

<b>Zeitschrift:</b>	Die Eisenbahn = Le chemin de fer
<b>Herausgeber:</b>	A. Waldner
<b>Band:</b>	6/7 (1877)
<b>Heft:</b>	19
<b>Artikel:</b>	Über die Betriebskosten stark ansteigender Eisenbahnen
<b>Autor:</b>	Culmann
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-1092340">https://doi.org/10.5169/seals-1092340</a>

### 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:** 17.02.2026

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

**INHALT.** — Fortsetzung des Protocols der XXVII. Jahres-Versammlung in Zürich des Schweizerischen Ingenieur- und Architecten-Vereins. Montag den 1. October 1877. Fachversammlung der Ingenieure und Maschinen-Ingenieure. Ueber die Betriebskosten stark ansteigender Eisenbahnen. Von Herrn Professor Culmann. — Das Kunstmuseum in Bern (Mit drei Clichés). Von Architect E. Stettler. — Brückeneinsturz in Bath. (Correspondenz). — Gesellschaft ehemaliger Studirender des eidgenössischen Polytechnikums in Zürich. Aus den Verhandlungen des Vorstandes. — Concurrence pour l'étude des plans d'un Hospice. — Vereinsnachrichten. Technischer Verein in Winterthur. — Kleinere Mithteilungen. — Stellenvermittlung der Gesellschaft ehemaliger Studirender des eidgenössischen Polytechnikums in Zürich.

**Fortsetzung des Protocols  
der**

**XXVII. Jahres - Versammlung in Zürich  
des**

*Schweizerischen Ingenieur- und Architecten - Vereins.*

Montag den 1. October 1877.

**Fachversammlung  
der Ingenieure und Maschinen-Ingenieure.**

**Ueber die Betriebskosten stark ansteigender Eisenbahnen.**

Von Herrn Professor Culmann.

Zur Ergänzung der von Herrn A b t so ausführlich beschriebenen Eisenbahnsysteme, die dazu benutzt werden, grosse Steigungen zu ersteigen, beabsichtigen wir hier noch ganz kurz die Betriebskosten zu berechnen, welche Adhäsions- und Zahnradlocomotiven verursachen (von den übrigen Systemen sind uns keine statistischen Daten bekannt), und im Anschluss an diese Rechnung die vortheilhaftesten Steigungen für dieselben zu bestimmen.

Wir legen unsren Rechnungen vorzugsweise die 1876, Bd. V, Seite 166 mitgetheilten Zusammenstellungen der Betriebsergebnisse einiger Bahnen zu Grunde. Jene Notizen sind zwar sehr unvollständig, und unsere Rechnungen können daher nur auf einen geringen Grad von Genauigkeit Anspruch machen; allein wir hoffen, dass gerade solche Rechnungen die Bahnverwaltungen veranlassen werden, die bezüglichen Daten vollständiger zu geben.

Bei unsren Rechnungen können wir die Construction der Locomotive und die mit derselben zusammenhängende Locomotiv-Theorie füglich ausser Acht lassen; wir nehmen die Summe aller vorkommenden Widerstände rund gleich  $\tau' = 0,006$  des Bruttogewichtes an, den grossen Steigungen von  $\tau = 0,025$  bis 0,16 gegenüber, die wir im Auge haben, kommen sie ja kaum in Betracht.

Wir denken nun in folgender Weise vorzugehen:

Die in dem oben citirten Aufsatz aufgezählten Kosten, nämlich :

- a) die allgemeinen Kosten,
- b) Expeditionskosten,
- c) die Fahrkosten,
- d) die Zugkraftskosten,

wollen wir, algebraisch als Functionen der Steigung  $\tau$  ausdrücken und durch Differenzen dieser die vortheilhafteste Steigung, dann deren Betriebskosten darstellen.

Die Substitutionen sollen ausgeführt werden: für zwei Adhäsionsmaschinen von 45 und von 24 Tonnen, und für eine Zahnradlocomotive von 18 Tonnen.

Ferner wollen wir die Rechnungen für einen grossen und für einen kleinen Verkehr durchführen; wir nehmen die durchschnittlich zu befördernden

	Personen	Tonnen
beim grossen Verkehr an zu	400 000	320 000
" kleinen	40 000	32 000
dem grossen Verkehr entsprechen brutto	280 000 t.	800 000
" kleinen	28 000 "	80 000

im Ganzen sind also brutto zu transportiren

1 080 000 und 108 000 Tonnen,

wobei angenommen wurde, dass die Person zum Transport von 0,7 und die Tonne zu dem von 2,5 Tonnen brutto Veranspruch gebe.

Ferner wollen wir die Rechnungen einmal ohne, einmal mit Berücksichtigung der Zinsen des Anlagecapitals ausführen. Bei Berücksichtigung derselben müssen sie natürlicher Weise immer zu den betreffenden Betriebskosten geschlagen werden.

Bei Berechnung der Zinsen werden wir die folgenden kilometrischen Baukosten annehmen, und jeweilen den betreffenden Abschnitt den Betriebskosten beifügen:

Fr.  
Baukosten pro  
Kilometer

a) den allgemeinen Kosten, die Zinsen der Baukosten der Bahn im freiem Felde, welche der Bahnlänge schlechtweg proportional sind, von	360 000
b) den Expeditionskosten, die Zinsen der Baukosten der Bahnhöfe, und ihres Mobiliars, von	36 000
c) den Fahrkosten, die Zinsen der Wagenpreise von	20 000
d) den Zugkraftskosten, die Zinsen der Kaufkosten der Maschinen und der Baukosten der Werkstätte zu	34 000
	Fr. 450 000

Diese Kosten entsprechen annähernd den Baukosten der französischen Ostbahnen und dürften die mittleren Kosten einer schweizerischen Bergbahn darstellen. Wir glaubten etwas hoch greifen zu müssen, gerade weil wir Bergbahnen im Auge haben.

