

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 59/60 (1912)
Heft: 7

Artikel: Gotthardbahn und Giovi-Linie: ueber Berechnungen und Messungen des Kraftbedarfs bei elektrischem Betrieb
Autor: Kando, K. von
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-30038>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 14.03.2025

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

Zuges gleichgültig ist), so erhalten wir eine ideale Strecke, welche bezüglich des Stromverbrauches der Strecke Chiasso-Luzern gleichwertig ist und mit der Strecke Pontedecimo-Busalla der Giovi-Linie leicht verglichen werden kann. In beiden Fällen wird nämlich nur in einer Richtung, während der Bergfahrt, Strom verbraucht, während in der andern Richtung, abgesehen von den kurzen Streckenteilen mit weniger als 5‰ Gefälle, der Zug stromlos fahren kann. Die mittlere Steigung dieser idealen Strecke wird gleich

$$\frac{1403\text{ m} + 1105\text{ m}}{225\text{ km}} = 11,14\text{ ‰}$$

sein, wogegen die mittlere Steigung der Linie Pontedecimo-Busalla 26‰ ist.

Wenn wir nun den durchschnittlichen Rollwiderstand gleich 5 kg/t ansetzen, so wird der Stromverbrauch per tkm, abgesehen von den Anfahrten, ungefähr in dem Verhältnis stehen wie

$$\frac{26 + 5}{11,14 + 5} = 1,92.$$

Also aus der Verschiedenheit der Steigungsverhältnisse schliessend, sollte der Stromverbrauch pro tkm zwischen Busalla und Pontedecimo um 92‰ grösser sein als auf der Strecke Chiasso-Luzern, sodass mit den von P. Verole veröffentlichten Versuchsergebnissen, bezw. mit der auf Grund derselben berechneten Zahl von 47,5 wstd/tkm auf die Gotthardbahn zurückschliessend, der Stromverbrauch auf dieser nur $\frac{47,5}{1,92} = 24,7\text{ wstd/tkm}$ auf dem Kontaktdraht ausmachen sollte, während ich seinerzeit mit genauer Berücksichtigung der Verhältnisse 31 wstd/tkm berechnet hatte.

Will man nun aus den Versuchsergebnissen der Giovi-Bahn bezüglich der Verlässlichkeit meiner Rechnung eine Folgerung ableiten, so kann es keinesfalls die sein, dass ich zu optimistisch war, sondern gerade das Umgekehrte, nämlich dass ich bei der Berechnung des Stromverbrauches der Gotthardbahn sehr vorsichtig vorgegangen bin und dass in Wirklichkeit ein niedrigerer Stromverbrauch zu erwarten ist.

Dies sollte als Nachweis genügen, dass der Angriff des Herrn Kummer unhaltbar ist. Da aber die Betriebsergebnisse der Giovi-Bahn nicht nur nicht im Widerspruch zu meinen frühern Rechnungen stehen, sondern diese in jeder Hinsicht bekräftigen, so möge es mir erlaubt sein, die diesbezüglich veröffentlichten Zahlen in Nachstehend einer Analyse zu unterziehen.

2. Wirkungsgrad der Drehstromlokomotive der Giovi-Linie.

Um gleich bei der oben zitierten Stromverbrauchszahl zu bleiben, wird es nicht ohne Interesse sein, zu sehen, ob man bei der Giovi-Bahn wirklich eine bessere erwarten konnte.

Die Berechnung der geleisteten Arbeit ist äusserst einfach, da die 10,4 km lange Linie fast konstant steigt mit einer Gesamthöhendifferenz von 271 m. Somit ist die zur Hebung des 500 Tonnen schweren Zuges notwendige Arbeit gleich

$$271\text{ m} \cdot 500\,000\text{ kg} = 135\,500\,000\text{ kgm.}$$

Wenn wir den Rollwiderstand im Durchschnitt gleich 5 kg/t annehmen, so wird die zur Ueberwindung desselben notwendige Arbeit gleich

$$500\text{ t} \cdot 5\text{ kg} \cdot 10\,400\text{ m} = 26\,000\,000\text{ kgm sein.}$$

Die zur Beschleunigung des Zuges verwendete Arbeit können wir vernachlässigen, da diese zum grossen Teile zurückgewonnen wird, indem die Motoren noch auf der Steigung vor Busalla ausgeschaltet werden und die kinetische Energie des Zuges zur Vollendung der Fahrt benutzt wird.

