

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 65/66 (1915)
Heft: 24

Artikel: Die massgebenden Gesichtspunkte bei der Systemwahl der elektr. Zuförderung
Autor: Kummer, W.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-32329>

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: 04.02.2026

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

Die Kuvert-Eröffnung ergab als Verfasser:
 Motto „Herbst 1915“: *Möri & Krebs*, Architekten.
 Motto „Sonne dem Alter“: *Theodor Nager*, Architekt.
 Motto „Im Sali“: *C. Suter*, Architekt.
 Motto „Ost-Süd-West-Lage“: *Theiler & Helber*, Arch.
 Motto „Mittagssonne“: *C. Suter*, Architekt.

Der dem 5. Preis zuge dachte Barbetrag wurde nachträglich, da Architekt C. Suter Verfasser von zwei prämierten Projekten ist, unter die vier andern mit Preisen ausgezeichneten Arbeiten verteilt.

Dieses Urteil ist in der Schweizer. Bauzeitung zu veröffentlichen. Es wird ausserdem anlässlich der öffentlichen Ausstellung der Projekte aufliegen.

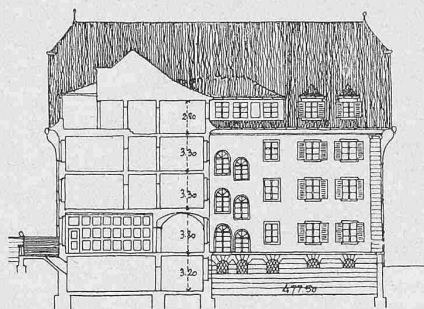
Lucern, den 22. Oktober 1915.

Das Preisgericht:

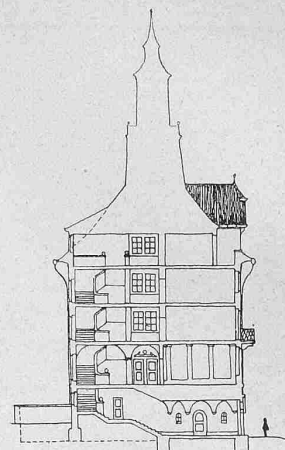
Arch. A. Cattani, Präsident;
 O. Balthasar, Kantonsbaumstr.; D. Keiser, Arch., Zug;
 H. Halter, Direktor des Bürgerasyls;
 B. Räber-Zemp, Direktor der Waisenanstalt.

II. Preis. Entwurf Nr. 9. — Motto „Sonne dem Alter“.

Schnitte und Grundriss 1:600.



SCHNITT A-B.



SCHNITT E-F.

Die massgebenden Gesichtspunkte bei der Systemwahl der elektr. Zugförderung.

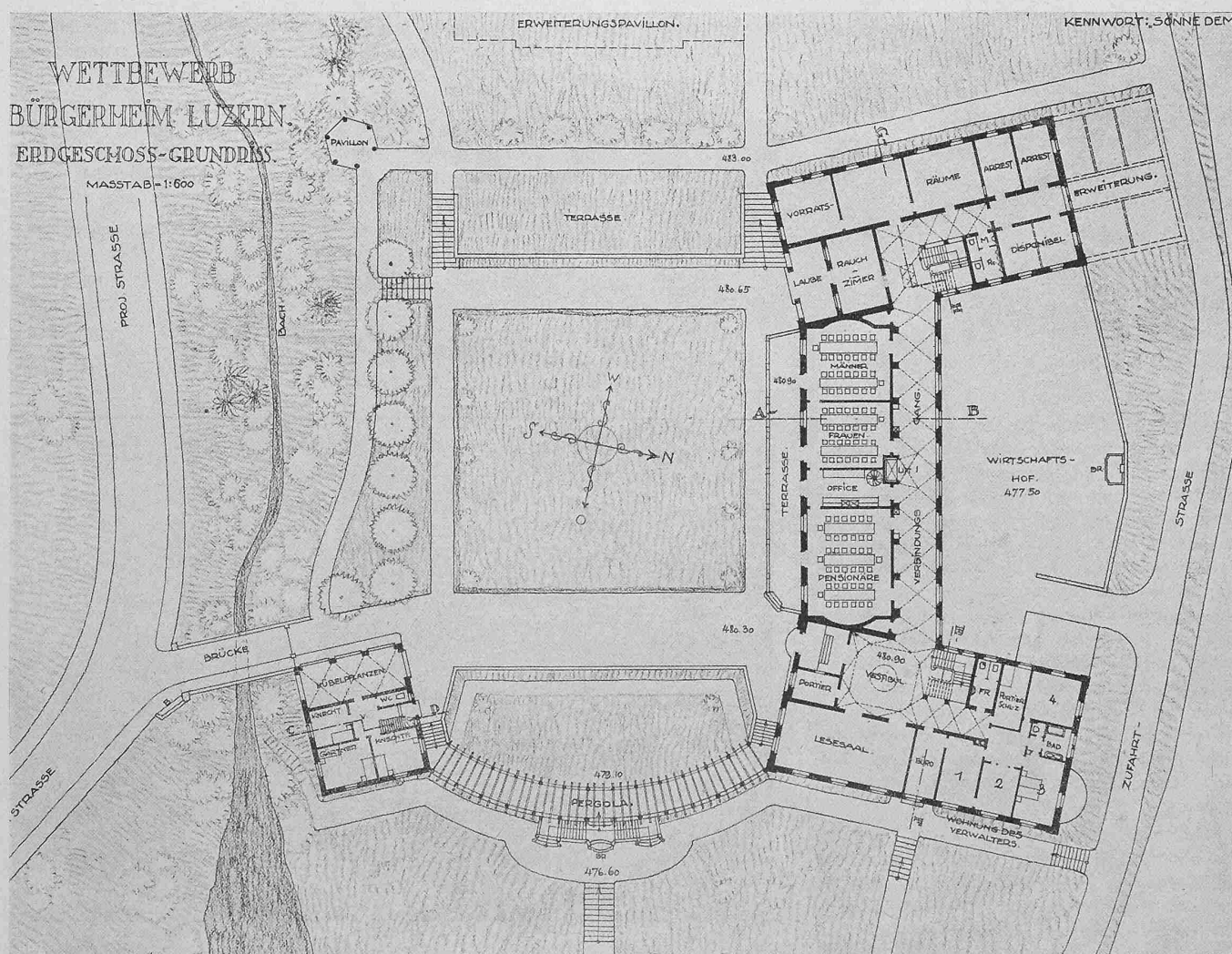
Von Prof. Dr. W. Kummer, Ingenieur, Zürich.¹⁾

Angeichts der noch ausstehenden Entscheidung in der Systemwahl für die elektrische Zugförderung auf den Linien der Schweizerischen Bundesbahnen im allgemeinen, auf der zunächst in Aussicht genommenen Gotthardstrecke Erstfeld-Bellinzona im besondern, erscheint es angezeigt, die massgebenden Gesichtspunkte, unter denen die Systemwahl der elektrischen Zugförderung zu betrachten ist, einer nochmaligen unparteiischen und kritischen Erörterung zu unterwerfen und insbesondere auch darzulegen, inwieweit die

von der „Schweizerischen Studienkommission für elektrischen Bahnbetrieb“ seinerzeit behandelten Gesichtspunkte der Ergänzung und Berichtigung bedürfen, von der kürzlich in der Tagespresse die Rede war²⁾.

