

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 93/94 (1929)
Heft: 7

Artikel: Energierückgewinnung und Effektschwankung im elektrischen Bahnbetrieb
Autor: Kummer, W.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-43393>

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>

INHALT: Energierückgewinnung und Effektschwankung im elektrischen Bahnbetrieb. — Die neuen Völkerbundsgebäude im Arianpark. — Die Stauwasser als Hochwasserschutz im Oberlauf der Albigna (Bergell). — Zum Thema „Kunst-Museen“. — Wettbewerb für den Neubau eines thurgauischen kantonalen Kinderheims in Romanshorn. — Die Wiener Tagung für wirtschaftliches Bauen. — Mitteilungen: Aarewerke A.-G. Ein Messinstrument für den Beleuchtungstechniker und Installateur.

Eine schweizerische Gesellschaft zum Studium der Ersatzbrennstoffe. Der neue Schnelldampfer „Bremen“. Das Luftschiff „Graf Zeppelin“. A.-G. Brown Boveri & Cie., Baden. Limmatkraftwerk Wettingen der Stadt Zürich. Elektrifikation der italienischen Staatsbahnen. — Nekrolog: Karl Auer von Welsbach. — Wettbewerbe: Behaupungsplan für die rechtsufrigen Quartiere in Genf. Deutsch-reformierte Kirche in Münster (Bern). — Literatur.

Band 94

Der S. I. A. ist für den Inhalt des redaktionellen Teils seiner Vereinsorgane nicht verantwortlich. Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet.

Nr. 7

Energierückgewinnung und Effektschwankung im elektrischen Bahnbetrieb.

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

Die wirtschaftliche Bedeutung der Tatsache, dass die Energierückgewinnung im elektrischen Bahnbetrieb neben einer Energieersparnis, die eine Verbilligung der Zufuhr bedeutet, zugleich eine Erhöhung der Effektschwankung hervorruft, die jene Verbilligung teilweise aufhebt, suchten wir bereits in einer Arbeit „Das Urteil über die Energierückgewinnung bei elektrischen Bahnen angesichts der jüngsten technischen Fortschritte“¹⁾ zahlenmässig festzustellen. Damals fehlte uns aber noch eine strenge Methode zur Vorausberechnung des Schwankungsverhältnisses K des Effektsbedarfs, d. h. des Quotienten „Effektmaximum durch Effektmittel“, sodass wir auf einen empirisch gewonnenen Zusammenhang von K mit dem Jahresverkehr abstellen mussten und gezwungen waren, an Betrieben mit und ohne Rückgewinnung die jeweiligen Schwankungsverhältnisse zu gewinnen, indem wir diese Betriebe als Bahnen mit mehr oder weniger Jahresverkehr symbolisierten. Nachdem wir uns nunmehr im Besitze eines rein analytischen Verfahrens der Vorausberechnung des Verhältnisses K befinden, das wir übrigens schon vor vier Jahren bekanntgaben²⁾ und erst kürzlich zu einer Untersuchung der Einwirkung der Zugbildung auf die Effektschwankung verwendeten³⁾, besitzen wir auch die Möglichkeit direkter Behandlung des Zusammenhangs der Energierückgewinnung mit der Effektschwankung und der damit gegebenen wirtschaftlichen Sachlage. Die in der Abbildung zugleich mit andern, weiter noch zu erörternden Kurven gegebene Darstellung des Schwankungsverhältnisses K über der Mittelwertgrösse y , auf die unser analytisches Verfahren führt, bewahrt ihre Allgemeingültigkeit auch für Bahnen mit Energierückgewinnung; jedoch ändert sich für einen Betrieb mit und ohne Rückgewinnung die Grösse y , sowie der Zusammenhang von y mit dem Verkehr und mit dem Energiebedarf des Bahnbetriebes. Die Mittelwertgrösse y , als Produkt aus der Zugzahl N und der im Sinne einer „Benutzungsdauer“ festgestellten Strombezugszeit t eines Zuges, beide Grössen normal je auf die Zeit „ein Jahr“ bezogen, ändert sich für einen Betrieb mit und ohne Rückgewinnung proportional mit der Zeit t , die im Falle der Rückgewinnung natürlich kleiner wird. Der im allgemeinen in tkm/Jahr ausgedrückte Verkehr Q der Bahn, als Produkt aus jährlich mit der Geschwindigkeit v gefahrenen Gewichten G und Zugzahlen N , gemäss der Beziehung³⁾:

$$Q = v N G,$$

kann mittels der Definition $y = N t$ in die Form:

$$Q = v G \left(\frac{y}{t} \right)$$

gebracht werden. Da y/t für Betrieb mit und ohne Rückgewinnung unverändert bleibt, ist bei gleichbleibenden Werten v und G auch der Jahresverkehr Q unverändert. Dagegen ist, je nachdem mit oder ohne Rückgewinnung gearbeitet wird, der zum Betriebe benötigte Durchschnittseffekt $\bar{W}$ im Kraftwerke verschieden. Gegenüber einem Betriebe ohne Rückgewinnung, für den die Grössen y und $\bar{W}$ gelten sollen, findet bei Betrieb mit Rückgewinnung

eine Aenderung in $y - \Delta y$, sowie in $\bar{W} - \Delta \bar{W}$ statt, wobei:

$$\Delta y : y = \Delta \bar{W} : \bar{W}$$

zu setzen ist. Statt der verhältnismässigen Ersparnis an Durchschnittseffekt zufolge der Rückgewinnung kann natürlich auch die verhältnismässige Ersparnis an elektrischer Jahresarbeit gesetzt werden, d. h. es gilt auch:

$$\Delta \bar{W} : \bar{W} = \Delta A : A$$

Diese Ersparnis, für die die Praxis Zahlenwerte von 0,1 bis 0,2 zeitigte, ist einer grundsätzlichen Vorausberechnung fähig, die wir vor neun Jahren bekannt gaben.¹⁾

Für die jährlichen Energiekosten J eines Bahnbetriebes ohne Rückgewinnung, für den die Mittelwertgrösse y , sowie der ihr entsprechende Durchschnittseffekt $\bar{W}$ gelten sollen, lässt sich, bei Einführung der Konstanten C_1 und des (z. B. in Rappen pro kWh angegebenen) Energie-Einheitspreises E_1 schreiben:

$$J = C_1 E_1 y.$$

Nach Massgabe der bei der Energieabgabe durch die Effektschwankung hervorgerufenen Einwirkung auf den Einheitspreis gilt weiter:

$$E_1 = C_2 K + C_3$$

wobei mit C_2 und C_3 neuerdings konstante Grössen eingeführt werden.

Wenn nun für den betrachteten Betrieb bei gleichbleibendem Verkehr die Rückgewinnung eingeführt wird, so ändert sich y in $y - \Delta y$, sowie $\bar{W}$ in $\bar{W} - \Delta \bar{W}$. Nach der in Abbildung 1 gegebenen Kurve:

$$K = f(y)$$

ändert sich dabei aber auch das Schwankungsverhältnis, und zwar von K auf $K + \Delta K$. Es muss sich deshalb auch der Einheitspreis ändern, und zwar von E_1 auf $E_1 + \Delta E_1$, wobei offenbar gelten muss:

$$\Delta E_1 = C_2 \Delta K.$$

Die jährlichen Energiekosten, die für den Betrieb ohne Rückgewinnung durch den Ausdruck:

$$J = C_1 (C_2 K + C_3) y$$

darzustellen sind, nehmen bei Einführung der Rückgewinnung einen Wert J' an, für den nun der Ausdruck gilt:

$$J' = C_1 (C_2 K + C_2 \Delta K + C_3) (y - \Delta y).$$

Soll die Einführung der Energierückgewinnung einen wirtschaftlichen Gewinn bringen, so erscheint dieser als Ersparnis $\Delta J = J - J'$. Dafür folgt:

$$J - J' = \Delta J = C_1 C_2 (-\Delta K y + K \Delta y + \Delta K \Delta y) + C_1 C_3 \Delta y.$$

Das dritte Glied in der Klammer kann, als besonders klein, neben den zwei ersten Gliedern weggelassen werden. Indem wir die Ersparnis ΔJ auf die Energiekosten J des Betriebs ohne Rückgewinnung beziehen, folgt:

$$\frac{\Delta J}{J} = \frac{C_1 C_2 (K \Delta y - y \Delta K) + C_1 C_3 \Delta y}{C_1 (C_2 K + C_3) y} = \frac{\Delta y (C_2 K + C_3) - y \Delta K C_2}{y (C_2 K + C_3)} = \frac{\Delta y}{y} - \frac{\Delta K}{K + \frac{C_3}{C_2}}.$$

Nun ist rein formelmässig:

$$\Delta K = \frac{\Delta K}{\Delta y} \Delta y = \sim \frac{dK}{dy} \Delta y = K' \left(\frac{\Delta y}{y} \right) y$$

¹⁾ „S. B. Z.“ Band 75, Seite 121 (13. März 1920). Diese Darstellung mit teilweise besonders günstigen Werten berücksichtigt nur bei Talfahrten mit Rückgewinnung lose, sonst gestreckte Kupplungen der Wagen der Züge.