Somit ist die durch die Lokomotiven entwickelte mechanische Arbeit gleich 161 500 000 kgm

$$\text{gleich an } \frac{161\,500\,000 \cdot 9,81}{1000 \cdot 3600} = 440\text{ kwstd.}$$

Da der Wirkungsgrad der Motoren der Lokomotiven bei einer durchschnittlichen Zugkraft von 8000 kg rund 94‰ ist, und die Verluste im Anlassrheostat laut Giorgio Calzolari¹⁾ 2,4‰ betragen, so ist der Stromverbrauch, den man auf Grund der Berechnung bei einem 500 t schweren bergfahrenden Zuge erwarten kann:

$$1,024 \frac{440}{0,94} = 480\text{ kwstd}$$

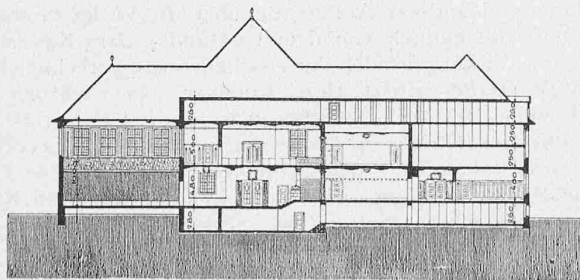
$$\text{oder } 1000 \frac{480}{500 \cdot 10,4} = 92,3\text{ wstd/tkm.}$$

Demgegenüber haben P. Verole²⁾ und G. Calzolari¹⁾ 90,33 bis 93 wstd/tkm als Messungsergebnisse gefunden.

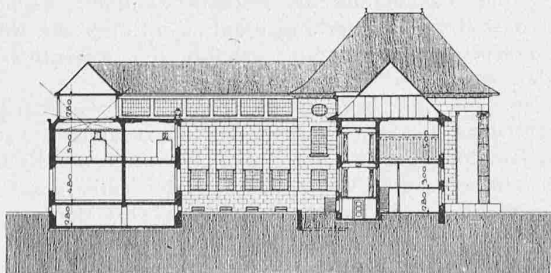
Dieses zeigt, dass der hohe Wirkungsgrad der Drehstromlokomotive nicht nur in der Theorie existiert, sondern auch in der Praxis erreicht wird.

¹⁾ G. Calzolari: «La trazione monofase e la trazione trifase». Internationaler Elektrotechniker-Kongress, Turin, September 1911.

²⁾ P. Verole: «Note sur l'électrification de la ligne du Giovi», Revue Générale de Chemins de Fer, n° 2, Februar 1912.

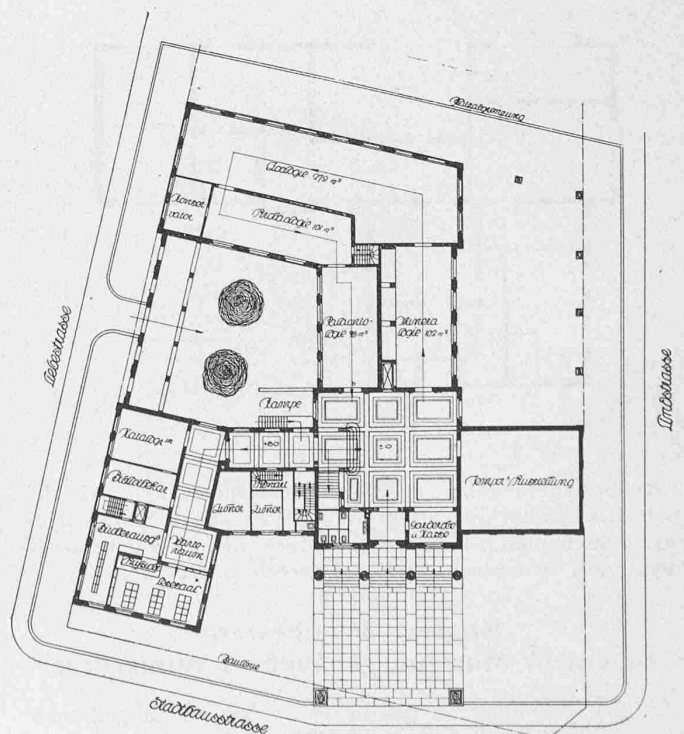


Querschnitt Ost-West durch die Eingangshalle.



Längschnitt Nord-Süd durch den Hof. — 1 : 800.

Entwurf der Architekten Bridler & Völki in Winterthur.



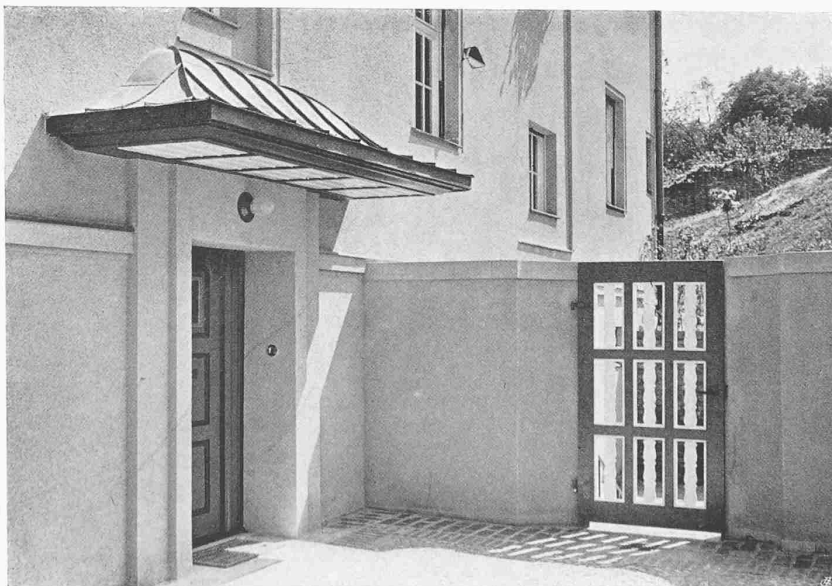
Lageplan und Erdgeschoss-Grundriss. — 1 : 800.