¹⁾ Als Vortrag vom Verfassers vor dem «Zürcher Ingenieur- und Architekten-Verein», gehalten am 8. Dezember 1915.

²⁾ Man vergleiche den von Ing. W. Boveri in der «N. Z. Z.» vom 17. und 18. November 1915 (Nr. 1545 und 1551) veröffentlichten Aufsatz «Die Elektrifizierung der Bundesbahnen und die Systemsfrage». Red.



Wettbewerb für ein Bürgerheim in Luzern.

II. Preis, Entwurf Nr. 9. — Arch. Theodor Nager, Luzern.

Südfassade und Grundrisse 1 : 600.



SÜDFASSADE.

1. Der Abstand der Fahrleitungs-Speisepunkte.

Als erster Gesichtspunkt muss der Abstand der Fahrleitungs-Speisepunkte zur Behandlung kommen, der für die Anwendbarkeit der elektrischen Zugförderung in wirtschaftlicher Hinsicht an erster Stelle steht. Bekanntlich ist der Abstand der Fahrleitungs-Speisepunkte insbesondere von der Fahrspannung und der Verkehrsdichte abhängig. Nach der Literatur ist die Abhängigkeit dieses Abstandes von

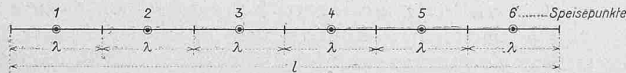
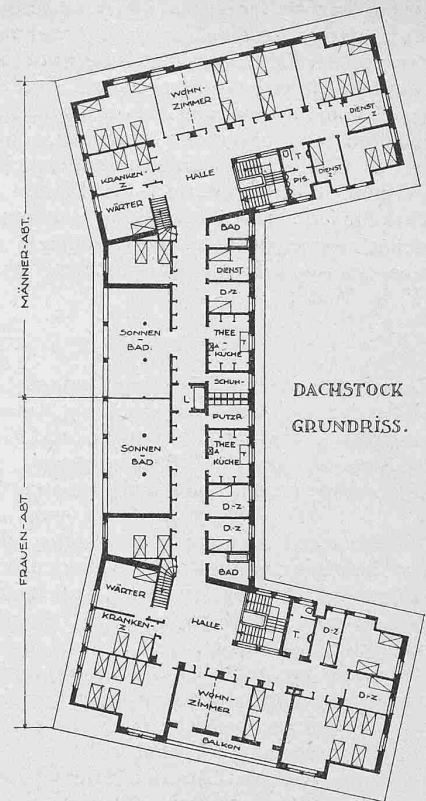
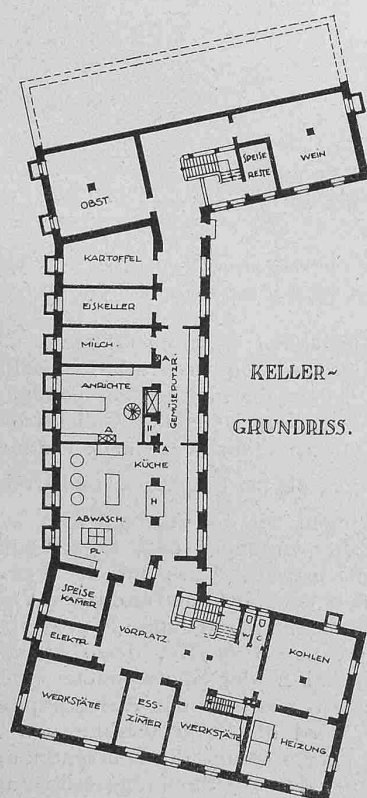
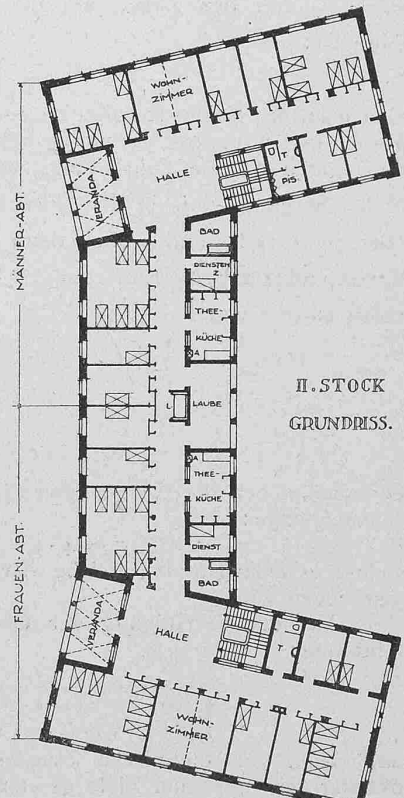
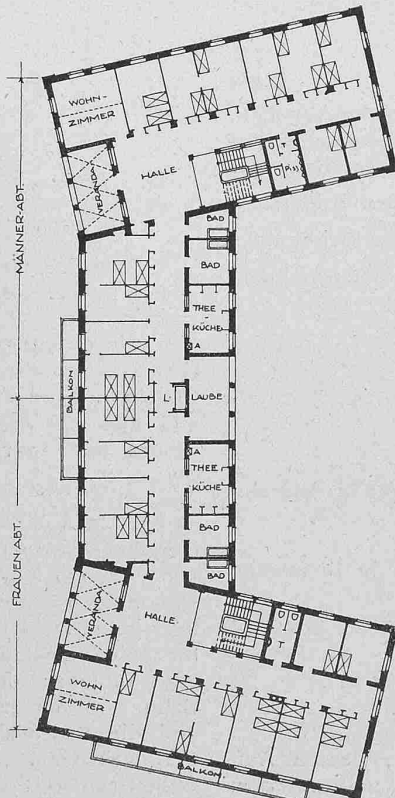


Abbildung 1.

der Fahrspannung mit aller nur wünschenswerten Genauigkeit untersucht worden, während wir für die Abhängigkeit von der Verkehrsdichte in der uns vorliegenden Literatur umsonst nach allgemein brauchbaren Beziehungen Umschau hielten. Wir glauben, diese Lücke könne für den Fall einer Stammlinie mit ordentlichem Verkehr bei einem nicht allzu zersplitterten Netz oder Bahnkreise auf Grund folgender Betrachtung ausgefüllt werden.