¹⁾ „S. B. Z.“ Band 71, Seite 191 (4. Mai 1918).

²⁾ „S. B. Z.“ Band 86, Seite 169 (3. Oktober 1925).

³⁾ „S. B. Z.“ Band 94, Seite 6 (6. Juli 1929).

⁴⁾ Damit Q in tkm/Jahr erscheint, ist G in t, v in tkm/Jahr gemessen.

und folgt angenähert:

$$\frac{\Delta J}{J} = \frac{\Delta y}{y} \left(1 - \frac{K' y}{K + \frac{C_3}{C_2}} \right)$$

Mit der Hilfsgrösse: $\psi = 1 - \frac{K' y}{K + \frac{C_3}{C_2}}$; $0 < \psi < 1$

folgt die kurze Formulierung:

$$\frac{\Delta J}{J} = \frac{\Delta y}{y} \psi$$

die besagt, dass der relative wirtschaftliche Erfolg der Rückgewinnung gleich ist der relativen Energieersparnis, multipliziert mit einer zwischen 0 und 1 liegenden, den Einfluss der Effektschwankung berücksichtigenden Hilfsgrösse. In dieser Hilfsgrösse sind, je nach y , bzw. je nach der Grösse des Verkehrs der betrachteten Bahn, das Verhältnis K , dessen Differentialquotient K' und der Quotient der Konstanten C_3 und C_2 des Einheitspreises enthalten.

Für den Quotienten $\frac{C_3}{C_2}$ lassen sich Grenzwerte feststellen, die für die Energieversorgung einerseits einen Extremfall der Wasserkraftwerke, anderseits einen Extremfall der Wärmekraftwerke kennzeichnen.

Im Extremfall eines Wasserkraftwerks ist der Einheitspreis nur von der installierten Leistung abhängig, somit $C_3 = 0$ und:

$$\psi = \psi_0 = 1 - \frac{K' y}{K}$$

Im Extremfall eines Wärmekraftwerkes ist zufolge hoher, mit der Belastung veränderlicher Posten der Jahresausgaben das Verhältnis $\frac{C_3}{C_2}$ relativ sehr hoch, z. B. gleich 5; wir schreiben dann:

$$\psi = \psi_m = 1 - \frac{K' y}{K + 5}$$

In der Abbildung haben wir die beiden Extremwerte ψ_0 und ψ_m kurvenmässig über der Mittelwertgrösse y dargestellt; zwischen den zwei Kurven liegt das Gebiet, das die überhaupt praktisch möglichen Fälle von ψ kennzeichnen dürfte. Zur leichtern Beurteilung der Abbildung sei neuerdings darauf hingewiesen, dass für normale europäische Hauptbahnhöfe einem Werte $y = 1$ ein Jahresverkehr von rund 100 Mill. tkm an Gesamtgewicht der Züge entspricht.

Das schon in unserer früheren Arbeit (von 1918) festgestellte Ergebnis, dass für Wärmekraftwerke mit hohen Brennstoffkosten ein wirtschaftlicher Erfolg der Energierückgewinnung besonders leicht erreichbar ist, der jenen bei Energiebezug aus Wasserkraftwerken grundsätzlich überlegen muss, findet hier seine Bestätigung. Dabei ist die neue Darstellung viel präziser, als unsere frühere, und zudem nicht auf einen empirisch gewonnenen, und deshalb den Einwand des Zufallscharakters erlaubenden Zusammenhang der Effektschwankung mit dem Durchschnittseffekt aufgebaut.

Die neuen Völkerbundsgebäude im Arianapark.

Kürzlich sind vom Völkerbundsekretariat die photographischen Wiedergaben der neuen Entwürfe für die Gebäude des Völkerbundes bekannt gegeben worden, die der Rat auf Grund der Vorschläge des diplomatischen Fünfer-Ausschusses in Madrid genehmigt hatte. Wer die Vorgeschichte dieser Entscheidung kennt, der konnte von vornherein nicht erwarten, dass die letzten Verhandlungen in der Baufrage ein grosses einheitliches Meisterwerk der Architektur zutage fördern würden. Die Entwürfe entspringen einem doppelten Kompromiss: einmal galt es, die beim Wettbewerb mit „ersten Preisen“ ausgezeichneten Arbeiten der Architekten Nénot-Flegenheimer, Broggi, Lefèvre und Vago, die nach Stil und Anlage zum Teil von grundverschiedenen Auffassungen ausgingen¹⁾, in eine gewisse Übereinstimmung zu bringen. Dann kam der Wechsel des Baugeländes. Statt, wie ursprünglich im Preisausschreiben vorausgesetzt war, auf dem Boden des Landgutes der Villa Bartholoni und der anschliessenden Besitzungen, das heisst