HAUS STEINBOCK IN FRANKFURT a/O.

ARCHITEKT HANS BERNOULLI, BASEL

Ansicht von Südost

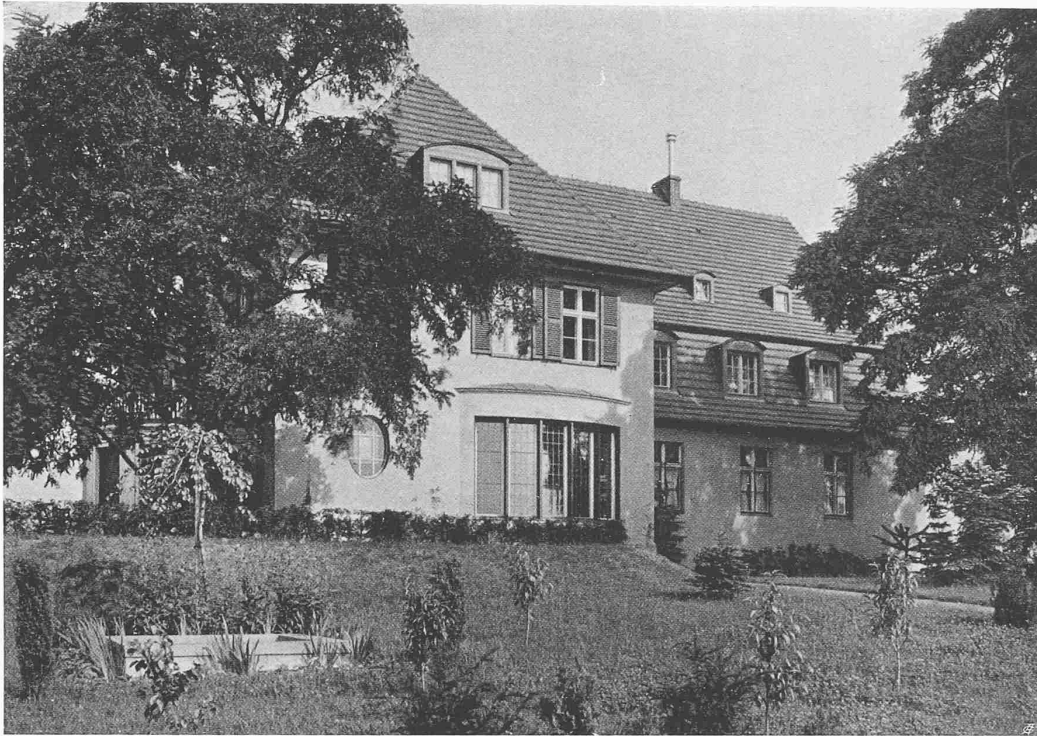


Hauseingang an der Nordwestecke



Oben von Nordost

Unten von Westen



HAUS LEPSIUS IN DAHLEM BEI BERLIN
ARCHITEKT HANS BERNOULLI, BASEL



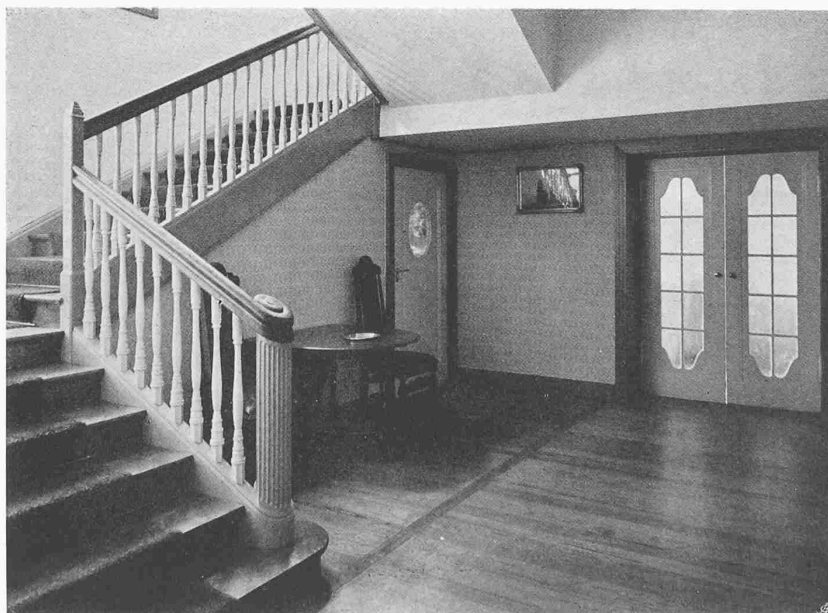
Oben von Südost

Unten von Süden



Oben: Treppe im Hause Steinbock — Unten: Diele im Hause Lepsius

ARCHITEKT HANS BERNOULLI, BASEL



Kummer diese Fehler nicht gemacht, so wäre es doch noch prinzipiell verfehlt gewesen, aus solchen künstlich verstellten Betriebsverhältnissen irgend eine Folgerung auf den durchschnittlichen Stromverbrauch pro *tkm* ziehen zu wollen.