In Abbildung 1 geben wir das Schema einer solchen Stammlinie von l km Länge, die durch N Speisepunkte, die je in der Mitte von N Streckenabschnitten gleicher Länge λ liegen, und je λ km von einander entfernt sein mögen.

Grundsätzlich kann unsere Stammlinie übrigens auch nur ein idealer Begriff sein. Hat die betrachtete Bahn einen in t km des Gesamtzugsgewichtes ausgedrückten Verkehr von der Grösse P während einer Stunde, die als Durchschnitt der Verkehrsstunden eines besonders charakteristischen Halbtages oder Tages bestimmt worden sei, dann führen wir den Begriff p in t/h ein, gemäss: $p = \frac{P}{l}$ (1)

DACHSTOCK
GRUNDRISS.KELLER-
GRUNDRISS.II. STOCK
GRUNDRISS.

Indem wir weiter mit z die durchschnittliche Zugkraft am Radumfang, ausgedrückt in kg/t und verstanden als effektiv der, von der Fahrzeugausrüstung entwickelten, mechanischen Durchschnittsarbeit entsprechend, und mit η_s den Wirkungsgrad vom Radumfang bis zum Speisepunkt einführen, erhalten wir, unter der Annahme, dass kein Speisepunkt in das Gebiet eines andern hinein speise, was bei dichtem Verkehr ohne weiteres annähernd zutrifft bei dünnem Verkehr jedoch die Vorstellung isolierender Unterbrechungsstellen zwischen den Speisegebieten voraussetzt, für die vom Speisepunkt im Durchschnitt abzugebende Leistung W_s in Watt:

$$W_s = \frac{1}{\eta_s} \cdot p \cdot z \cdot \lambda \cdot \frac{9,81}{3,6} \quad (2)$$

Es seien weiter für den Speisepunkt die Spannung E_s in Volt, der Leistungsfaktor $\cos \varphi_s$, und die Stromstärke J_s eingeführt, die für Gleichstrom und Einphasenstrom direkt in Ampère, für Drehstrom dagegen in Ampère mal $\sqrt{3}$ angegeben werde, sodass allgemein gültig folge:

$$W_s = J_s \cdot E_s \cdot \cos \varphi_s \quad (3)$$

Endlich werde, entsprechend einem durch die Bemessung der Fahrleitung und der Schienenrückleitung, sowie allfälliger Verstärkungsleitungen, bedingten Spannungsabfall ε , in Volt pro km Bahn und pro Ampère bei Gleichstrom oder Einphasenstrom, bzw. pro Ampère mal $\sqrt{3}$ bei Drehstrom, der sog. zulässige Spannungsabfall auf der Fahrleitung festgesetzt, und zwar entweder für die ungünstigste, oder für die durchschnittliche Stellung der Züge, entsprechend der angenommenen Verkehrsdichte p . Sind mit Rücksicht auf gute Arbeitsweise der Triebfahrzeuge y Prozente als Spannungsabfall zulässig für die ungünstigste Stellung der Züge, wobei der ganze Strom J_s einseitig in einer Entfernung $\frac{\lambda}{2}$ vom Speisepunkt von den Zügen auf die Fahrleitung übergeht, dann ist:

$$\frac{y \cdot E_s}{100} = J_s \cdot \varepsilon \cdot \frac{\lambda}{2} \quad (4)$$

Sind dagegen \bar{y} Prozente als Spannungsabfall zulässig für die durchschnittliche Stellung der Züge, so kann angenommen werden, dass sowohl links, wie rechts vom Speisepunkt, je in einer Entfernung $\frac{\lambda}{4}$ von demselben, die Stromstärke $\frac{J_s}{2}$ von den Zügen auf die Fahrleitung übergehe; dann ist:

$$\frac{\bar{y} \cdot E_s}{100} = \frac{J_s}{2} \cdot \varepsilon \cdot \frac{\lambda}{4} \quad (4^*)$$

Genau auf das gleiche Resultat kommt man bei der Annahme absolut gleichförmiger Verteilung des Stromüberganges von den Zügen an die Fahrleitung, wobei pro km Bahn ein Stromübergang $\frac{J_s}{\lambda}$ je in der Mitte eines jeden Kilometers übergehen soll, und wobei dann auf jeder Seite eines Speisepunkts auf eine Entfernung $\frac{\lambda}{2}$ ein Gesamtspannungsabfall auftritt von:

$$\begin{aligned} \frac{\bar{y} \cdot E_s}{100} &= (1) \cdot \frac{J_s}{\lambda} \cdot \varepsilon \cdot \frac{1}{2} + (3) \cdot \frac{J_s}{\lambda} \cdot \varepsilon \cdot \frac{1}{2} + \\ &= (5) \cdot \frac{J_s}{\lambda} \cdot \varepsilon \cdot \frac{1}{2} + \dots + \left(2 \cdot \frac{\lambda}{2} - 1\right) \cdot \frac{J_s}{\lambda} \cdot \varepsilon \cdot \frac{1}{2} \\ &= \left(\frac{\lambda^2}{4}\right) \cdot \frac{J_s}{\lambda} \cdot \varepsilon \cdot \frac{1}{2} = \frac{J_s}{2} \cdot \varepsilon \cdot \frac{\lambda}{4} \end{aligned}$$

Offenbar stehen die Gleichungen (4) und (4*) in dem Zusammenhang:

$$y = 4 \cdot \bar{y}$$

sodass es belanglos ist, welche der beiden in Benutzung genommen wird.

Aus der Vereinigung der Gleichungen 2, 3 und 4 folgt nun:

$$\lambda = \frac{E_s}{\sqrt{p}} \cdot \sqrt{\frac{100}{2y} \cdot \frac{9,81 \cdot z \cdot \varepsilon}{3,6 \cdot \eta_s \cdot \cos \varphi_s}} = \frac{E_s}{\sqrt{p}} \cdot \frac{1}{C} \quad (5)$$

und damit der analytische Zusammenhang, dessen Auffindung wir uns Ziele gesetzt hatten, und aus dem die Abhängigkeit des Abstandes der Fahrleitungs-Speise-

punkte von der Fahrspannung, der Verkehrsdichte und allen weiteren in Betracht fallenden Grössen ersichtlich ist. Der Abkürzungsausdruck:

$$C = \sqrt{\frac{100}{2y} \cdot \frac{9,81 \cdot z \cdot \varepsilon}{3,6 \cdot \eta_s \cdot \cos \varphi_s}}$$

darf für bestimmte elektrische Systeme als eine Konstante betrachtet werden, und zwar beispielsweise:

$\begin{cases} C \sim 5,0 & \text{für Gleichstrom} \\ C \sim 8,0 & \text{für Einphasen- und Drehstrom zu 15 Perioden,} \end{cases}$
unter der Voraussetzung eines bestimmten Wertes z , sowie einer bestimmten Anlage des Bahngeleises mit einem ebenfalls bestimmten Gesamtkupferquerschnitt der Fahrleitung und Verstärkungsleitungen.

