstromseriemotor und für konstante ω behalten die Kurven $\cos \varphi$ ungefähr den horizontalen Verlauf bei, wogegen sie im absoluten Betrage gewissen Änderungen unterworfen sind.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Berücksichtigung der Verluste und der wirklichen Magnetisierungscharakteristik die Betriebskurven nur unwesentlich ändert mit Ausnahme der Stromstärkekurven für alle ω und der Spannungs- und Geschwindigkeitskurven für kleine Werte von ω und m .

Zum Schlusse wollen wir nun noch den Zusammenhang der wichtigsten Motordimensionen mit dem Normaldrehmoment D_n und den Materialkonstanten des aktiven magnetischen und elektrischen Materials für den verlustlosen und geradlinig magnetisierten Seriemotor zeigen. Im Begriff der magnetischen Induktion B_n haben wir die magnetische Materialkonstante für Normallast bereits kennen gelernt und als elektrische Materialkonstante für Normallast führen wir mit Q_n den Begriff des linearen Armaturstromvolumens für 1 cm Umfang für Normalbelastung ein, wie folgt:

$$Q_n = \frac{J_n \cdot W}{2 \pi d} \quad \dots \quad 16$$

Die Einführung dieses Wertes in Gleichung 2 ergibt:

$$D_n = \frac{Q_n \cdot 2 \cdot \pi d}{W} \cdot \frac{P \Phi_n W}{\pi} \cdot \frac{10^{-8}}{9,81} = \frac{\pi d^2 l \cdot \alpha \cdot f \cdot B_n Q_n}{2} \cdot \frac{10^{-8}}{9,81}$$

unter Berücksichtigung von Gleichung 13.

Definieren wir nun

$$V_1 = \frac{\pi \cdot d^2 l}{D_n} \quad \dots \quad 17$$

als das Armaturvolumen pro Einheit des Normaldrehmoments, so folgt:

$$V_1 = \frac{1}{\alpha \cdot f \cdot B_n \cdot Q_n} \cdot \frac{9,81}{2} 10^8 \quad \dots \quad 18$$

Da auf der rechten Seite dieser Gleichung nur konstante Grössen vorkommen, so ist daher — mit unwesentlichen Einschränkungen — für alle Traktionsmotoren das Armaturvolumen ohne weiteres aus dem Normaldrehmoment angebar. Ein gewisser Unterschied ist indessen noch für Gleichstrom- und Wechselstromseriemotoren zu beachten.

Für Gleichstromseriemotoren sind B_n und Q_n in der in der Gleichstromtechnik üblichen Weise definiert und wird in diesem Falle:

$$V_1 = 300 \text{ cm}^3 \text{ pro } \text{mkg}$$

ein üblicher Mittelwert sein.

Für Wechselstromseriemotoren sind B_n und Q_n Effektivwerte und dürfen sie nicht so hoch gewählt werden, wie im Falle der Gleichstromseriemotoren; es wird in diesem Falle:

$$V_1 = 400 \text{ cm}^3 \text{ pro } \text{mkg}$$

ein brauchbarer Mittelwert sein. Die Angaben beziehen sich auf vollkommen geschlossene und ohne Kühlvorrichtungen versehene Motoren. Bei Anlage künstlicher Luftkühlung können diese Zahlen niedriger gemacht werden, d. h. es kann also ein bestimmtes Motormodell höher beansprucht werden.

Zusammenfassung.

Für den verlustlosen und geradlinig magnetisierten Seriemotor für Gleichstrom und Wechselstrom wird die Berechnungsweise der Betriebskurven aus der Annahme einer nominellen Normalleistung und Normalgeschwindigkeit gezeigt und dieselben an Hand eines Zahlenbeispiels für den Betrieb mit Gleichstrom und mit Wechselstrom durchgerechnet und besprochen. Es werden dann die Korrekturen für den mit Verlusten und mit einer wirklichen

Magnetisierungscharakteristik behafteten Seriomotor für die Fälle des Betriebs mit Gleichstrom und mit Wechselstrom erläutert.