3. Wirkungsgrad der Uebertragung beim elektrischen Betrieb der Giovi-Linie.

Es ist schade, dass Herr Kummer dem Aufsätze der Herren Santoro und Lionello Calzolari „Sul ricupero dell' energia in discesa sulla linea a trazione elettrica usw.“ (vorgetragen auf dem Internationalen Eisenbahn - Ingenieur-Kongress zu Turin, Oktober 1911) nicht mehr Interesse geschenkt hat; denn dann hätte er die Zahlen, die er durch Kombinieren der in Publikationen gefundenen Angaben zu berechnen sucht, dort als direkte Messresultate vorgefunden.

Tafel Nr. 1a obigen Aufsatzes stellt drei Diagramme dar, welche ich hier wiedergebe (siehe Abb. 1 bis 3 auf S. 96). Abbildungen 1 und 2 sind die Kopien von Originaldiagrammen eines in dem Kraftwerk aufgestellten Registrierwattmeters, welches die Gesamtleistung der Generatoren angibt; u. z. das erste während der Bergfahrt eines 500 *t* schweren Zuges, das zweite während gleichzeitiger Berg- und Talfahrt zweier je 500 *t* schwerer Züge. Das Diagramm III ist durch Aufeinanderlegen der beiden ersten entstanden und zeigt klar den Einfluss der Stromrückgewinnung. Auch die Flächen der einzelnen Diagramme sind angegeben. Die des ersten ist 550 *kwstd* und die des zweiten 335 *kwstd*.

Diese Zahlen enthalten aber auch den Stromverbrauch der Pumpen der Zentrale und des Unterwerkes Rivarolo, welche nichts mit der Zugbeförderung zu tun haben. Im Januar 1911 machte dieser 232 *kw* aus. In diesem Falle dürfen wir jedoch nicht denselben Betrag in Abzug bringen, da inzwischen durch Aenderung der Rohrleitung der Verbrauch der Pumpen reduziert worden ist.

Viel richtiger gehen wir vor, wenn wir die Nulllinie des Diagrammes mit 140 *kw* (Leerlaufverbrauch der drei in Betracht kommenden Unterwerke) unter die dem Leerlauf der Anlage entsprechende Linie setzen, was einem Abzug von rund 15 *kwstd* entspricht. Somit ist der Stromverbrauch eines bergfahrenden Zuges am Schaltbrett der Zentrale $550 - 15 = 535 \text{ kwstd}$. Da der Stromverbrauch desselben Zuges am Trolleydrahte 470 *kwstd* ausmacht, so ist der Wirkungsgrad

der Anlage zwischen Schalttafel des Kraftwerkes und Stromabnehmer der Lokomotive $\frac{470}{535} = 88 \%$.

Da der Wirkungsgrad der Lokomotive gleich 94% und jener des Generators 94,4% ist, so beträgt der Gesamtwirkungsgrad zwischen Turbinenwelle und Lokomotivrädern

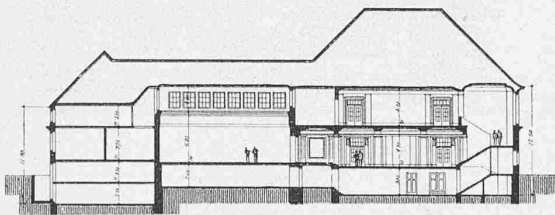
$$0,94 \cdot 0,944 \cdot 0,88 = 78 \%$$

gleich dem Durchschnitt der besten Wirkungsgrade der vier Geschwindigkeitsstufen, die Herr Kummer in seinem zitierten Aufsätze in Band LIX dieser Zeitschrift für Einphasen-Triebfahrzeuge anführt.

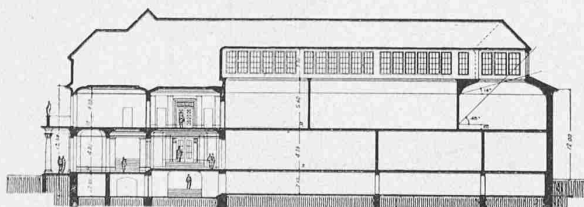
Engerer Wettbewerb für ein Museumsgebäude in Winterthur.



In den III. Rang gestellter Entwurf der Arch. Fritschi & Zangerl, Winterthur.



Querschnitt a-b (West-Ost). — 1 : 800.

