Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 67/68 (1916)

Heft: 17

Artikel: Neuere Studien über die Schwankungen des Kraftbedarfs der elektrischen Zugförderung

Autor: Kummer, W.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-32998

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: 12.12.2025

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

INHALT: Neuere Studien über die Schwankungen des Kraftbedarfs der elektrischen Zugförderung. — Wettbewerb für ein Kollegienhaus der Universität Basel. — Die deutschen Vorschriften für Ausführung von Bauwerken aus Eisenbeton. — Die Korrektion der Pierre-Pertuis-Strasse. — Baubudget der Schweizerischen Bundesbahnen für 1916. — Nekrologie: H. Baur. — Miscellanea: Bewässerung der Golodnaya-Steppe in Turkestan. Regierungsratswahl in Luzern. Ueber Dachgärten in Berlin. Vorträge über Musik an der Technischen Hochschule Dresden. Linthkanal. Kantonales Verwaltungsgebäude in Basel. — Konkurrenzen: Neubau des Kaufhauses (Postfiliale) in Aarau. Hotel de district au Locle. — Literatur: Die Maschinenlehre der elektrischen Zugförderung. Zweiter Bericht der Kommission für Hochspannungsapparate und Brandschutz. — Vereinsnachrichten: Gesellschaft ehemaliger Studierender der Eidg. Technischen Hochschule: Stellenvermittlung.

Band 67. Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet. **Nr. 17.**

Neuere Studien über die Schwankungen des Kraftbedarfs der elektrischen Zugförderung.

Von Prof. Dr. *W. Kummer*, Ingenieur, Zürich [1]).

Dass sich die Aufstellung von Bauprojekten und die Vorausberechnung von Betriebskosten bei Maschinenanlagen mit grossen und unregelmässigen Schwankungen der Leistung besonders schwierig gestalten, hat man in den Jugendjahren der Starkstrom-Elektrotechnik, anlässlich der Entwicklung der ersten grösseren „elektrischen Zentralanlagen" in eindrucksvollem Masse erfahren können. Aus dieser Epoche stammt aber auch schon die wertvolle Studie von *Wilh. Lynen* „Ein Beitrag zur Bestimmung der Betriebskosten bei einem Elektrizitätswerk" [2]), die durch die Mitteilung einer zuverlässigen Berechnungsmethode, auf Grund der Ordnung der Leistungen nach ihrer Grösse, schon unschätzbare Dienste für die Projektierung von industriellen Zentralbetrieben mit schwankenden Leistungen, also auch elektrischer Bahnen, geleistet hat. Zum Gebrauche dieser Methode ist jedoch das Vorliegen eines Bildes der im Betriebe zu erwartenden Leistungen, ein Tages-, Monats- oder Jahres-Diagramms, das z. B. den Ergebnissen ähnlicher, ausgeführter Anlagen entstammen kann, vorausgesetzt; einem solchen Bilde können dann ohne weiteres auch die massgebenden Zahlenwerte der Schwankung, der Verhältniswert des Leistungsmaximums durch das Leistungsmittel, im Tagesbetrieb und im Jahresbetrieb entnommen werden.

Bei der Projektierung der Einführung des elektrischen Betriebes auf Bahnen, wie sie in gleicher Art oder im gleichen Umfang noch nicht elektrisch betrieben werden, müssen solche Leistungsdiagramme vollständig vorausberechnet werden. Dass man hierbei gelegentlich sehr ungleiche Verhältniswerte der Schwankung für eine und dieselbe Anlage errechnen kann, hat sich anlässlich der Arbeiten der „Schweiz. Studienkommission für elektrischen Bahnbetrieb" ergeben, indem für den Betrieb aller Bahnen der Schweiz zuerst mit einem Schwankungswert 5 : 1 [3]), später mit einem solchen von 3,2 : 1 [4]) gerechnet wurde; der Grund der verschiedenen Rechnungsergebnisse liegt, wie vom Verfasser übrigens schon in einer frühern Veröffentlichung mitgeteilt wurde [5]), im wesentlichen in einem Wechsel der grundlegenden Annahmen über die Geschwindigkeits- und Beschleunigungs-Verhältnisse.