Bei Einphasen- und Drehstrom ergibt sich für C ein so geringfügiger Unterschied, dass er nicht berücksichtigt zu werden braucht und wir deshalb für diese zwei Stromarten dieselbe Konstante C benutzen dürfen. Natürlich gelten die angeschriebenen Werte C im Vergleich der Systeme nur für die angenommenen Geleise- und Fahrleitungsverhältnisse und Werte von z . Bei andern Verhältnissen, als den hier angenommenen, ändern sich die Werte C entsprechend; wegen des Wurzelausdrucks ist aber der Einfluss der Aenderung der Grössen z , ε , y , η_s , $\cos \varphi_s$ auf den Ausdruck C prozentual nur rund halb so gross, als die prozentuale Aenderung dieser Grössen selbst, die ja ihrerseits überhaupt nur in geringem Masse veränderlich sind. Je nachdem nun der Verkehr auf der betrachteten Bahn grössern oder geringern Schwankungen ausgesetzt ist, und je nachdem p definiert wurde, ist der Ansatz für die Grösse y zu treffen, der für Gleichstrom und Einphasenstrom identisch, für Drehstrom unwesentlich niedriger zu bemessen ist.

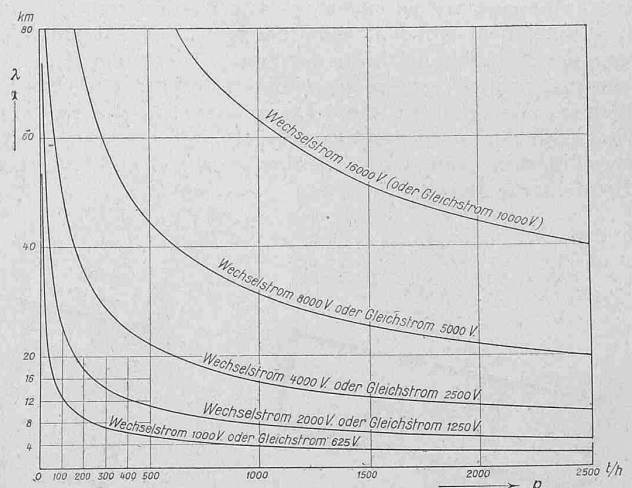


Abb. 2. Der Abstand der Fahrleitungs-Speisepunkte bei verschiedenen Verkehrsdichten und Fahrspannungen.

Da C unter allen Umständen wesentlich kleiner für Gleichstrom, als für Einphasen- und Drehstrom, ausfällt, so lehrt unsere Formel (5), dass für gleiche Fahrspannung und gleichen Verkehr die Speisepunkte bei Gleichstrom weiter, und zwar unter unsern Annahmen im Verhältnis $\frac{8,0}{5,0} = 1,60$, auseinanderliegen, als bei Einphasen- und Drehstrom. In Abbildung 2 bringen wir den Abstand λ in Abhängigkeit von p für die Fahrspannungen 625, 1250, 2500, 5000, 10000 Volt bei Gleichstrom, bzw. für die Fahrspannungen von rund 1000, 2000, 4000, 8000 und 16000 Volt bei Einphasen- und Drehstrom zur Darstellung. Je grösser λ für einen bestimmten Wert von p ausfällt, desto kleiner wird offenbar die Gesamtzahl N der Speisepunkte einer Bahn und demgemäss, ceteris paribus, das Anlagekapital und die Betriebskosten. Wird die Vergrösserung von λ bei gegebenem p durch die Vergrösserung der Fahrspannung E_s bewirkt, so ist zu beachten, dass die Spannungserhöhung mit einer Verteuerung aller Anlagen, die mit dieser erhöhten

Spannung arbeiten, verknüpft ist, sodass untersucht werden muss, inwieweit die Verbilligung der Anlagen zufolge der kleineren Zahl Speisepunkte bestehen bleibt, trotz eintretender Verteuerung für die Anlagen der Speisepunkte, der Fahrleitung und der Triebfahrzeuge. Mit dieser Verteuerung ist je nach dem Stromsystem auch wieder eine gewisse Veränderung in den Unterhaltungskosten, bezw. in der Betriebssicherheit festzustellen.

2. Der Einfluss höherer Fahrspannungen auf Sicherheit und Anlagekosten.

Wenn wir für gleiche Werte λ und p den Einfluss einer höheren Fahrspannung auf Sicherheit und Anlagekosten der betroffenen Anlagenteile bei den verschiedenen Stromsystemen betrachten, so müssen wir berücksichtigen, dass identische λ und p , im Rahmen der Wirkungsgradverhältnisse, zugleich auch identische Durchschnitts-Leistungen für Fahrleitung und Speisepunkte bedingen, während die einzelnen Triebfahrzeuge nicht notwendigerweise von derselben Leistungsfähigkeit zu sein brauchen; wird jedoch auch eine identische Leistungsfähigkeit der Triebfahrzeuge vorausgesetzt, so dient dies nur der höhern Parität des Vergleichs.

a) *Fahrspannung und Triebfahrzeuge.* Für das Gleichstromsystem ist die Betriebssicherheit der Triebfahrzeuge (Lokomotiven und Motorwagen) mit der Höhe der Fahrspannung in so engem Zusammenhang, dass die höchstmögliche Betriebsspannung, die wir auf 5000 Volt schätzen wollen, daraus geradezu hervorgeht¹⁾; dass sich die für 5000 Volt Fahrspannung auf einer amerikanischen Bahn²⁾ vor kurzem in Dienst gestellten Triebfahrzeuge auch schon hinlänglich bewährt hätten oder noch bewähren werden, ist zwar noch nicht erwiesen. Für das Einphasen- und für das Drehstrom-System, denen im Transformator der betriebssicherste Aufnehmer elektrischer Energie zur Verfügung steht, ist die Höhe der Fahrspannung innerhalb derjenigen Beträge, die technisch überhaupt in Betracht fallen, kaum noch durch Rücksichten auf die Sicherheit der Fahrzeugausrüstungen beeinflusst.