Es wird gezeigt, dass für die Bedürfnisse der elektrischen Traktion der Wechselstromseriomotor dem Gleichstromseriomotor ganz bedeutend überlegen ist.

Die Bebauungspläne für das Spitalackerfeld in Bern.

Bei Anlass des Baues der Kornhausbrücke in Bern überliess die Bürgergemeinde das ihr gehörende „Spitalackerfeld“ der Einwohnergemeinde als Beitrag an die Kosten der Brücke zur Grundsteuerzuschätzung, die damals sehr niedrig bemessen war. Durch Ankauf des sog. Mosergutes und der Waldheimbesitzung wurde der Gemeindebesitz auf dem Spitalacker noch erweitert und arrondiert. Ein Ge-

Strassenzüge gebogene Strassen anzulegen seien und ob im Hauptstrassenzug, der Viktoriastrasse, Arkaden (Lauben) wie in der Altstadt vorgeschrieben werden sollen.

Der bernische Ingenieur- und Architekten-Verein kam dem Wunsche des Gemeinderates nach, indem er zunächst eine Spezialkommission, bestehend aus fünf Architekten, aus seiner Mitte mit der Behandlung und Vorberatung der Angelegenheit betraute. Auf Grund eines von dieser Kommission ausgearbeiteten Programmes wurde eine allgemeine Umfrage unter Vereinsmitgliedern angeordnet, auf die von acht Vereinsmitgliedern Pläne eingingen. Diese wurden von der Kommission durchberaten und aus sämtlichen Plänen die guten Gedanken in einem *neuen Projekt* vereinigt, dessen Grundlage der Entwurf des Kommissionspräsidenten Architekt *Hodler* bildete, der als ehemaliger Baudirektor der Stadt mit den in Bern herrschenden Verhältnissen bestens bekannt ist. Die Kommission war dabei von dem Bestreben geleitet, dem Gemeinderat nicht nur ein akademisches Ideal-