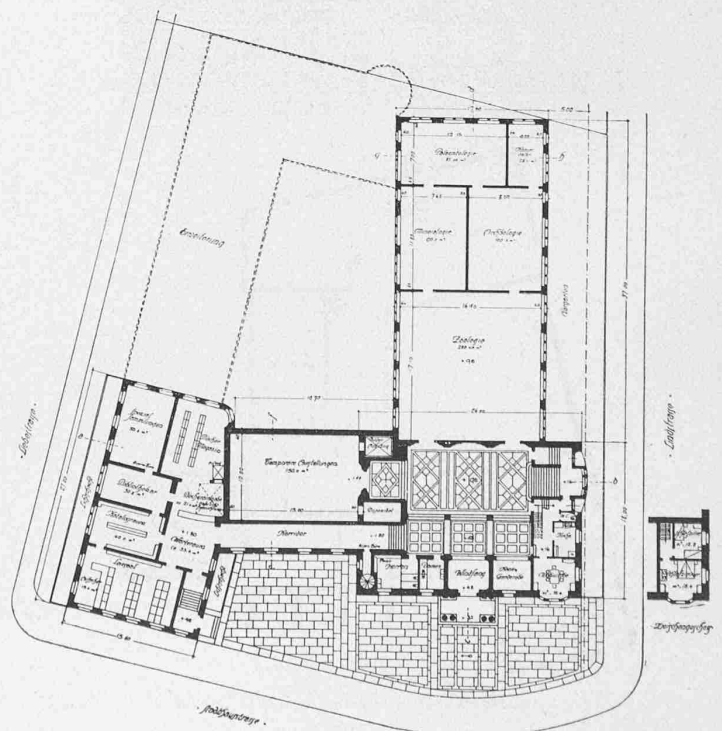


Längsschnitt c-d (Süd-Nord). — 1 : 800.

Entwurf der Architekten Fritschi & Zangerl in Winterthur.

Nebenan: Lageplan und Erdgeschoss-Grundriss.

Masstab 1 : 800.



Das zweite Diagramm ergibt den Stromverbrauch im Kraftwerk mit Stromrückgewinnung. Dieser ist bei Abzug des Verbrauches der Pumpen usw. $335 - 15 = 320 \text{ kwstd}$

gleich $1000 \frac{320}{2 \cdot 500 \cdot 10,4} = 30,75 \text{ wstd/tkm}$

auf der Schalttafel des Kraftwerkes und nicht $41,5 \text{ wstd/tkm}$, wie Herr Kummer berechnet. Der Unterschied rührt von dem Umstande her, dass Herr Kummer aus der Literatur die höchste Zahl des Kraftverbrauches und die niedrigste der Rückgewinnung ausgesucht und ohne jede Kritik zu seiner Rechnung verwendet hat. So hat er in den Stromverbrauch der Züge den Verbrauch der Kondensatorpumpen des Kraftwerkes und den Verbrauch des Rangierens in den Stationen mit eingerechnet. Auch für die Rückgewinnung hat er eine Zahl genommen, die bei den Versuchen von Santoro und L. Calzolari weit übertroffen worden ist.

Er berechnet nämlich ganz willkürlich auf Grund der von P. Verole gegebenen Zahlen als von einem 500 t -Zug in das Kraftwerk zurückgewonnene Energie $188,5 - 30,4 - 5,5 = 152,6 \text{ kwstd}$, wogegen von Santoro und L. Calzolari 215 kwstd im Kraftwerk gemessen worden sind.

Die Beobachtungen von Santoro und L. Calzolari, hauptsächlich die auf einen ganzen Tag sich erstreckenden, haben gezeigt, was im praktischen Betriebe möglich ist, und diese Tatsache wird dadurch nicht vermindert, dass ein anderes Mal unter andern Verhältnissen weniger gemessen worden ist, was durch zu frühes Ausschalten der Motoren vor Pontedecimo oder durch irrtümliches Bremsen einzelner Wagen des Zuges während der Fahrt wohl zu erklären ist.¹⁾ Da derselbe Fehler sich durch alle die Giovi-Linie betreffenden Rechnungen des Herrn Kummer zieht, so fasse ich mich auch nicht weiter mit denselben, sondern fahre in der Analyse der Betriebsergebnisse fort.

¹⁾ Andere Beobachtungen wie die von L. Calzolari gemachten, deren Diagramme in meinem Besitze sind, ergeben für einen 255 t schweren Zug $131,23 \text{ kwstd}$ am Kontakttrahnte zurückgewonnene Energie, was 257 kwstd bei einem 500 t -Zuge entspricht. Dies ist eine $5\frac{1}{2}\%$ günstigere Zahl als die aus den von Santoro und L. Calzolari veröffentlichten Diagrammen sich ergebende (244 kwstd). Ich will aber meine Antwort nur auf das zur Zeit der Vorlesung des Herrn Kummer Veröffentlichte basieren.