Wählt man bei jedem System die Fahrspannung, so wie sie heute als höchster zulässiger oder höchster wünschbarer Betrag angenommen werden dürfte, nämlich 5000 Volt für Gleichstrom, 8000 Volt für Drehstrom und 16000 Volt für Einphasenstrom, so ergibt unsere Abb. 2 ohne weiteres, dass der Drehstrom dem Gleichstrom im Hinblick auf den Abstand der Fahrleitungs-Speisepunkte nichts voraus hat, wohl aber der Einphasenstrom den zwei andern Stromarten. Im Hinblick auf die Sicherheit der Fahrzeugausrüstung ist zu beachten, dass beim Gleichstrom-System der Stromkreis der Motoren mit ihren ausserordentlich heikeln Kommutatoren, Widerständen, Stromschützen usw. notwendigerweise ein Hochspannungstromkreis ist, falls man nicht die ganze Fahrzeugsleistung in einem unbedingt unwirtschaftlich und komplizierend wirkenden Grossumformer umformen will, der zudem doch auch einen Hochspannungs-Kommutator haben muss; demgegenüber bieten das Drehstrom- und das Einphasen-System die Möglichkeit, die Motoren mit allen erforderlichen Nebengeräten, Stromschützen usw. als Niederspannungsobjekte auszubilden und zugleich für den Hochspannungstromkreis neben der betriebssicheren Transformator-Primärwicklung als einzigen Schaltapparat den ebenfalls höchst betriebssicheren Oelschalter anzuwenden, d. h. einen Apparat, dem die Gleichstrom-Hochspannungstechnik bisher ebenfalls noch keinen von gleichwertiger Sicherheit gegenüberzustellen hat.

Hinsichtlich der Anlagekosten fehlt es zur Zeit noch an Erfahrungen über die Ausrüstungen für Gleichstrom

von 5000 Volt. Jedoch ist ein Rückschluss möglich aus den bekannten Kosten für 3000 Volt Gleichstrom und für $3000 \times 1,6 = 4800$ Volt Wechselstrom, als im Speisepunkte-Abstand gleichwertigen Konkurrenten; unter diesen Umständen dürfte nämlich eine Parität der Anlagekosten für Gleichstrom und Drehstrom, hingegen höhere Kosten für Einphasenstrom bestehen. Die Erhöhung der Fahrspannung auf 5000 Volt bei Gleichstrom, auf 8000 Volt bei Drehstrom und auf 16000 Volt bei Einphasenstrom muss nun bedeutend stärker verteuern bei Gleichstrom (Einführung vollständig neuer Motoren und Apparate für Hochspannung) und bei Drehstrom (Einführung des Leistungstransformators oder gleichwertiger Motor-Neukonstruktionen) als bei Einphasenstrom. Es dürfte sich daher aus den Anlagekosten der Fahrzeugausrüstungen für die angenommenen Höchstspannungen der drei Systeme kaum ein massgebendes Argument für die Systemwahl herauschälen, wie wir ein solches aus dem Gesichtspunkt der Betriebssicherheit ableiten konnten.

b) *Fahrspannung und Fahrleitung.* Für die einpolige Fahrleitung, wie sie bei Gleichstrom und Einphasenstrom in Betracht fällt, kann für 16000 Volt völlig ausreichende Sicherheit hergestellt werden, wenn auch bei etwas höhern Anlagekosten, als für Gleichstrom von 5000 Volt. Noch kostspieliger muss jedoch die Herstellung einer annähernd ausreichenden Sicherheit für Drehstrom von 8000 Volt ausfallen, mit Rücksicht auf die benötigte zweipolige Fahrleitung, die niemals die Sicherheit einer einpoligen Fahrleitung aufweist. In der Doppelpoligkeit der Drehstrom-Fahrleitung liegt überdies einer der schwersten technischen Nachteile des Drehstrom-Systems überhaupt. Mit Rücksicht auf die viel grössere Gefährlichkeit des Gleichstromlichtbogens als des, alle Halbperioden durch null gehenden, Wechselstromlichtbogens scheint uns die Stromabnahme von der Fahrleitung weitaus sicherer für Einphasenstrom von 16000 Volt, als für Gleichstrom für 5000 Volt Spannung; das Argument für die geringere Gefährlichkeit des Wechselstromlichtbogens gegenüber dem Gleichstromlichtbogen ist natürlich auch bei der Beurteilung der Kommutatoren der Fahrzeugsmotoren von entscheidender Bedeutung, wobei zudem die niedrigeren massgebenden Spannungen stets auf Seite des Wechselstromsystems liegen, und zwar auch dann, wenn man für Gleichstrom eine Umformung auf dem Fahrzeug bewerkstelligt.

c) *Fahrspannung und Speisepunkte.* Für die Ausrüstung der Speisepunkte¹⁾ fällt als grundlegender Vorteil für Einphasenstrom und Drehstrom in Betracht, dass zur Aufnahme und Weitergabe elektrischer Energie kein anderer Umsetzungsapparat als der so betriebssichere Transformator benutzt werden muss; demgegenüber muss das Gleichstromsystem rotierende Umformungs-Maschinen oder allenfalls die bislang erst für Leistungen von einigen wenigen Hundert Kilowatt gebrauchstüchtigen Quecksilberdampf-Gleichrichter verwenden. Da die Verbindungsleitungen zwischen den Speisepunkten und den Kraftwerken normalerweise aus Einphasenstrom- oder Drehstrom-Uebertragungen für Spannungen von 40000 bis 100000 Volt bestehen werden, so sind im Falle von Gleichstrom-Fahrleitungen, neben den Umformungs-Maschinen oder Gleichrichtern, Transformatoren noch weiterhin benötigt. Mit unabwendbarer Notwendigkeit muss daher das Gleichstrom-System gegenüber den Wechselstrom-Systemen die höhern Anlagekosten der Speisepunkte auch dann ergeben, wenn aus den Spannungs- und Verkehrsgrundlagen dieselbe Zahl von Speisepunkten für Gleichstrom und Wechselstrom hervorgehen sollte. Die Verwendung zweierlei Stromarten und weiterer Energieumsetzungseinrichtungen neben Transformatoren muss die Sicherheit bei Erzeugung von Gleichstrom-Fahrstrom gegenüber der Erzeugung von Wechselstrom-Fahrstrom unfehlbar niedriger gestalten, und zwar auch dann noch, wenn einmal wirklich betriebssichere grosse Gleichrichter bestehen werden, da das Einfachere immer das Sicherere bleiben wird.