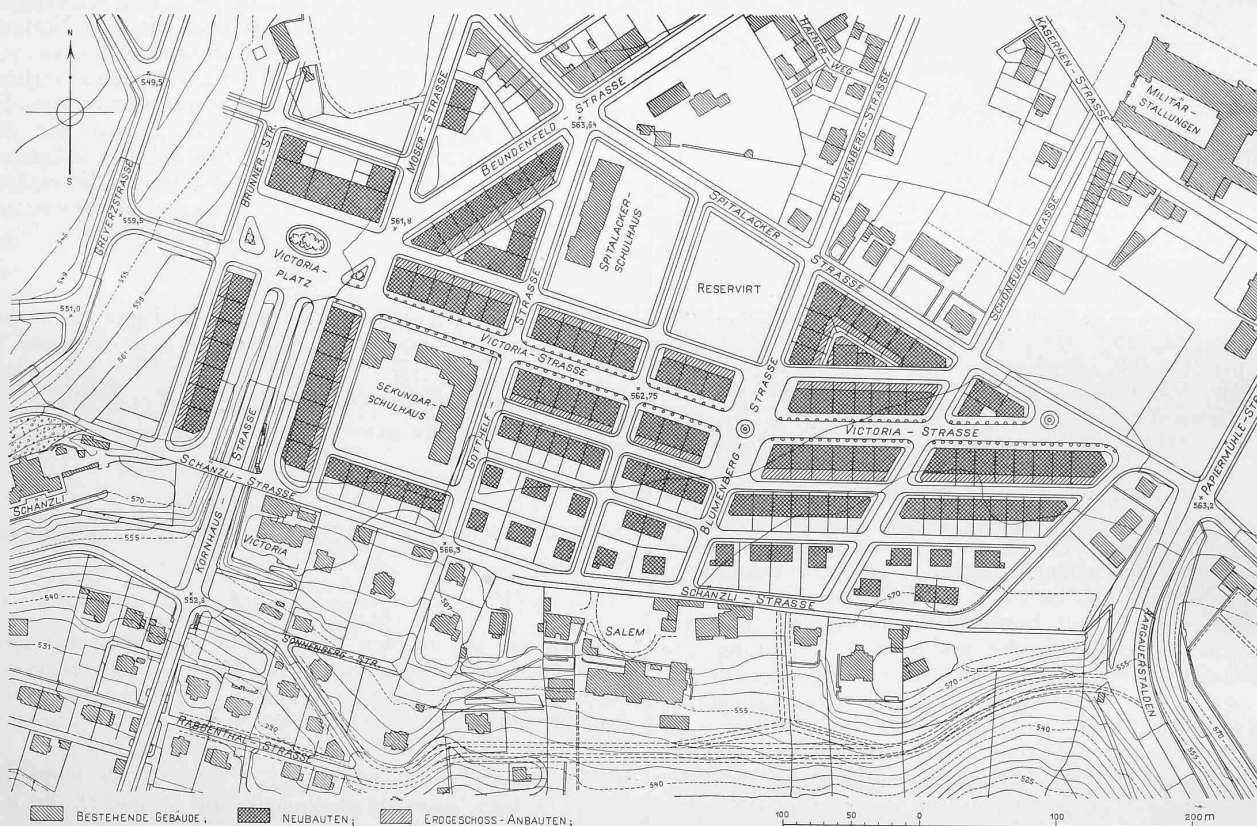


Abb. 1. Projekt der städtischen Baudirektion.

meindebeschluss bestimmt, dass der Erlös aus dem Verkauf dieser Gelände zur Tilgung der Kosten der Kornhausbrücke verwendet werden soll. Zum Zwecke, den Verkauf des Landes zu befördern, sind nun seitens der städtischen Baudirektion verschiedene Bebauungsprojekte für dieses Gelände aufgestellt worden, von denen der Gemeinderat schliesslich eines als seinen Absichten entsprechend genehmigte. Als nun aber auf Grund von Unterhandlungen mit Privaten dem Stadtrat Ende des letzten Jahres der Verkauf einiger dieser Quartiere beantragt wurde, stiess dieser Antrag im Schosse des Stadtrates auf Widerspruch. Der den Unterhandlungen zugrunde liegende Bebauungsplan wurde beanstandet, das Geschäft zurückgewiesen und der Gemeinderat eingeladen, den Bebauungsplan Fachkollegien zur Begutachtung zu unterbreiten. Der Gemeinderat beauftragte infolgedessen einerseits die städtische Sanitätskommission mit dem Studium der Frage von ihrem Standpunkt aus und ersuchte anderseits den bernischen Ingenieur- und Architekten-Verein um eine Begutachtung des Planes, besonders aber der beiden, die Hauptangriffspunkte gegen den vorgelegten Stadtplan bildenden Fragen: ob an Stelle der vorgesehenen geraden

projekt zu liefern, sondern einen Entwurf, der von der Stadt auch verwirklicht werden könne. Sie hatte den Leitsatz vor Augen, „dass ein Bebauungsplan stets nur das Ergebnis eines Kompromisses sein kann zwischen den Anforderungen des Verkehrs, der Bebauung, der Aesthetik und der Wirtschaftlichkeit“.

Zugleich mit diesem neuen Bebauungsplan arbeitete die Kommission noch ausführliche *Bedingungen zum Verkaufe der Terrainparzellen* aus. Diese enthalten Vorschriften über die Einhaltung der Alignements, die Höhe der Bauten, die Tiefenmasse der Gebäude, die Ausnutzung des Vorgeländes zu Vorgärten oder Trottoirs, die Grösse, bezw. Breite der Parzellen, den Verkauf der Parzellen im Innern der grossen Hofanlagen und das Verbot, Wohnungen an den Arkaden einzurichten, sowie irgendwelche Gegenstände in den Arkaden auszustellen oder zu legen. In den Verkaufsbedingungen wird ferner unabhängig von der baupolizeilichen Beurteilung der städtischen Baudirektion die Genehmigung der Grundriss- und Fassaden-Pläne vorbehalten und ausserdem noch verlangt, dass diese Vorschriften beim Verkauf der Parzellen, soweit sie das Kaufobjekt betreffen und die