Der Verkehr der Ostbahnen ist sehr gross; wenn die Bahn für einen viel kleineren Verkehr berechnet werden soll, so bedarf es verhältnissmässig weniger Wagen und Maschinen, wir werden daher die Zinsen der Wagen proportional dem kleinen Verkehr, die der Maschine proportional der weniger geleisteten Arbeit reduciren. Auch die Bahnhöfe werden bei dem ganz kleinen Verkehr sicher geringere Ausdehnung haben müssen; wir werden daher ihre Baukosten auf die Hälfte herabsetzen können. Für einen Verkehr von 1/10 des grossen Verkehrs werden dann nur die folgenden Baukosten

$$360\,000 + 18\,000 + 2000 + 3400 = 383\,400 \text{ Fr.}$$

eingeführt.

Für secundärartig gebaute Bahnen könnten die Kosten noch weiter vermindert werden, doch beschäftigen wir uns hier nicht mit diesem Fall.

Wir wollen nun auf die Discussion und algebraische Darstellung der verschiedenen Betriebsausgaben eintreten.

*a) Allgemeine Kosten.*

Diese variieren vom Minimum 1900 Fr. bei der Emmenthalbahn bis zu 10 600 bei der Centralbahn, Bahnhofshaltung inbegriffen. Bei der Vitznau-Rigi-Bahn betragen sie 4900 Fr., 500 Fr. für Unterhaltung der Zahnstange nicht inbegriffen. Da wir einen grossen Verkehr, nämlich den der Nordostbahn voraussetzen, da ferner der Natur der Sache nach eine Gebirgsbahn vorausgesetzt werden muss, so nehmen wir an sie betragen

Fr. 8 000

für Zahnradbahnen fügen wir denselben für Unterhaltung der Zahnstange zu

" 500

sollen bei Bestimmung der Betriebskosten auch die Zinsen des Anlagecapitals berücksichtigt werden, so fügen wir denselben weiter die Zinsen von 360 000 Fr. für Erstellung der Bahn im Freien zwischen den Stationen bei

" 18 000

schätzt man die Kosten für die Erstellung der Zahnstange auf 60 000 Fr., so sind bei der Zahnradbahn noch weiter als Zinsen in Rechnung zu bringen

" 3 000

Bei vielen Technikern herrscht die Meinung, es wachsen die allgemeinen und die Unterhaltungskosten mit den Steigungen. Wollte man diesem Gefühle (bestimmte Erfahrungen liegen hierüber noch nicht vor) Rechnung tragen, so müsste man noch ein Glied von der Form  $b\tau$  addiren. Wir werden  $b = 10000$  Fr. setzen. Da übrigens alle jetzt aufgezählten Kosten mit der Länge oder mit  $\frac{1}{\tau}$  zu multiplizieren sind, so fällt das mit  $b$  behaftete Glied unter die constanten Kosten und übt keinen Einfluss auf die Bestimmung der zweckmässigsten Steigung, wohl aber auf die Gesammtbetriebskosten aus.

Setzt man also die allgemeinen Kosten  $= (a + b\tau) l$ , so hat man für  $a$  einzusetzen:

	ohne Zinsen	mit Zinsen
Für gewöhnliche Bahnen	8 000	26 000
Für Zahnradbahnen	8 500	29 500
Für $b$ wollen wir immer setzen		10 000

### b) Die Expeditionskosten

sind natürlich von den Variationen der Steigungen ganz unabhängig, sie sind bei der Emmenthalbahn am billigsten und betragen dort nur 0,032 per Person und 0,621 pro Tonne, bei den grösseren Bahnen zwischen 0,046 respective 0,321 bis 0,07 respective 0,95; bei der Rigi bahn erreichen dieselben sogar 0,09 respective 1,85; wir nehmen als Mittelzahl 0,06 respective 0,80 an.

Die Zahl der vom durchschnittlichen Verkehr per Kilometer zu expedirenden Personen und Güter variiert außerordentlich. Bei kurzen Bahnen kann natürlich keine Person einen grösseren Weg als die Bahnlänge ist, zurücklegen; bei grossen Bahnen dagegen legen Personen und Waaren durchschnittlich zwischen 25 und 40 Kilometer zurück. Da wir uns sowohl für den grossen als wie für den kleinen Verkehr die Bahn unter den gleichen Verhältnissen denken müssen, so nehmen wir an, Waaren und Güter legen durchschnittlich 32 Kilometer zurück. Beim grossen Verkehr sind also durchschnittlich 12 500 Personen und 10 000 Tonnen zu expedieren, beim kleinen nur  $\frac{1}{10}$  davon.

Zur Berücksichtigung der Zinsen addiren wir hiezu für den grösseren Verkehr 1800 und für den kleinen 900 Fr., die wir gleichmässig auf den Güter- und Personendienst vertheilen und erhalten so die Expeditionskosten per Kilometer:

	ohne Zinsen	mit Zinsen
Für Expedition der Personen bei grossem Verkehr $12500 : 0,06 =$	750	1650
Für Expedition der Personen bei kleinem Verkehr	75	525
Für Expedition der Güter: bei grossem Verkehr $10000 \cdot 0,80 =$	8000	8900
" kleinem     "	800	1250

Durch Berücksichtigung der Zinsen werden also die Expeditionskosten der Person von 0,06 auf 0,122 bei grossem und auf 0,42 bei kleinem Verkehr gesteigert; die der Güter von 0,80 auf 0,89 bei grossem und auf 1,25 bei kleinem Verkehr.