4. Stromrückgewinnung auf der Giovi-Linie.

Die von Santoro und L. Calzolari gemachten Messungen geben ein klares Bild davon, wie weit die Stromrückgewinnung den Erwartungen entsprochen hat. Der Gesamtbetrag der durch einen 500 t schweren Zug rückgewonnenen Energie ist 244 kwstd ¹⁾, ohne Abzug der zum Anfahren verbrauchten Energie, die auch beim Betriebe ohne Stromrückgewinnung auftritt,²⁾ was $\frac{244}{470} = 52\%$ der bergauf verbrauchten Energie ausmacht.

Man kann ausser dem Mittelwerte auch die den einzelnen Gefällen entsprechenden Werte durch Abmessen auf dem dritten Diagramm ermitteln. So findet man beispielsweise:
auf 20 ‰ 780 , bezw. 830 kw
„ $28, 29 \text{ ‰}$ $1200, 1050$, bezw. 1110 „
„ 35 ‰ 1600 „
was 51% , 55% , bezw. 61% der auf gleicher Steigung bei Bergfahrt am Kontakttrahnte verbrauchten Energie entspricht.

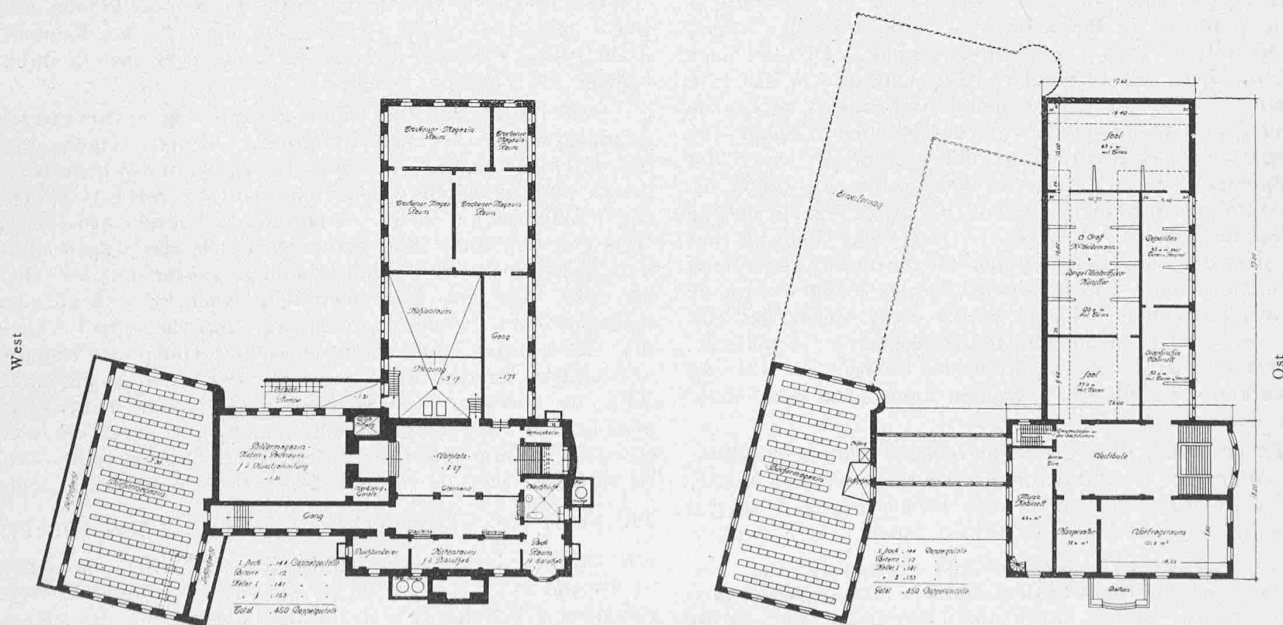
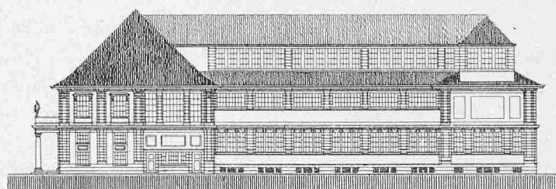
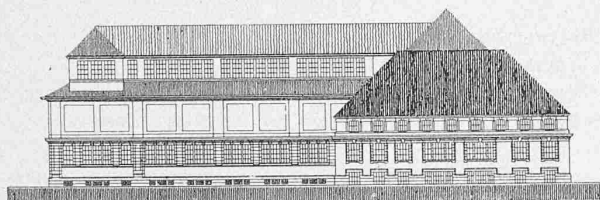
¹⁾ Diese Zahl ergibt sich aus einer genauen Planimetrierung der von Herrn Santoro dem Verfasser liebenswürdig überlassenen Originaldiagramme. Der dem Anlassen des talfahrenden Zuges entsprechende Mehrverbrauch ist 29 kwstd , und die Differenz $244 - 29 = 215 \text{ kwstd}$ ist die abzüglich des Anfahrverbrauches bleibende Nettorückgewinnung eines talfahrenden Zuges. Die grosse Abweichung der Zahl 29 kwstd von den am Trolleydraht beobachteten $23,5 \text{ kwstd}$ findet ihre Erklärung in dem Umstande, dass die zwei Anfahrten zusammenfallen, was die Primärleitungsverluste auf das Vierfache steigert und infolge des graphischen Abzuges der Diagrammflächen $\frac{3}{4}$ dieser gesteigerten Verluste zu Lasten des in Busalla anfahrenen Zuges fallen.