Angesichts der grossen Bedeutung, die die rasche und zuverlässige Ermittlung der Verhältniswerte der Leistungsschwankung aufweist, hat der Verfasser, wie der folgenden Darstellung zu entnehmen ist, den Versuch unternommen, die auf das Schwankungsverhältnis der Leistungen einwirkenden Faktoren einer näheren Betrachtung zu unterziehen.

1. *Allgemeine Beziehungen.*

Die Bahnlinie oder das Bahnnetz, dessen Schwankungsverhältnis der Leistungen in verschiedenen Betriebsstadien zu ermitteln sei, möge einen Jahresverkehr in *tkm* des Gesamtzugsgewichtes vom Betrage Q aufweisen. Bei 8760 Gesamtstunden des Jahres folgt mit:

$$P = \frac{Q}{8760}$$

der Verkehr an *tkm* während einer Stunde, also eine in *tkm/h* gemessene Grösse. Wir bezeichnen nun mit $\overline{z}$ die durchschnittliche Zugkraft am Radumfang, ausgedrückt in *kg/t* und verstanden als effektiv der, von der motorischen Ausrüstung der Züge entwickelten, mechanischen Durchschnittsarbeit entsprechend. Damit erhalten wir für die zusammengerechnete, durchschnittliche mechanische und in *PS* ausgedrückte Leistung am Radumfang aller ausgeführten Züge:

$$\overline{L} = \frac{P \cdot \overline{z}}{270}$$

Es kann jetzt P durch die wirkliche oder fiktive durchschnittliche Zugszahl $\overline{n}$, von auf der Strecke befindlichen, mit einer durchschnittlichen kommerziellen Geschwindigkeit $\overline{v}$ in *km/h* und einem durchschnittlichen Gesamtgewichte $\overline{G}$ in *t* behafteten Zügen ausgedrückt werden, gemäss:

$$P = \overline{n} \cdot \overline{G} \cdot \overline{v}$$

Dann wird: $$\overline{L} = \frac{\overline{n} \cdot \overline{G} \cdot \overline{v} \cdot \overline{z}}{270}.$$

Im Zeitpunkte des Auftretens der zusammengerechneten Maximalleistung am Radumfang aller auf der Strecke befindlichen Züge geben wir den geänderten Grössen der Zugszahl, des Gewichts pro Tag, der Geschwindigkeit und der Zugkraft pro *t* den Index *m* und schreiben:

$$L_{max} = \frac{n_m \cdot G_m \cdot v_m \cdot z_m}{270}.$$

Als Schwankungsverhältnis der Leistung am Radumfang lässt sich nun definieren:

$$k = \frac{L_{max}}{\overline{L}}$$

und folgt:

$$k = \frac{n_m \cdot G_m}{\overline{n} \cdot \overline{G}} \cdot \frac{v_m \cdot z_m}{\overline{v} \cdot \overline{z}} = k_1 \cdot k_2$$

bei den Ansätzen:

$$\frac{n_m \cdot G_m}{\overline{n} \cdot \overline{G}} = k_1; \quad \frac{v_m \cdot z_m}{\overline{v} \cdot \overline{z}} = k_2.$$

Mit Hülfe dieser Ansätze wird k somit zerlegt in ein Schwankungsverhältnis k_1 der Bruttotonnen an Gesamtzugsgewicht und in ein Schwankungsverhältnis k_2 der in *PS/t* dargestellten Einheitsleistungen; der Zähler des Verhältnisses k_1 hat den Charakter eines Momentangewichtes, der Nenner den eines Durchschnittsgewichtes. Analog ist der Zähler von k_1 eine Momentan-Einheitsleistung, der Nenner von k_1 eine durchschnittliche Einheitsleistung.

Von Bedeutung ist nun der Einfluss einer Aenderung der Verkehrsgrösse, die offenbar die zwei Faktoren k_1 und k_2, aus denen die praktisch bedeutungsvolle Grösse k zusammengesetzt ist, in ungleichem Masse beeinflusst. Auf Grund der Lehren der statistischen Mechanik lässt sich die Vermutung aussprechen, dass k_2 innerhalb der im praktischen Betrieb zu erwartenden Verkehrsschwankungen mit der Verkehrsgrösse nur unwesentlich verknüpft ist, während anderseits k_1 in ausgesprochenem Masse mit der Verkehrsgrösse zusammenhängt, derart, dass für eine bestimmte Bahnlinie, bezw. für ein bestimmtes Bahnnetz, die Veränderlichkeit von k im wesentlichen durch die Veränderung im Faktor k_1 bestimmt sein würde. In dem, nach

[1]) Nach dem Vortrag des Verfassers vor dem „Technischen Verein Winterthur", am 21. Januar 1916 (vergl. Protokoll S. 92 dieses Bandes).