Unsere Formeln werden uns dazu führen die Kosten für das Ersteigen eines Kilometers Höhe zu berechnen, dabei dürfen dann die jetzt ermittelten Expeditionskosten nicht durch das Gefäll der Bahn dividirt werden, indem es ja für die Expedition ganz einerlei ist, ob die nächste Station auf grösserem oder kleinerem Weg, in längerer oder kürzerer Zeit erreicht wird.

Es sind daher die Expeditionskosten pro Kilometer Höhe durch das natürliche Gefäll des Thales zu dividiren, welches auch das Gefäll der Bahn in demselben sei. Nehmen wir dieses zu 0,07 an, so betragen die Expeditionskosten für Ersteigung eines Kilometers Höhe, die wir im Ganzen mit  $\xi$  bezeichnen wollen

	ohne Zinsen	mit Zinsen
bei grossem Verkehr $8750 : 07$	Fr. 125 000	150 714
" kleinem     "	" 12 500	25 357

In den kilometrischen Kosten, sind für die Expedition noch  $\xi\tau$  einzuführen, damit sie  $\xi$  werden, wenn sie mit dem Gefäll  $\tau$  dividirt werden, um die Kosten für Ersteigung eines Kilometers zu erhalten.

### c) Fahrkosten.

Die Fahrkosten für Conducteure und Bremser, sind in keinem Rechenschaftsbericht für den Personen- und den Güterdienst ausgeschieden. In der Meinung, dass Züge mit gleich viel Wagen auch gleich viel Dienstpersonal erfordern, haben wir die hiefür in den Rechenschaftsberichten aufgezählten Kosten proportional dem transportirten Bruttogewicht vertheilt. Wenn z. B. eine Bahn pro Person 0,700 Tonnen brutto und pro Tonne netto 2,800 Tonnen brutto transportirt, so haben wir pro Tonne  $\frac{2,8}{0,7} = 4$  viermal so viel Fahrkosten als für eine Person bei der Vertheilung angenommen.

Diese Kosten betragen pro Kilometerperson respective Tonnen bei den Westschweizerischen Bahnen 0,0021 respective 0,0111; bei der Centralbahn 0,0030 respective 0,0134; bei der Rigi bahn 0,016 respective 0,170; bei der Uetlibergbahn 0,0875 respective 0,2624.

Man sollte glauben, dass diese Fahrkosten für Conducteure, Bremser nothwendiger Weise, wenigstens bei richtiger Ausnützung des Personals, der auf die Fahrt verwendeten Zeit proportional sein, und demnach für langsam fahrende Züge erhöht werden sollte. Berücksichtigt man jedoch, dass die Geschwindigkeiten, mit welchen Züge Höhen erklimmen, und hierauf kommt es ja in vorliegendem Fall allein an, nicht bedeutend von einander abweichen, so wird man wohl die Fahrkosten der erstiegenen Höhe proportional annehmen können. Auf der Uetlibergbahn ersteigt man z. B. 400 m in einer halben Stunde, also 0,800 Kilometer in einer Stunde; auf der Vitznau-Rigi bahn ist die Geschwindigkeit 5 Kilometer, die mittlere Steigung 0,188, also 0,940 Kilometer in einer Stunde; auf der Arth bahn  $8 \cdot 0,131 = 1,048$  Kilometer; auf einer Steigung von 0,025 steigt man mit 30 Kilometer horizontaler Geschwindigkeit 0,750 m; bei 40 Kilometer auf 0,01 Steigung 0,400. Auf der Arth-Rigi bahn wird also am schnellsten in die Höhe gestiegen, doppelt so schnell als auf 0,01 Steigung.

Da demnach die Fahrkosten auf Steigungen pro Kilometer Höhe jedenfalls nicht mehr als auf geringen Steigungen kosten werden, und da es gleichgültig ist, ob die Conducteure eine gewisse Höhe in der gleichen Zeit ersteigen, entweder mit grösserer Geschwindigkeit auf der längern, oder mit kleinerer auf der kürzeren Bahn, so können wir diese Kosten wie die Expeditionskosten constant für Ersteigung eines Kilometers Höhe annehmen. Bei dem Rigi betragen die kilometrischen Fahrkosten 0,016 Fr., da aber mit dem Kilometer circa 0,188 Höhe ersteigten werden, so betragen sie für das Ersteigen von 1 Kilom. Höhe  $\frac{0,016}{0,188} = 0,085$  Fr.

Nimmt man an, die Fahrkosten der Centralbahn von 0,03 à Person seien auch gültig für 0,025 Steigung, so betragen bei dieser die Fahrkosten für Ersteigung eines Kilometers 0,120 Fr. Wir wollen daher die Fahrkosten für Ersteigung eines Kilometers Höhe zu 0,1 Fr. annehmen.

Da man für die Tonne ungefähr 3,5 Mal so viel Bruttogewicht transportirt als wie für eine Person, nämlich zwischen  $2,2$  bis  $\frac{2,8}{0,8}$ , so nehmen wir sie für die Tonne zu 0,35 an.