¹⁾ Zu Beginn des Jahres 1915 schien diese Spannungsgrenze bei 3500 Volt zu liegen, wie wir in unserem Aufsatz „Die Entwicklung der amerikanischen Hochspannungs-Gleichstrombahnen und die Systemfrage der elektrischen Zugförderung“, Seite 190 von Bd. LXV (24. April 1915) dargelegt haben.

²⁾ Es ist die „Michigan United Traction Company“; nach „El. Railway. Journal“ vom 2. Oktober 1915.

¹⁾ Der Begriff «Speisepunkt» wird hier erweitert auf die an dem betr. Punkt jeweils erforderliche Gesamtanlage.

3. Die Energiepreise am Speisepunkt.

Die in der Fernübertragung aus den Kraftwerken hergeleitete Energie weist an der Eintrittsstelle am Speisepunkt einen „Eintritts-Energiepreis“ auf, der, fast unabhängig von der Menge pro Jahr erzeugter Energie, bei Wasserkraftwerken und für Grossbetrieb zu jährlich rund 9 bis 10% des investierten Anlagekapitals unter der Voraussetzung normaler Verhältnisse veranschlagt werden kann. Die vom Speisepunkt an die Fahrleitung abgegebene Energie weist an der Austrittsstelle aus dem Speisepunkt einen „Austritts-Energiepreis“ auf, der den Eintritts-Energiepreis um diejenigen Beträge übertrifft, die für Zins, Amortisation und Erneuerung, sowie für die auftretenden Energieverluste und für die Bedienung der Speisepunkte in Anrechnung gebracht werden müssen. Es braucht wohl nicht mehr eingehend erörtert zu werden, dass diese Beträge für Gleichstrom als Fahrstrom auf alle Fälle höher sein müssen, als für Wechselstrom als Fahrstrom. Die Differenz zwischen Austritts- und Eintritts-Energiepreis ist auch bei den Wechselstromsystemen nicht zu vernachlässigen; es mögen als Beispiele in nachstehender Tabelle die bezüglichen Preise laut den Einphasen-Projekten der „Schweiz. Studienkommission für elektrischen Bahnbetrieb“ für die S.B.B.-Kreise II und V aufgeführt werden¹⁾:

Bahnkreise der S. B. B.	Austritts-Energie in kWh pro Jahr	Eintritts-Energiepreis in Rp. pro kWh	Austritts-Energiepreis in Rp. pro kWh	Preisdifferenz in Rp. und in % des Eintritts-Energiepreises
Kreis II	150000000	2,30	2,77	0,47 Rp. = 20,4 %
Kreis V	92000000	2,30	2,61	0,31 Rp. = 13,5 %

Zu dieser Zusammenstellung ist jedoch zu bemerken, dass für den S.B.B.-Kreis V die Verhältnisse insoweit abnormal günstige sind, als von den sechs Speisepunkten dieses Bahnkreises drei zugleich Primär-Kraftwerke, mit einer der Fahrspannung identischen Generatorspannung, sind und daher ein Minimum von Ausrüstungen enthalten, die die Speisepunkte finanziell belasten; demgegenüber ist von den acht Speisepunkten des S.B.B.-Kreises II keiner zugleich ein Primär-Kraftwerk. Hätte man die zwei Projekte statt für Einphasenstrom für Drehstrom durchgerechnet, so würden die Energiepreise am Eintritt und Austritt der Speisepunkte wohl nur unwesentlich anders ausgefallen sein. Sehr wesentlich anders gestalteten sich jedoch diese Preise für Drehstrom-Kraftwerke und für Gleichstrom als Fahrstrom. Die Preisdifferenz zwischen Eintritt und Austritt der Speisepunkte würde sich dann voraussichtlich, selbst bei gleicher Anzahl von Speisepunkten, veranderthalbfachen bis verdoppeln bei Benutzung von Gleichrichtern neben Transformatoren, und würde sich wohl mindestens auf das zweieinhalbfache bis dreifache steigern bei Benutzung rotierender Umformer neben Transformatoren.

Auch ist zu beachten, dass der Austritts-Energiepreis an den Speisepunkten einer Bahn für die jährlichen Gesamtkosten des Fahrdienstes durchaus nicht etwa von einem, bei verschiedenen Bahnkreisen eines und desselben Landes, gleichbleibendem Gewichte ist. Vielmehr zeigen uns gerade wieder die zwei Projekte der Studienkommission für die S.B.B.-Kreise II und V wesentliche Unterschiede in dieser Beziehung, wie nachstehender Uebersicht²⁾ zu entnehmen ist (Spalte rechts, oben).

Der ungleichmässige Einfluss des Energiepreises auf die Jahreskosten des Fahrdienstes der zwei Bahnkreise ist umso auffallender, als der Energiepreis gerade bei dem Kreise mehr ins Gewicht fällt, für den er am Speisepunkts-Austritt der *kleinere* ist; diese Erscheinung ist natürlich nicht in elektrischen, sondern in rein bahntechnischen Verhältnissen begründet.

¹⁾ Vergl. Seite 238 und 239 von Band LX im «Auszug aus der Mitteilung Nr. 4 der Schweiz. Studienkommission für elektr. Bahnbetrieb» (2. Nov. 1912). Dasselbst möge man auch die Gesichtspunkte dieser Kommission zur Systemwahl nachlesen.

²⁾ Vom Verfasser bereits verwertet in seinem früheren Aufsatz auf Seite 191 von Band LXV (24. April 1915).

Jahreskosten des Fahrdienstes	Beim Kreis II der S. B. B.	Beim Kreis V der S. B. B.
Direkte Jahreskosten . . .	Mill. Fr. 15,08 = 100%	Mill. Fr. 7,18 = 100%
Davon Kosten der elektrischen Energie	Mill. Fr. 4,15 = 27%	Mill. Fr. 2,42 = 34%
Direkte und indirekte Jahreskosten	Mill. Fr. 21,57 = 100%	Mill. Fr. 10,07 = 100%
Davon Kosten der elektrischen Energie	Mill. Fr. 4,15 = 19%	Mill. Fr. 2,42 = 24%