in unmittelbarer Nähe des Seeufers, sollen nun die Gebäude im oberen Teil des Arianaparkes aufgestellt finden, wo mit ganz andern Faktoren zu rechnen war. Unter all diesen Umständen war es von vornherein ausgeschlossen, ein den Stempel der Persönlichkeit und künstlerischer Ueberzeugung tragendes Werk zustande zu bringen. Es hat daher keinen grossen Sinn, der heutigen Lösung immer wieder den Vorwurf des Kompromisses zu machen. Vielmehr war, so wie die Dinge nun einmal lagen, der Kompromiss, die Flucht ins Neutrale, noch die einzige Möglichkeit, um endlich etwas Positives zu erreichen.

Es mag dem Einzelnen überlassen bleiben, die vorliegenden Entwürfe einer Kritik in ästhetischer Richtung zu unterziehen. Hier sei lediglich allgemein festgestellt, dass sie in ihrer heutigen Gestalt, weit entfernt, voll zu befriedigen, wenigstens ruhiger wirken als manche ihrer Vorgänger und sich mit ihren stark horizontal betonten Bauten dem durch die Juralinie beherrschten Landschaftsbild ziemlich harmonisch einfügen dürften, wobei noch zu berücksichtigen ist, dass die sie umgebenden alten Bäume des Parkes — was allerdings kein Verdienst der Architekten darstellt — mit ihren Kronen das Erdrückende der 330 000 m³ Mauermaße mildern werden. Es soll übrigens Aussicht bestehen, dass durch eine stellenweise noch einfachere und vornehmere Gliederung der Fassade der Gesamteindruck verbessert wird, wie denn überhaupt die veröffentlichten Entwürfe auch in der Anlage der Gebäude noch nicht als ganz endgültig zu betrachten sind.

Das erscheint um so wichtiger, als die gesamte Fassade der Neubauten immerhin die respektable Länge von 370 m aufweisen wird, also sechsmal mehr als die Fassade des benachbarten Arianamuseums und viermal mehr als die des Internationalen Arbeitsamtes. Der Gefahr einer eintönigen, kasernenmässigen Wirkung soll nun freilich schon dadurch begegnet werden, dass sich das Ganze um einen in Hufeisenform gehaltenen Zentralkomplex gruppiert, der aus dem stark zurückliegenden Bau für die Völkerbundsversammlung, einem vorspringenden südlichen Flügel für die Ratssitzungen und einem nördlichen für die Bibliothek gebildet wird. Länge und Anlage entsprechen ungefähr den Verhältnissen des Schlosses von Versailles. Die Firsthöhe des Versammlungsgebäudes, das einen kreisrunden Saal von 55 m Durchmesser und eine flache Kuppel erhalten soll, beträgt 26 m. Dazu kommen noch weitere 5 m für eine die Kuppel umgebende Attika hinzu, die auf dem terrassenförmig auszubauenden Dach zur Aufnahme von Restaurationsräumen dienen wird. Die Fassade dieses Mittelbaues hat eine Länge von 72 m, zusammen mit dem links und rechts anschliessenden Portikus 130 m. Der durch diese Dimensionen bestimmte Hof des Hufeisens misst in der Tiefe 85 m und wird mit Terrassen und Treppen versehen sein. An das Gebäude für den Völkerbunds-Rat schliesst sich nach Süden der lange Flügel an, der die zahllosen Bureaux des Generalsekretariats enthalten wird und mit der Bibliothek durch einen gedeckten Gang unter der Terrasse der Zentralanlage in Verbindung gebracht werden soll. Zwischen dem Sekretariat und dem grossen Versammlungsgebäude besteht infolge des geneigten Geländes ein Niveau-Unterschied von 10 m, sodass man

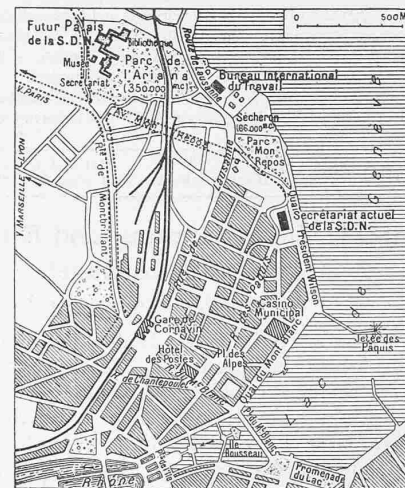


Abb. 1. Situationsplan des Arianaparkes in Genf.

¹⁾ Vgl. ihre Entwürfe in „S.B.Z.“ Bd. 90, S. 86 und 104 (Aug. 1927).