Da der Wagenpark von 20 000 Fr. per Kilometer ungefähr dem Verkehr der Centralbahn entspricht und wir annehmen, dass er noch für 0,025 Steigung gültig sei, so rechnen wir statt 1000 Fr. Verzinsung für einen Kilometer Länge, Fr. 40 000 für einen Kilometer Höhe und vertheilen den Betrag proportional auf die Fahrkosten für Güter und Personen, und erhalten für diese die folgenden Beträge bei grossem Verkehr:

	ohne Zinsen	mit Zinsen
400 000 Personen à 0,100 Fr.	40 000	50 000
320 000 Tonnen à 0,350	" 112 000	142 000

Bei dem kleinen Verkehr sind die Fahrkosten natürlich  $\frac{1}{10}$  dieser Beträge.

Durch Verzinsung des Wagenparkcapitals erhöhen sich also die Transportkosten von 0,1 respective 0,35 auf 0,125 respective 0,44.

Bezeichnet man die Gesamtfahrkosten mit  $\tilde{\delta}$  per Kilometer Höhe, so sind in die Formeln pro Kilometer Länge natürlich  $\tilde{\delta} \tau$  einzuführen, damit sie nach der Division mit dem Gefäll  $\tau$  werden.

#### d) Die Zugkraftskosten.

Die Zugkraftskosten zerfallen in solche, welche von der Zugkraft der Locomotive unabhängig und in solche, welche ihr proportional sind. Die ersten bestehen hauptsächlich aus den Besoldungen der Locomotivführer, Heizer und einem Theil der Putzmaterialpreise; die letzteren aus allen Kosten, welche mit der Zugkraft zunehmen, also aus den Kosten für Brennmaterial, Wasserbeschaffung, Speismittel und Reparaturen.

Die constanten Kosten variieren auf den Bahnen, welche keine abnormen Steigungen haben, innerhalb sehr engen Grenzen, zwischen 0,14 Fr. und 0,29 Fr. pro Locomotivkilometer. Dagegen steigen sie beim Uetliberg auf 0,41 und beim Rigi auf 1,000. Wollte man das sub  $c$  über das Fahrpersonal gesagte auch auf die Locomotivführer anwenden, so müssten diese Kosten eigentlich pro erstiegene Höhe constant sein und pro zurückgelegte Länge im Verhältniss der Steigung wachsen; allein das trifft nicht vollständig zu, und wir werden daher dazu geführt ihnen die Form  $(c + f \tau)$  zu geben, was nichts anderes heisst als anzunehmen, dass ein Theil dem zurückgelegten Weg, ein anderer Theil der erstiegenen Höhe proportional sei.

Die Formel  $(0,30 + 1,5 \tau)$  gibt für die Uetlibergbahn bei  $\tau = 0,07$  die constanten Kosten = 0,405; für den Rigi bei  $\tau = 0,188$  geben sie 0,58 Fr. pro Locomotivkilometer. Sie dürfte daher für Bergbahnsysteme passen, für Bahnen in der Niederung mit ganz kleinen Steigungen geben sie zu grosse Beträge.

Die variablen Kosten sollten eigentlich dem von der Peripherie des Triebades ausgeübten Zug, also der Zugkraft, der geleisteten Arbeit proportional angenommen werden. Es war uns nun nicht möglich diese Kosten aus den Rechenschaftsberichten zu ermitteln, indem die Anhaltspunkte zur Berechnung der Zugkraft meist fehlen. Wir haben sie nur für die Nordostbahn, die Uetliberg- und die Vitznau-Rigi-Bahn berechnen können, und die Resultate wurden schon Bd. V, S. 167 dieser Zeitschrift mitgetheilt. Sie betragen für diese drei Bahnen 0,34, 0,41 und 0,79 Fr. pro Tonne Zug, ausgeübt auf eine Länge von 1 Kilometer, also pro Tonnenkilometer Zug.

Die Formel:

$$0,332 + 0,634 \tau + 5,48 \tau^2$$

würde diese Kosten geben, wenn man für  $\tau$  die Maximalsteigungen von 0,012, 0,075 und 0,24 substituiert. Wir glaubten der Formel die Maximalsteigungen zu Grunde legen zu müssen, weil ja für diese die Maschine berechnet wird, und es dann nicht viel weniger kostet, wenn sie geringere Lasten zieht oder auf geringeren Steigungen läuft.

Es kommt uns sehr natürlich vor, dass man den Zugkraftskosten die Form:

$$(\gamma + z \tau) Z$$

gibt, worin  $\gamma$  und  $z$  Constanten und  $Z$  die Zugkraft bezeichnet. Allein es widerstrebt uns dem  $\gamma + z \tau$  noch ein  $\tau^2$  beizufügen, durch welches die rapide Zunahme der Zugkraftskosten auf der Vitznau-Rigi-Bahn ausgedrückt wird. Diese Zunahme steht eigentlich in Widerspruch mit der theoretisch richtigen Behauptung der Vertreter der Zahnradbahnen, dass ihre leichten Locomotiven mit der grossen Uebersetzung und dem langsamen Gang, die Kraft billiger liefern als wie gewöhnliche Locomotiven. Wenn sie das nicht thun, so röhrt das daher, dass diese Berglocomotiven ihrer Art nach noch lange keine vollendet ausgebildeten Constructionen sind. Zur Zeit Stephensons waren die Zugkraftskosten trotz der billigeren Kohlen, 10 Mal grösser als

heute, und wie diese Locomotiven sich vervollkommenen, so werden sich auch Bergbahnlocomotiven vervollkommenen und es wird jedenfalls das Glied  $z \tau$  genügen, um einem etwaigen Zuwachs bei grösseren Steigungen Ausdruck zu geben; denn eigentlich sollte jede Locomotive Kraft um gleichen Preis geben und nicht einmal der Beisatz  $z \tau$  sollte nothwendig sein. Wir setzen demnach die variablen Zugkraftskosten gleich  $(0,4 + 0,6 \tau) Z$ , worin das erste Glied etwas stärker angenommen würde, um das Weggelassene zu compensiren. Die totalen Zugkraftskosten sind also pro Locomotivkilometer:

$$\begin{aligned} &c + f \tau + (\gamma + z \tau) Z, \text{ oder} \\ &0,3 + 1,5 \tau + (0,4 + 0,6 \tau) Z. \end{aligned}$$

Diese kilometrischen Kosten sind noch zu multipliciren mit den jährlich auszuführenden Locomotivkilometern.