Es ist vor Kurzem in der Tagespresse die Ansicht geäußert worden,¹⁾ der Energiepreis für die Stromversorgung der Schweiz. Bundesbahnen werde dann am niedrigsten ausfallen, wenn in den Kraftwerken nicht die von der Studienkommission vorgesehene Erzeugung von Einphasenenergie von 15 Perioden, wohl aber eine Erzeugung von Drehstromenergie von der marktfähigen Frequenz von 50 Perioden mit anschliessender Umwandlung von Drehstrom in Gleichstrom in den Speisepunkten der Fahrleitung in Aussicht genommen werde; die Vorteile einer für die Bahnkraftwerke und für die bestehenden Industriekraftwerke gleichmässigen Stromerzeugung würden in ihrer Gesamtwirkung viel grösser sein, als die Nachteile und Verluste, die die Umformung mit sich bringe. — Offenbar hat aber eine Bahnverwaltung bei der Erzeugung ihrer elektrischen Betriebsenergie, unter Berücksichtigung aller einschlägigen technischen Erwägungen, lediglich die möglichste Verbilligung der *von ihr selbst benötigten* elektrischen Energie anzustreben und keinen weiteren wirtschaftlichen Zielen, die sie nur von ihren eigentlichen Aufgaben abdrängen, nachzugehen. Es ist somit zu prüfen, inwieweit durch den Verkauf von überschüssiger, sog. Abfallkraft der Bahnkraftwerke der Eintritts-Energiepreis für die Speisepunkte verbilligt werden kann, und ob eventuell bei Erzeugung der gesamten Energie der Bahnkraftwerke in Form von Drehstromenergie der Energiepreis am Eintritt in die Speisepunkte, zufolge günstigeren Energiemarktes, so weit verbilligt werden kann, dass der wirtschaftliche Nachteil der Umformung in einer gegebenen Zahl von Speisepunkten, sowie auch alle weiteren technischen und wirtschaftlichen Nachteile des Gleichstroms gegenüber Einphasenstrom wohl ausgeglichen erscheinen. In erster Linie hat man sich dabei klar zu sein, dass eine Bahnverwaltung für die Erstellung von Kraftwerken Vorarbeiten anderer Art ausführt, als ein öffentlicher oder privater Unternehmer von Industriekraftwerken. Während nämlich der letztere Erhebungen anstellt über die mutmassliche Energie-Aufnahmefähigkeit derjenigen Landesgegend, die vom geplanten Kraftwerke unter günstigen Uebertragungsverhältnissen versorgt werden kann, wobei natürlich spekulative Erwägungen eine grosse Rolle spielen, ist die Verwaltung einer zu elektrifizierenden Bahn in der Lage, in sehr präziser Weise an Hand ihrer Statistik den Kraftbedarf ihrer Linien für vergangene, gegenwärtige und zukünftige Zeiten zu berechnen oder doch hinlänglich genau zu beurteilen. Die Bahnverwaltung braucht daher für die Bemessung ihrer Kraftwerke keinerlei rein spekulative Annahmen zu machen. So hat beispielsweise die „Studienkommission“ für den elektrischen Betrieb des S.B.B.-Kreises V (Gotthard) gemäss dem Verkehr von 1904 nur die Kraftwerke Ritom-Piotta und Göschenen in Aussicht genommen; für den „in nächster Zukunft“ zu erwartenden Verkehr schlug sie die Werke Ritom-Piotta, Göschenen und Amsteg vor, die ziemlich genau das Krafterfordernis decken werden, wobei aber das Ritomwerk für noch weitergehende Verkehrssteigerung weiter ausbaufähig ist. Ganz ähnlich verhält es sich mit der Anpassung der für die Energieversorgung des S.B.B.-Kreises II projektierten Werke. Abfallenergie ist in diesen Werken schon aus Reserve-Sicherheitsgründen immer in gewissen Quantitäten vorhanden; je nach den Wasserkraftverhältnissen dürfte sie für die S.B.B.-Kreise II oder V

¹⁾ In dem bereits auf Seite 280 genannten Artikel von Ingenieur W. Boveri.

zwischen 10% und 25% der totalen jährlichen Energieerzeugung variieren. Nach dem erwähnten Vorschlag in der Tagespresse sollten nun, um diese 10 bis 25% zu verwerten, ständig die für die Bahn erforderlichen 75 bis 90% umgeformt werden, wobei dann, zufolge des leichter möglichen Verkaufs, der Energiepreis am Speisepunkt derart zu sinken hätte, um alle Nachteile dieses Vorschlags auszugleichen; offenbar ist dies bei derart geringen Quantitäten von Abfallkraft von vornherein ausgeschlossen und erscheint schon aus rein wirtschaftlichen Gründen die Aufstellung besonderer Primärmaschinen für Abfallkraft als das einzig mögliche¹⁾. Es kommt für die Erzeugung von zwei Stromarten nebeneinander bei richtiger Wasserwirtschaft ja auch nur eine *einzige* Stelle in Betracht, nämlich dasjenige Kraftwerk, das mit erheblicher Wasserakkumulation, mit einem Stausee, arbeitet; demgegenüber hätte man beim genannten Vorschlag, als technisch durchaus nicht belanglose weitere Erschwerung, in *jedem* Speisepunkte Einrichtungen für zwei Stromarten, wovon die eine in Abhängigkeit vom Bahnbetriebe, die andere in Abhängigkeit vom allgemeinen Industriebetriebe sein würden. Wesentlich anders gestalten sich die Verhältnisse natürlich, wenn in den Bahnwerken die „Abfallkraft“ die eigentliche „Bahnkraft“ überwiegen sollte. Wir müssten es aber als ein falsches Elektrifikationsziel ansehen, wenn die S. B. B. derartige Kraftwerke erstellen oder erwerben würden. Für den Betrieb aller Bahnen der Schweiz werden nach den Erhebungen der Studienkommission in Bälde 1280 Millionen PS_h im Jahr ab Turbinen der Kraftwerke, die insgesamt eine durchschnittliche Leistung von 146000 PS haben müssen, benötigt, sodass die Bereitstellung grösserer Abfallkräfte, anstelle der Zuziehung weiterer Dampfbahnlinien zum elektrischen Betrieb, doch wohl eine verfehlte Massnahme darstellen dürfte.

In frühern Zeiten der Diskussionen über die Systemwahl ist zugunsten von, mit Maschinen ausgerüsteten Speisepunkten, die Möglichkeit der Einrichtung von Pufferungsanlagen an diesen Speisepunkten aufgeführt worden. Nach dem heutigen Stand der Einsicht in die bezüglichen Verhältnisse wird jedoch jetzt allgemein zugegeben, dass für den Vollbahnbetrieb im Grossen solche Pufferungsanlagen nicht die gewünschte Energieverbilligung im Gefolge haben können, sodass wir in dieser Hinsicht von der Wiederholung allbekannter Rechnungen und Erwägungen absehen können.

Zusammenfassung.