[2]) Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure 1895, Seite 1225.

[3]) Vergl. die „Mitteilung Nr. 1" der „Stud.-Komm. f. e. B." in Band XLVIII, Seite 189 ff. (20. u. 27. Okt. 1906), insbesondere Seite 206.

[4]) Vergl. den „Auszug aus der Mitteilung Nr. 4" der „Stud.-Komm. f. e. B." in Band LX", Seite 235 ff. (2. Nov. 1912), insbesondere Seite 240.

[5]) Vergl. „Der Kraftbedarf der Gotthardbahn usw." in Band LIX, Seite 127 ff. (9. u. 16. März 1912).

Erörterung der „Allgemeinen Beziehungen", behandelten Zahlenbeispiele findet sich für die Richtigkeit der hier ausgesprochenen Vermutung ein umfangreiches Belegmaterial.

Die weitaus grössere Bedeutung, als sie dem Schwankungsverhältnis der Leistung am Radumfang eignet, muss dem Schwankungsverhältnis der Leistung an den Fahrleitungs-Speisepunkten oder gar an den Sammelschienen der Kraftwerke beigemessen werden. Es seien an einem solchen Orte die mittleren, bezw. maximalen Leistungen mit L_τ, bezw. $(L_{max})_\tau$ bezeichnet, wobei der Index τ auf die zwischen dem Radumfang und dem nunmehr betrachteten Ort der Leistungs-Feststellung bestehenden und mit Energieverlusten verbundenen Energietransformationen hinweisen soll; die für diese Energieverluste und Energietransformationen massgebenden Wirkungsgrade seien analog mit $\overline{\eta}_\tau$, bezw. mit $\eta_{m\tau}$ eingeführt. Es kann dann das Schwankungsverhältnis der Leistung für den nunmehr betrachteten Ort der Leistungs-Feststellung geschrieben werden:

$$k_\tau = \frac{(L_{max})_\tau}{\overline{L}_\tau} = \frac{\frac{1}{\eta_{m\tau}} \cdot n_m \cdot G_m \cdot v_m \cdot z_m}{\frac{1}{\overline{\eta}_\tau} \cdot \overline{n} \cdot \overline{G} \cdot \overline{v} \cdot \overline{z}} = \frac{\overline{\eta}_\tau}{\eta_{m\tau}} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot$$

Durch Einführung des Verhältniswertes:

$$k_\eta = \frac{\eta_{m\tau}}{\overline{\eta}_\tau}$$

folgt dann:

$$k_\tau = \frac{1}{k_\eta} \cdot k_1 \cdot k_2 = \frac{k}{k_\eta} \cdot$$

Selbstverständlich ist stets:

$$k > 1$$

Anderseits ist ohne weiteres auch anzunehmen, dass:

$$k_\eta > 1$$

sei, so dass allgemein gültig folgen wird:

$$k_\tau < k.$$

Für die Ermittlung des in Betracht fallenden Zahlenwertes von:

$$k_\eta = \frac{\eta_{m\tau}}{\overline{\eta}_\tau}$$

ist zu beachten, dass der Zähler sich auf einen Momentanzustand, der Nenner dagegen auf einen Durchschnittszustand bezieht, analog, wie wir dies schon für die Grössen k_1 und k_2 feststellen konnten. Für die Ermittlung der Werte $\eta_{m\tau}$ und $\overline{\eta}_\tau$ leistet nun die bereits erwähnte Methode von Lynen gute Dienste, wie im nachfolgenden Zahlenbeispiel näher gezeigt werden soll.

Je weiter der neue Ort der Leistungs-Feststellung vom Radumfang entfernt ist, bezw. je grösser die Summe der zwischen jenem Ort und dem Radumfang bestehenden Gesamtverluste an Leistung ausfällt, umso kleiner wird k_τ, das sich im Grenzfall auf den Wert 1 erniedrigen würde.