Bezeichnen wir mit  $\tau'$  die sämtlichen auf theoretischem oder practischem Wege ermittelten Reibungswiderstände, mit  $T$  die durchschnittlich durch eine Locomotive beförderten Bruttotonnen, dann hat man approximativ:

$$(T + M)(\tau + \tau') = Z = \xi M$$

wenn  $M$  das Gewicht der Maschine ist. Die Verhältnisszahl  $\xi$  hat als obere Grenze bei Adhäsionsmaschinen die mittlere jährliche Adhäsion von 0,16, die in der Regel ausgenützt wird. Bei Zahnradbahnen ist dieser Coefficient auf 0,30 gestiegen. Diese Formel gibt:

$$\frac{T}{M} = \frac{\xi - \tau - \tau'}{\tau + \tau'}$$

Ist ferner  $\mu M$  das totale zu transportirende Bruttogewicht, wo  $\mu$  dieses Gewicht in Maschineneinheiten ausdrückt, so ist die Zahl der jährlich auszuführenden Locomotivkilometer gleich:

$$\frac{\mu M}{T} = \frac{(\tau + \tau') \mu}{\xi - \tau - \tau'}$$

Die gesammten Zugkraftskosten sind daher:

$$[c + f \tau + (\gamma + z \tau) Z] \frac{(\tau + \tau') \mu}{\xi - \tau - \tau'}$$

$\tau'$  kann durchschnittlich = 0,006 gesetzt werden.  $\xi$  nehmen wir bei Adhäsionsbahnen = 0,166 und bei Zahnradbahnen = 0,306 an. Das Maschinengewicht ist in jedem speciellen Fall besonders anzurechnen und den örtlichen Verhältnissen anzupassen, wodurch dann auch  $Z = \xi M$  und  $\mu$  gegeben sind.

Diesen Kosten sind noch die Zinsen der Locomotive und Werkstätten beizufügen. Es ist klar, dass dieselben proportional mit den ausgeführten Zügen wachsen, denn wenn auf einer Bahn doppelt so viele Züge ausgeführt werden sollen, so wird, die gehörige Ausnutzung des Materials verausgesetzt, doppelt so viel an der Locomotive reparirt werden und die Werkstätten die doppelte Ausdehnung haben müssen. Die Zinsen müssen also durch Vergrösserung der Coefficienten in der grossen Klammer  $c f \gamma z$  aufgebracht werden. Unter diesen Coefficienten sind  $f$  und  $z$  mit  $\tau$  behaftet,  $c$  und  $\gamma$  dagegen nicht; wollte man annehmen, dass die Reparaturen bei gleicher, geleisteter Arbeit, auf grösseren Steigungen grösser als wie auf kleinen sind, z. B. in Folge dessen, dass complicirtere Maschinen auf ersterer laufen, so müssten  $f$  und  $z$  mit der Verzinsung belasten werden. Da nun aber diese Annahmen unzulässig sind, wenn es sich um Maschinen ähnlicher Construction handelt, und eine Vergrösserung dieser Coefficienten, ein successives Zunehmen der Reparaturkosten mit zunehmender Steigung, und kein plötzliches mit sich ändernder Construction darstellen würde, so erscheint eine Belastung der Coefficienten  $f$  und  $z$  mit den Zinsen der Werkstätten und Locomotiven unzulässig. Es müssen also  $c$  und  $\gamma$  mit denselben belastet werden; belastet man  $c$  allein damit, so bedeutet dies, dass die Ausdehnung der Werkstätte ganz unabhängig von der Grösse der Locomotiven und proportional ihrer Zahl ist; die Belastung von  $\gamma$  allein würde aber bedeuten, dass dieselbe einzige und allein der durch die Locomotive geleisteten Arbeit proportional ist. Letzteres ist nun vorzugsweise der Fall, z. B. die Zinsen der Locomotivkosten müssen nur durch Vergrösserung von  $\gamma$  aufgebracht

werden, dagegen wird ein Theil der Zinsen der Werkstätten c vergrössern. Nimmt man für den grossen Verkehr die kilometrischen Kosten der Locomotiven zu 18 000 und schlägt deren Zinsen ganz zu  $\gamma$  und ebenso noch die Zinsen der Hälfte des Restes von 34 000 Fr., also von 8 000 Fr. oder 400 Fr. auf c, und 1 300 Fr. auf  $\gamma$ , so haben wir erstere durch die Anzahl Locomotivkilometer und letztere durch ihr Product mit der Zugkraft zu dividiren, um den Zuschlag zu erhalten.