²⁾ Die meisten Autoren, die über Stromrückgewinnung schreiben, verwechseln die zwei Fragen:

- 1. Was ist der Unterschied im Stromverbrauch ohne und mit Rückgewinnung?
- 2. Wieviel Energie wird durch die talfahrenden Züge dem Netze zurückgegeben?

Zur Beantwortung der ersten Frage muss die ganze rückgewonnene Energie, ohne Abzug der beim Anfahren auf ebener Strecke oder auf Gegensteigungen verbrauchten, berechnet werden; denn diese wird auch beim Betriebe ohne Rückgewinnung verbraucht.

Zur Beantwortung der zweiten Frage hingegen muss der positive Verbrauch abgezogen werden; denn beim Ausfallen eines Zuges mit der rückgewonnenen Energie bleibt auch der positive Verbrauch aus.



Untergeschoss-Grundriss und Westfassade. — Masstab 1 : 800. — Obergeschoss-Grundriss und Ostfassade.

Diese im Kraftwerk gemessenen Ergebnisse stimmen gut überein mit den auf den Lokomotiven von Giorgio Calzolari gemachten Beobachtungen.¹⁾ Er hat nämlich auf einer Steigung von 21 ‰ 50 ‰ von 29 ‰ 57 ‰ und von 35 ‰ 62 ‰ gefunden.

Wenn wir diese Erfahrungszahlen mit dem von mir im Jahre 1909 veröffentlichten Diagramme vergleichen, so finden wir:

Steigung	Beobachtungen		Berechnetes Diagramm Aufsatz Kando (Lokomotive)
	G. Calzolari (Lokomotive)	Santoro und L. Calzolari (Kraftwerk)	
20 (21) ‰	50 ‰	51 ‰	51 ‰
26 ‰ ²⁾	—	52 ‰ ²⁾	57 ‰
29 ‰	57 ‰	55 ‰	59 ‰
35 ‰	62 ‰	61 ‰	—

barten, durch Unterwerke getrennten Abschnitt Strom abgenommen wird. Im ganzen genommen werden die Primärleitungsverluste infolge der Stromrückgewinnung eher vermindert.

Zum Beispiel ist der mittlere Stromverbrauch eines bergauffahrenden Zuges 400 Amp., wovon 375 Amp. Wattstrom und 145 wattloser Strom sind (470 *kwstd* in 14 1/2 Minuten).

Der talifahrende Zug gibt in 12 Minuten 244 *kwstd* zurück, was im Durchschnitt 235 Amp. negativem Wattstrom und 130 Amp. wattlosem Strom entspricht. Die resultierende Stromstärke ist aus

$375 - 235 = 140$ Amp. Wattstrom
und $145 + 130 = 275$ Amp. wattlosem Strom
entstanden, was 309 Amp. Gesamtstrom entspricht gegen 400 Amp. ohne Stromrückgewinnung.

Ueber Berechnungen und Messungen des Kraftbedarfs bei elektrischem Betrieb.