Je mehr sich die Entwicklung der Hochspannungs-Gleichstromtraktion im Sinne der Ermöglichung stets höherer Fahrspannungen geltend macht, umso stärker wird der freie Wettbewerb der Bahnsysteme beschränkt auf Bahnen grösserer Länge und zugleich grösserer Verkehrsdichte. In

¹⁾ Einen zahlenmässigen Beweis für die Richtigkeit dieser Ueberlegung liefert das Beispiel der Energieversorgung des S. B. B.-Kreises II, wie folgt:

Die Ausrüstung der Speisepunkte mit Transformatoren und Gleichrichtern (deren Anwendbarkeit im Grossen vorausgesetzt) gegenüber Transformatoren allein, erhöht die Differenz zwischen Austritts-Energiepreis und Eintritts-Energiepreis sicher um mindestens weitere rund 0,5 Rp. pro kWh. Infolgedessen entsprechen den 150 Millionen kWh des Jahresbedarfs des Bahnbetriebs rund 750000 Fr. jährliche Mehrkosten, die doch allein nur wegen der Möglichkeit eines bessern Marktes für die Abfallkraft im Betrage von durchschnittlich etwa 30 Millionen kWh im Jahr entstehen. Logischer Weise müssen also diese Mehrkosten aus der Abfallkraft gedeckt werden, die dadurch eine Verteuerung von $\frac{750000 \times 100}{30000000} = 2,5$ Rp. pro kWh

erfährt. Damit ist die Abfallkraft, die zudem wegen Unkonstanz der Wasserverhältnisse in den Zentralen von Jahr zu Jahr stärksten Schwankungen ausgesetzt ist, bereits soviel als praktisch nicht mehr verkäuflich.

Noch schlimmer für die Abfallkraft würde die Sache, wenn in den Speisepunkten rotierende Umformer neben Transformatoren vorgesehen werden müssen, wobei mit jährlichen Mehrkosten von 1500000 Fr. und mit einer Verteuerung der Abfallkraft von 5,0 Rp. pro kWh gerechnet werden müsste.

Eine Umformung der Abfallkraft allein mit Mehrkosten für diese von etwa 0,8 bis 1,2 Rp. pro kWh ist zwar günstiger, aber im allgemeinen wohl immer noch aussichtslos.

wirtschaftlicher Hinsicht wird dann der Vorsprung der Wechselstromtraktion vor der Gleichstromtraktion zwar mehr und mehr etwas abnehmen, aber doch so lange noch wohl ausgeprägt bestehen bleiben, als nicht, im Sinne des Bahndienstes verstanden, unsachliche Massnahmen in der Erstellung und Bewirtschaftung der Bahnkraftwerke und ihrer Verteilungsanlagen ergriffen werden. Gegenüber Hochspannungs-Gleichstrombahnen werden Hochspannungs-Wechselstrombahnen stets den Vorteil der viel geringeren Gefährlichkeit des Lichtbogens und der Kurzschlüsse aufweisen, sowie die Möglichkeit der Verwendung des Transformators als des überhaupt betriebssichersten elektrischen Energieaufnehmers, durch dessen Anwendung sowohl Fahrzeuge als Speisepunkte eine so hohe Betriebssicherheit erlangen, wie sie bei der Hochspannungs-Gleichstromtraktion niemals möglich sein wird. Unter den Wechselstromsystemen, Drehstrom und Einphasenstrom, die sich in wirtschaftlicher Hinsicht, sowie auch im Hinblick auf die Sicherheit der Fahrzeuge und Speisepunkte annähernd gleich verhalten, hat der Einphasenstrom neben andern Vorzügen, die vorwiegend in der höhern Regulierfähigkeit der Fahrzeuge begründet sind, den entscheidenden Vorzug der einpoligen und daher weitaus sichereren Fahrleitung.

Selbst dann noch, wenn einmal mit der Möglichkeit einer Gleichstrom-Fahrspannung von 10000 Volt und zugleich mit einem zuverlässigen Gleichrichter-Grossbetriebe in den Speisepunkten gerechnet werden könnte, muss daher eine wohl ausgeprägte *technische und wirtschaftliche Ueberlegenheit des in Wasserkraftwerken unmittelbar erzeugten Einphasenstroms* vor allen andern elektrischen Betriebssystemen für die schweizerischen Hauptbahnen bestehen bleiben.

Miscellanea.

Simplon-Tunnel II.		Monatsausweis		November 1915.		Total
Tunnellänge 19 825 m				Südseite	Nordseite	
Firststollen:	Monatsleistung	m	211	10	221	
	Stand am 30. Nov.	m	6379	5158	11537	
Vollausbruch:	Monatsleistung	m	203	32	235	
	Stand am 30. Nov.	m	6278	5127	11405	
Widerlager:	Monatsleistung	m	205	78	283	
	Stand am 30. Nov.	m	6181	5058	11239	
Gewölbe:	Monatsleistung	m	204	61	265	
	Stand am 30. Nov.	m	6128	5013	11141	
Tunnel vollendet am 30. Nov.		m	6128	5013	11141	
In % der Tunnellänge		%	30,9	25,3	56,2	
Mittlerer Schichten-Aufwand im Tag:						
Im Tunnel			678	118	796	
Im Freien			223	68	291	
Im Ganzen			901	186	1087	

Auf der Nordseite wurde an 25 Tagen gearbeitet und dabei die Ausweitung und Mauerung der Strecke mit defektem Einbau fortgesetzt.

Auf der Südseite betrug die Zahl der Arbeitstage ebenfalls 25. Der starke Wechsel im Arbeiterpersonal dauert infolge militärischer Einberufung weiterer Jahrgänge an. Der Leistungsrückgang ist darauf zurückzuführen, dass im Lebendungsneis durchgehend Sohlengewölbe einzuziehen sind.

Schweizer. Werkbund-Ausstellung. Das Ergebnis des S. W. B.-Wettbewerbes für gute, schweizerische Spielwaren findet sich gegenwärtig (bis 10. Januar 1916, täglich 10 bis 12 und 2 bis 6, Sonntags bis 5 Uhr) ausgestellt im Kunstgewerbe-Museum der Stadt Zürich. Wenn auch der Gegenstand dieses Wettbewerbes ausserhalb unseres Arbeitsfeldes liegt, so gilt diese Abgrenzung doch nicht für den dabei massgebenden Werkbundgedanken. Wir machen daher auf die wohlgelungene Ausstellung auch unsere Leser aufmerksam, umsolieber als unter den vorgeführten schönen Dingen verschiedene Arbeiten schweizerischer Architekten sich befinden (Kinderzimmer-Einrichtungen, Baukasten, sogar „Städtebaukasten“!). Für das Ganze hat Museumsdirektor Arch. *Alfr. Altherr* einen trotz der engen Raumverhältnisse trefflich geratenen Rahmen geschaffen, der vom Standpunkt ausstellungstechnischer Raumkunst aus sehenswert ist. Ganz reizend in Linien und Farben ist namentlich das der Ausstellung beigelegte Schattentheater, in dem jeweils gegen Abend gespielt wird.