Betrachten wir das Capital von 34 000 Fr. als auf eine gewöhnliche Bahn mit 0,01 Steigung und Locomotiven von 45 Tonnen Gewicht passend, so ist

$$\mu = 1080000 : 45 = 24000, Z = 0,166 \cdot 45 = 7,47$$

und man erhält die Anzahl Locomotivkilometer

$$= \frac{(0,01 + 0,006) 24000}{0,166 - 0,01 - 0,006} = 2566.$$

Es betragen demnach die Verzinsungszuschläge von c:

$$\frac{400}{2500} = 0,156, \text{ und der von } \gamma: \frac{1300}{2560 \cdot 7,47} = 0,068.$$

Wir addiren sie zu c und  $\gamma$ , welche durch die Abrundung 0,46 und 0,47 werden. Bei Berücksichtigung der Capitalverzinsung, rechnen wir also die Zugkraftskosten zu:

$$[0,46 + 1,5 \tau + (0,47 + 0,6 \tau) Z] \frac{(\tau + \tau') \mu}{\xi - \tau - \tau'}$$

#### e) Die vortheilhafteste Steigung.

Wir stellen jetzt die ermittelten Kosten zusammen, sie sind pro Kilometer Bahn gleich:

$$\begin{aligned} \mathfrak{K} &= a + b \tau + \mathfrak{C} \tau + \mathfrak{D} \tau \\ &+ [c + f \tau + (\gamma + z \tau) Z] \frac{(\tau + \tau') \mu}{\xi - \tau - \tau'}. \end{aligned}$$

Mittelst dieser Formel kann man nun für specielle Verhältnisse durch Substitutionen ähnlich den oben angeführten, die Betriebskosten  $\mathfrak{K}$  berechnen. Allein man kann auch mittelst derselben die vortheilhafteste Steigung zur Erklimmung einer Höhe bestimmen. Die Kosten, um einen Kilometer Höhe zu ersteigen, sind  $\mathfrak{K} : \tau$ . Durch Differenzirung derselben, erhalten wir unmittelbar die vortheilhafteste Steigung. Wir bringen  $\mathfrak{K} : \tau$  auf die folgende Form:

$$\begin{aligned} \frac{\mathfrak{K}}{\tau} &= b + \mathfrak{C} + \mathfrak{D} - (c + \gamma Z) \mu + \left[ a + (f + z Z) - \frac{\mu \tau'}{\xi - \tau'} \right] \frac{1}{\tau} \\ &+ \left[ c + \gamma Z + \frac{f + z Z}{\xi - \tau'} \right] \frac{\xi \mu}{\xi - \tau - \tau'}. \end{aligned}$$

Zur Vereinfachung setzen wir nun:

$$\begin{aligned} \mathfrak{A} &= a + (f + z Z) \frac{\mu \tau'}{\xi - \tau'}, \\ \mathfrak{B} &= \left[ c + \gamma Z + \frac{f + z Z}{\xi - \tau'} \right] \mu \xi, \\ \mathfrak{C} &= b + \mathfrak{C} + \mathfrak{D} - (c + \gamma Z) \mu, \end{aligned}$$

und erhalten die Kosten zur Ersteigung eines Kilometers Höhe in der Form:

$$\frac{\mathfrak{K}}{\tau} = \frac{\mathfrak{A}}{\tau} + \frac{\mathfrak{B}}{\xi - \tau - \tau'} + \mathfrak{C},$$

worin  $\mathfrak{A}$ ,  $\mathfrak{B}$  und  $\mathfrak{C}$  Constanten oder von  $\tau$  unabhängige Grössen sind.

Setzen wir den ersten Differential-Quotienten in Bezug auf  $\tau = 0$ , so erhalten wir zur Bestimmung der zweckmässigsten Steigung:

$$\frac{\mathfrak{A}}{\tau^2} = \frac{\mathfrak{B}}{(\xi - \tau - \tau')^2}$$

und hieraus folgt:

$$\begin{aligned} \frac{\xi - \tau - \tau'}{\tau} &= \sqrt{\frac{\mathfrak{B}}{\mathfrak{A}}}, \\ \frac{\xi - \tau'}{\tau} &= 1 + \sqrt{\frac{\mathfrak{B}}{\mathfrak{A}}}, \\ \frac{\xi - \tau'}{\xi - \tau - \tau'} &= 1 + \sqrt{\frac{\mathfrak{A}}{\mathfrak{B}}}. \end{aligned}$$

Die Minimalkosten zur Ersteigung einer gewissen Höhe sind dann:

$$\frac{\mathfrak{K}}{\tau} = \frac{1}{\xi - \tau'} (\sqrt{\mathfrak{A}} + \sqrt{\mathfrak{B}})^2 + \mathfrak{C}.$$

#### f) Beispiel.

Wir wollen nun die bisherigen Entwickelungen auf ein Beispiel anwenden und die vortheilhaftesten Steigungen, so wie die denselben entsprechenden Minimalbetriebskosten zum Ersteigen eines Kilometers Höhe berechnen, für:

**schwere Locomotiven von  $M = 45$  Tonnen,**  
wir denken an die des Hauensteins,  
**leichte Locomotiven von  $M = 24$  Tonnen,**  
wir denken an die Uetlibergbahn,  
**Zahnradlocomotiven von  $M = 18$  Tonnen,**  
wobei wir die des Rigi vor Augen haben,

und zwar für den im Eingang angenommen grossen Verkehr von 1 080 000, und für einen kleinen Verkehr mit nur 108 000 Tonnen mit und ohne Berücksichtigung der Zinsen.