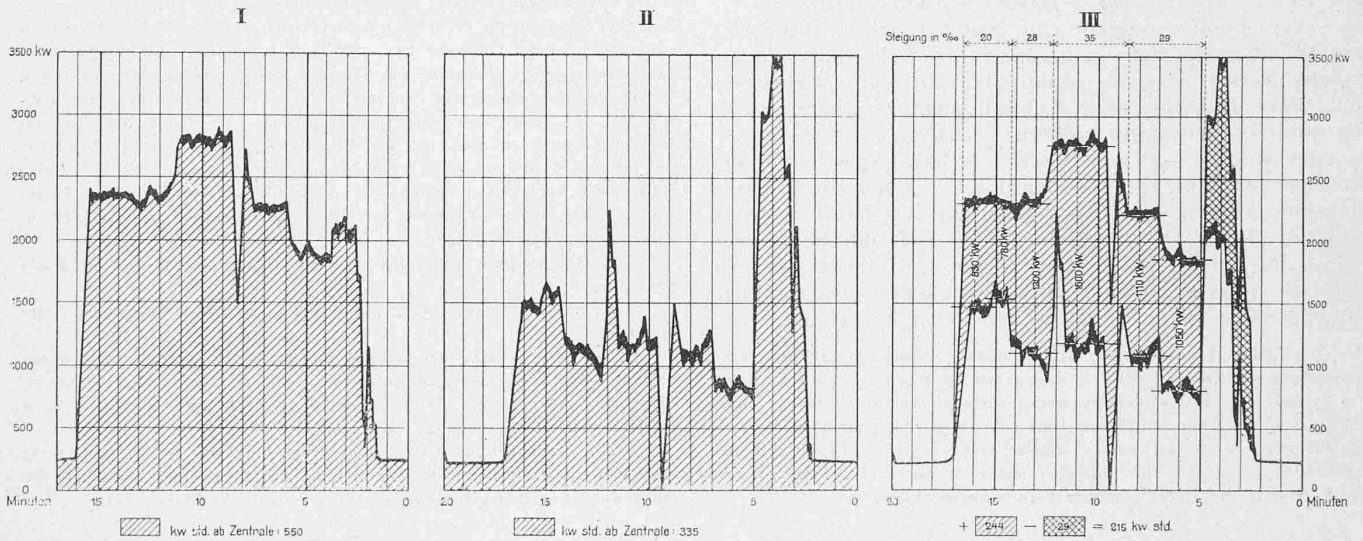


Abb. 1. Bergfahrt eines Zuges von 500 t Gesamtgewicht bei 45 km/std Geschwindigkeit.

Abb. 2. Gleichzeitige Bergfahrt und Talfahrt je eines Zuges von 500 t Gesamtgewicht.

Abb. 3. Darstellung der Energie-Rückgewinnung durch Aufeinanderlegen der Diagramme I und II.

Wir ersehen also erstens, dass die Rechnung ziemlich gut mit den Messungsergebnissen übereinstimmt, und zweitens, dass die auf der Lokomotive rückgewonnene Energie praktisch in ihrem ganzen Betrage auf der Schalttafel des Kraftwerkes zur Geltung kommt. Dies ist auch natürlich, wenn wir bedenken, dass, ebenso wie das Entnehmen von Energie aus einem Leitungsnetze an einem beliebigen Punkte desselben eine entsprechende Steigerung der Belastung des Kraftwerkes mit sich bringt, auch das Hineinpumpen von Energie in das System an einem beliebigen Punkte desselben eine entsprechende Verminderung der Belastung des Kraftwerkes zur Folge hat. Dies ist nur dann nicht der Fall, wenn infolge der Stromrückgewinnung eine Zunahme der Verluste auftritt, die der rückgewonnenen Energie gleichkommt. Nur in diesem Falle würde das eintreten, was Herr Kummer folgendermassen ausdrückt: „Andererseits wird zurückgewonnene Energie an von den Kraftwerken weit entfernten Stellen kaum noch bis in diese zurückkehren . . .“

Es ist wahr, dass die Stromrückgewinnung mit Mehrverlusten in der Kontaktleitung verbunden ist; im Kupfer der Transformatoren und in der Primärleitung hingegen nur dann, wenn weder in derselben, noch in dem benach-

Folglich werden die Primärleitungsverluste durch die Stromrückgewinnung wesentlich vermindert. Diese Verminderung gleicht die Mehrverluste der Kontaktleitung teilweise aus, und macht es möglich, dass die am Kontaktdraht rückgewonnene Energie im Kraftwerke fast in ihrem Ganzen zur Geltung kommt.

Auch die sich auf einen ganzen Tag erstreckenden Beobachtungen von Santoro und L. Calzolari zeigen, dass die durch Rechnung gefundene Rückgewinnung beim wirklichen Betrieb erzielt worden ist. Santoro und L. Calzolari haben nämlich bei 10 461 talifahrenden Tonnen 3160 *kwstd* Differenz zwischen dem Stromverbrauch des Tages ohne und desjenigen mit Rückgewinnung gefunden. Da aber an dem Tage mit Rückgewinnung auch die Anzahl der bergfahrenden Tonnen grösser war und die zum Leerlauf der Generatoren mit abgeschlossener Dampfeinströmung verwendete Energie nicht gemessen wurde, so ist die obige Zahl zu korrigieren, was rund 1200 *kwstd* mehr rückgewonnener Energie entspricht. Hierzu ist noch die vom Rheostat verbrauchte Energie mit rund 800 bis 1000 *kwstd* zu rechnen, was die Summe der rückgewonnenen Energie auf rund 5200 *kwstd*, bezw. $\frac{5200}{10\,461 \cdot 10,4} = 47,8$ *wstd* per *t*km bringt. Dementsprechend wird auf einen 500 t-Zug $47,8 \cdot 500 \cdot 10,4 \text{ km} = 247$ *kwstd* rückgewonnene Energie entfallen, gegenüber den 244 *kwstd*, die sich aus der Einzelmessung ergeben haben.

(Schluss folgt.)

¹⁾ G. Calzolari: «La trazione monofase e la trazione trifase», Vortrag, gehalten auf dem Intern. Elektr. Kongress in Turin, September 1911.

²⁾ Mittelwert, bezogen auf die ganze Fahrt. Dieser wird durch den Umstand vermindert, dass die Motoren schon ausgeschaltet werden und die Bremse angelegt wird, wenn der Zug vor Pontedecimo noch in Talfahrt ist.