2. *Untersuchung der Schwankungen des Kraftbedarfs für den Kreis II der Schweizerischen Bundesbahnen.*

Für das von der „Schweizerischen Studienkommission für elektrischen Bahnbetrieb" vorgelegte Projekt der Elektrifizierung des S. B. B.-Kreises II hatte der Verfasser im Jahr 1911 umfangreiche Berechnungen des Kraftbedarfs am Radumfang auszuführen, deren hauptsächlichste Ergebnisse in dem betreffenden Projekt niedergelegt sind. Vor Kurzem hat nun der Verfasser, im Zusammenhang mit der Formulierung der „allgemeinen Beziehungen" im vorstehenden Abschnitte, seine Kraftbedarfs-Berechnungen von 1911 weiter entwickelt und zugleich einige neue bezügliche rechnerische Untersuchungen angestellt, deren Ergebnisse in gewisser Hinsicht verallgemeinert werden können und daher auch für weitere Kreise von Interesse sein dürften. Aus diesem Grunde gelangen die vorliegenden Untersuchungen zur Veröffentlichung, wobei, zwecks deren leichtern Verständnisses, auch über die Grundlagen des

I. Uebersicht der Annahmen über Zugszahlen und Anhängegewichte der Züge.

Teilstrecken	Durchschnittsverkehr						Maximalverkehr					
	Schnellzüge		Personenzüge		Güterzüge		Schnellzüge		Personenzüge		Güterzüge	
	Mittleres Gewicht	Zugszahl	Mittleres Gewicht	Zugszahl	Mittleres Gewicht	Zugszahl	Mittleres Gewicht	Zugszahl	Mittleres Gewicht	Zugszahl	Mittleres Gewicht	Zugszahl
	t		*t*		*t*		*t*		*t*		*t*	
Olten-Basel-Olten*)	250	34	150	25	430	43	270	42	170	25	450	51
Olten-Luzern-Olten*)	250	19	160	16	295	9	270	26	185	16	300	13
Olten-Bern-Olten*)	290	21	180	19	325	20	310	24	210	19	340	24
Bern-Thun-Bern	220	12	170	15	265	10	240	19	180	19	280	14
Bern-Langnau-Bern	130	9	135	12	200	8	140	9	140	14	220	10
Langnau-Luzern-Langnau*)	130	9	135	10	220	9	140	9	140	14	240	13
Olten-Solothurn-Olten	290	8	175	16	390	21	320	11	200	16	400	29
Solothurn-Biel-Solothurn	290	8	170	18	360	15	320	11	180	18	380	20
H.-Buchsee-Solothurn-H.-Buchsee	—	—	130	15	160	4	—	—	160	17	180	8
Solothurn-Lyss-Solothurn	—	—	130	12	370	6	—	—	155	14	390	10
Bern-Biel-Bern	110	10	150	17	290	9	130	11	150	18	300	11
Biel-Sonceboz-Biel	160	15	130	19	280	22	160	17	135	19	390	25
Sonceboz-Chaux-de-Fonds-Sonceboz	110	6	120	20	180	10	130	6	140	20	210	11
Sonceboz-Delsberg-Sonceboz	205	9	110	10	305	22	210	11	110	10	310	25
Delsberg-Delle-Delsberg	210	6	135	13	300	20	220	9	150	13	310	25
Delsberg-Basel-Delsberg	245	10	140	18	365	22	250	14	150	18	370	27

*) Einzelne Personenzüge nur auf Bruchteilen der betreffenden Teilstrecken.