Wie wir schon bemerkten, nehmen wir die von der Steigung unabhängigen Widerstände  $\tau' = 0,006$  pro Tonne an,  $\xi = 0,166$  für die beiden Adhäsionsmaschinen und 0,306 für die Zahnradlocomotive. Dann erhält man für die drei Systeme:

	Schw. Maseh. 45 t.	Lcht. M. Zahnr. M. 24 t.	18 t.
$Z = M \xi =$	7,475	3,894	4,508
dann bei grossem Verkehr $\mu = 1080000 : M =$	24000	45000	60000

und „ kleinem „  $\mu = 108000 : M =$

2400 4500 60000  
Die Substitution dieser und der in den vorigen Abschnitten mitgetheilten Zahlen geben nun die auf der nächsten Seite tabellarisch zusammengestellten Resultate:

Bis zur Zeile  $\mathfrak{K} : \tau$  folgt alles dem in e algebraisch ange deuteten Gang; die beiden Zeilen Verhältniszahlen geben an, wie viel mal mehr der Betrieb auf Adhäsionsmaschinen kostet, als der mit Zahnradlocomotiven.

Ferner haben wir noch  $\tau = 0,025; 0,07$  und  $0,20$  in die Formel

$$\mathfrak{K} : \tau = \frac{\mathfrak{A}}{\tau} + \frac{\mathfrak{B}}{\xi - \tau' - \tau} + \mathfrak{C}$$

substituiert, und so die Kosten erhalten, welche der Betrieb mit derselben Locomotive auf einer Bahn von 0,025 Steigung verursachen würde. Auf diese Zeile folgen die entsprechenden Verhältniszahlen.

#### g) Vergleichung der Resultate.

Vor allem müssen wir bemerken, dass die folgenden Resultate von den auf Seite 108 dieses Bandes mitgetheilten etwas abweichen; es röhrt dies daher, dass wir uns veranlasst sahen, die constanten Kosten des Locomotivkilometers c etwas zu erhöhen. Ferner hatten wir damals bei Berücksichtigung der Verzinsung nur das a, die allgemeinen den Kilometern proportionalen Kosten mit Zinsen belastet, während wir jetzt auch bei den übrigen Abtheilungen die Zinsen berücksichtigen.

Beide Aenderungen, namentlich aber die letztern, gestalteten die Kostenfrage bedeutend zu Gunsten der Zahnradbahnen.

Betrachten wir nun die vortheilhaftesten Steigungen  $\tau$ , so fällt vor allem auf, dass auch die kleinste von 0,036 Gefäll viel grösser ist als die von 0,025 ist, die man bis jetzt als Maximum zu betrachten pflegte.

Hierüber darf man sich nicht wundern, denn seitdem diese Maximalsteigung festgestellt wurde, hat der Maschinenbau Fortschritte gemacht. Sie wurde festgesetzt als Bayern im Jahre

	Schwere Locomotiven 45 t.				Leichte Locomotiven 24 t.				Zahnradlocomotiven 18 t.			
	Grosser Verkehr		Kleiner Verkehr		Grosser Verkehr		Kleiner Verkehr		Grosser Verkehr		Kleiner Verkehr	
	Ohne Zinsen	Mit Zinsen	Ohne Zinsen	Mit Zinsen	Ohne Zinsen	Mit Zinsen	Ohne Zinsen	Mit Zinsen	Ohne Zinsen	Mit Zinsen	Ohne Zinsen	Mit Zinsen
A ...	13204	31204	8520	26520	14565	32565	8657	26657	14266	35266	9077	30077
B ...	157071	159792	15707	15979	195784	199057	19578	19906	184435	189867	18444	18987
V $\bar{A}$ ...	114,91	176,65	92,31	162,85	120,69	180,46	93,04	163,27	119,44	187,79	95,17	173,43
V $\bar{B}$ ...	396,32	399,74	125,33	126,41	442,48	446,13	139,92	141,09	429,46	435,75	135,81	137,79
V $\bar{A} + V\bar{B}$ ...	511,23	576,39	217,64	289,26	563,17	626,59	232,96	304,36	548,90	623,54	230,98	311,22
$\tau$ ...	0,0360	0,0490	0,0679	0,0901	0,0345	0,0461	0,0639	0,0858	0,0653	0,0904	0,1236	0,1672
(V $\bar{A} + V\bar{B}$ ) <sup>2</sup> : ( $\zeta - \tau'$ ) ...	1633701	2076074	296045	522947	1982253	2453844	339190	578969	1004304	1296010	177562	322860
C ...	208088	257412	29809	45027	201788	247752	29179	44061	136904	169901	22690	36276
R : $\tau$ ...	1840000	2330000	326000	570000	2180000	2700000	368000	620000	1140000	1470000	200000	360000
Verhältniszahlen	1,61	1,59	1,60	1,58	1,91	1,84	1,85	1,72	1,00	1,00	1,00	1,00
$\tau = 0,025$ ; R : $\tau$ = ...	1900000	2690000	496000	1220000	2230000	3020000	520000	1260000	1380000	2270000	450000	131000
Verhältniszahlen	1,67	1,84	2,45	3,33	1,96	2,06	2,60	3,50	1,11	1,55	2,25	3,64
$\tau = 0,07$ ; R : $\tau$ = ...	2140000	2480000	326000	600000	2590000	2920000	370000	650000	1140000	1500000	230000	550000
Verhältniszahlen	1,88	1,69	1,63	1,67	2,27	1,99	1,85	1,80	1,00	1,02	1,15	1,50
$\tau = 0,20$ ; R : $\tau$ = ...	—	—	—	—	—	—	—	—	2050000	2240000	250000	390000
Verhältniszahlen	—	—	—	—	—	—	—	—	1,65	1,52	1,25	1,08