II. Ansätze für die Verhältnisse der freien Fahrt.

Steigung in ‰	Schnellzüge			Personenzüge			Güterzüge		
	Geschwindigkeit in *km/h*	Effekt *PS/t* für $R = \infty$	Effekt *PS/t* für $R = 300$ m	Geschwindigkeit in *km/h*	Effekt *PS/t* für $R = \infty$	Effekt *PS/t* für $R = 300$ m	Geschwindigkeit in *km/h*	Effekt *PS/t* für $R = \infty$	Effekt *PS/t* für $R = 300$ m
0	90	3,2	4,1	75	2,1	2,8	45	0,7	1,1
5	80	3,9	4,6	70	3,1	3,7	45	1,5	2,0
10	70	4,4	5,0	60	3,5	4,1	45	2,4	2,8
15	60	4,6	5,2	56	4,2	4,8	40	2,8	3,2
20	55	5,1	5,7	53	4,9	5,4	37	3,2	3,6
25	50	5,5	6,0	50	5,5	6,0	35	3,6	3,9

III. Ansätze für die Anfahrverhältnisse.

Steigung in ‰	Schnellzüge			Personenzüge			Güterzüge		
	Anfahrendgeschwind.	Mittlere Beschleunigung	Maximaleffekt	Anfahrendgeschwind.	Mittlere Beschleunigung	Maximaleffekt	Anfahrendgeschwind.	Mittlere Beschleunigung	Maximaleffekt
	km/h	*m/sek²*	*PS/t*	*km/h*	*m/sek²*	*PS/t*	*km/h*	*m/sek²*	*PS/t*
0	90	0,16	5,5	75	0,25	6,0	45	0,10	2,0
5	80	0,16	5,5	70	0,25	6,0	45	0,10	2,4
10	70	0,16	5,5	60	0,25	6,0	45	0,10	2,9
15	60	0,16	5,5	56	0,25	6,0	40	0,10	3,3
20	55	0,16	6,0	53	0,25	6,0	37	0,10	3,7
25	50	0,16	6,0	50	0,25	6,5	35	0,10	4,2

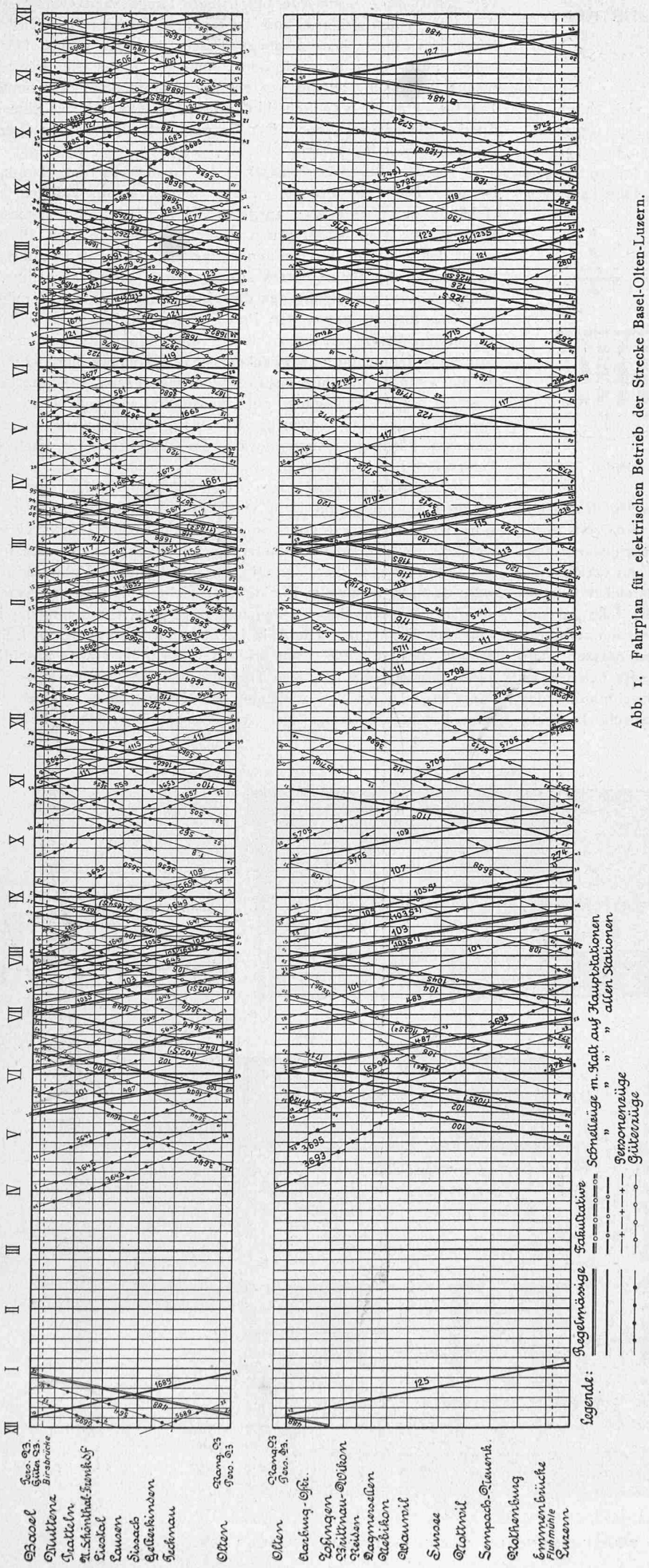

Abb. 1. Fahrplan für elektrischen Betrieb der Strecke Basel-Olten-Luzern.

Anmerkungen: Für die Strecke Basel-Pratteln sind die Züge des S. B. B.-Kreises III (Richtungen Stein-Koblenz und -Brugg-Zürich) weggelassen.

Auf der Strecke Tecknau-Olten ist die (nicht eingezeichnete) Blockstation im Hauenstein-Basistunnel berücksichtigt, wie aus der Zugsdichte z. B. der 8_h Vorm.-Gruppe Basel-Olten zu erkennen.

Elektrifizierungsprojektes für den S. B. B.-Kreis II etwas mehr gesagt werden muss, als aus der knappen Veröffentlichung in der „Mitteilung Nr. 4" der Studienkommission[1]) ersichtlich ist.

Projektgrundlagen. Wie für die Ermittlung des Kraftbedarfs der Gotthardbahn,[2]) so wurden auch, für die Ermittlung des Kraftbedarfs des S. B. B.-Kreises II, im Fahrplan eines zukünftigen elektrischen Betriebes ein durchschnittlicher und ein maximaler Verkehr unterschieden und auf Grund der Betriebsergebnisse von 1908 durch Extrapolation hinsichtlich Zugszahl und Zugsgewicht die in der Tabelle I (S. 200) niedergelegten Annahmen getroffen. Nach Wahl der massgebenden Geschwindigkeitsskala, von der noch die Rede sein wird, konnte hierauf die Aufstellung des Fahrplans, in möglichster Anlehnung an bestehende Verhältnisse, erfolgen; es gibt Abb. 1 eine Probe dieses Fahrplans, nämlich die wichtige Gotthard-Zufahrtsstrecke Basel-Olten-Luzern, bei der bereits der neue Hauenstein-Basistunnel zu Grunde gelegt, und die alte Hauensteinlinie als aufgegeben vorausgesetzt ist.

Für die Führung der Züge, deren Anhänge-Gewichte der Tabelle 1 zu entnehmen, sind im allgemeinen Lokomotiven, und nur für den Personendienst einzelner weniger Vorortzüge, sowie der Linien „Herzogenbuchsee-Solothurn" und „Solothurn-Lyss" Motorwagen vorgesehen worden. Die damit entstehenden Verkehrsmengen an *tkm* des Gesamtzugsgewichts verhalten sich im Durchschnittsverkehr und im Maximalverkehr wie 3 : 4 und sind als Jahresbeträge streckenweise in der später folgenden Tabelle IV angegeben. Durch die bereits erwähnte Wahl einer Geschwindigkeitsskala, im Zusammenhang mit den verschiedenen in Betracht fallenden Steigungsstufen, sind gleichzeitig die Effekte am Radumfang in PS/t für freie Fahrt und Anfahrt, letztere übrigens auch noch im Zusammenhang mit den Beschleunigungsverhältnissen, mitbetroffen. In grundsätzlicher Uebereinstimmung mit dem, was für die Berechnung des Kraftbedarfs der Gotthardbahn angenommen wurde, kamen für jene des S. B. B.-Kreises II die für diesen Bahnkreis nur unwesentlich modifizierten Ansätze gemäss den Tabellen II und III zur Anwendung. (Schluss folgt.)

[1]) Vergl. den „Auszug aus der Mitteilung Nr. 4" in Bd. LX, S. 235 ff. (2. November 1912), insbesondere Seite 239.

[2]) Vergl. „Der Kraftbedarf der Gotthardbahn usw." in Band LIX, Seite 127 ff. (9. und 16. März 1912).