1843 vor den grossen Kosten zurückschreckte, welche die Erbauung der Linie über das Fichtelgebirge, die Ersteigung des Hochplateaus mit ungemein langen Entwicklungslinien und die Linie oben selbst verursachte; sie war mit Maximalsteigungen von nur 0,005 projectirt worden, welche nicht gestatteten in das Saaletal herunter zu steigen, so dass man in grosser Höhe sich an dessen Gehängen hinziehen und alle Seitenthaler mit hohen Brücken und Dämmen überschreiten musste. Es wurde Herr Director Pauli nach England gesandt, um die Mittel zur Ueberwindung grosser Steigungen zu studiren. Er studirte das atmosphärische System bei Kingstown, dem sich die Franzosen zuwandten und die schiefe Ebene bei St. Germain erbauten; er studirte die Seilebenen bei Liverpool, welche von den Belgien und Rheinpreussen nachgeahmt wurden; beide Systeme wurden schon längst wieder verlassen. In der Nähe von Gloucester aber fand Pauli eine schiefe Ebene von, so viel ich mich erinnere, 0,011 Steigung (ausserordentlich viel für die damalige Zeit), mit Locomotivbetrieb, die Likey incline, und einen äusserst intelligenten Maschinenmeister, mit dem die Frage discutirt wurde. Das Resultat war: Mit Sicherheit können schiefe Ebenen bis 0,025 Steigung mittelst Locomotiven betrieben werden, und dem entsprechend wurde die schiefe Ebene bei Markt Schorgast projectirt, welche vom Mainthal aus, das, wie alle östlichen Zuflüsse des Rheines, tief in die umgebenden Hochplateaus eingeschnitten ist, die Hochebene des Fichtelgebirges ersteigt, oben aber 0,01 als zulässige Steigung erachtet. Erst nachdem dieses Programm sich bewährt, wurde es für den Sömmerring und Geislinger Steig ebenfalls angenommen.

Damals hat man einen grossen Schritt vorwärts gethan, aber seitdem ist man stille gestanden, bis in der neuesten Zeit die schiefe Ebene bei Genoa, auf einer Hauptbahn mit 0,035 und mehrere Secundärbahnen in Amerika und Europa, darunter die Uetlibergbahn mit 0,07 und verschiedene Zahnradbahnen, darunter die Rigibahn mit 0,24 Steigungen, ausgeführt wurden. Alle diese Bauten haben die Theorie bestätigt, auf deren Grund hin man die Ausführung derselben wagte, sie haben namentlich gezeigt, dass die Adhäsion auf schiefen Ebenen keine andere, als auf einer Horizontalen ist und Zahnräder im Freien so zu-

verlässig arbeiten, als wie in jeder andern Maschine auch. Als solche dürfen sie Rechnungen unterworfen werden, und wenn diese angeben, dieses oder jenes System erfüllt den gegebenen Zweck am besten, so wird es wohl so sein.

Die Ergebnisse der Rechnungen, die wir anstellen, sind aber folgende (Siehe obenstehende Tabelle):

1. Je grösser der Verkehr ist, desto kleiner ist die Maximalsteigung anzunehmen. Die zweckmässigste Steigung wird jedoch kaum unter 0,03 fallen.
2. Für leichte Locomotiven müssen etwas kleinere Steigungen als für schwere angenommen werden.
3. Für die grössten Steigungen passen die Zahnradbahnen. Nur in sehr seltenen, ganz besondern Fällen dürften Steigungen über 0,18 berechtigt erscheinen.
4. Bei allen Systemen und bei jedem Verkehr wird bei Berücksichtigung der Zinsen die Maximalsteigung erhöht. Das ist auch ganz natürlich, wenn auf die Verzinsung verzichtet, also die Bahn aus Subsidien, gleichsam umsonst gebaut wird, so dass der Umweg keine Baukosten verursacht, ist es zweckmässiger auf längerer Bahn kleinere Steigungen anzuwenden.
5. Die Betriebskosten nehmen bei allen Systemen mit wachsendem Verkehr bedeutend ab; der zehnfache Verkehr vereinfacht bei gleicher Bahn und Verzinsungsverhältnissen nur die 4–6maligen Betriebskosten.
6. Unter der, allen unsren Rechnungen zu Grunde liegenden Voraussetzung, dass die Zugkraft grosser und kleiner Maschinen in gleicher Weise ausgenützt werden können, verursachen schwere Adhäsions-Maschinen bei jedem Verkehr weniger Betriebskosten als wie leichte Maschinen; in unsren Beispielen kostet der Betrieb der letztern 0,14 bis 0,30 mehr.
7. Wenn es sich nur um die Ersteigung einer Höhe handelt und die vortheilhaftesten Maximalsteigungen angewendet werden können, so kostet der Betrieb mit Adhäsionsmaschinen 1,5– bis 1,9 mal so viel, als wieder mit Zahnradlocomotiven. Hinsichtlich des Hebens von Lasten ist also das Zahnrad eine vollkommenere Hebemaschine, als wie das Adhäsionstriebad.

8. Die Kosten nehmen bei jedem System desto mehr zu, je mehr von den berechneten zweckmässigsten Steigungen abgewichen wird. Um dies zu zeigen, sind die Betriebskosten für 0,025; 0,007 und 0,20 Steigung berechnet und die betreffenden Verhältniszahlen beigegeben.

Alle Resultate, die sich soeben aus den Rechnungsresultaten ergaben, hätten schon aus der Form der Gleichungen gefolgert werden können, wir zogen es jedoch vor sie mit Zahlen zu belegen und sie aus diesen herauszulesen. Allein auf ein wichtiges algebraisches Verhältniss müssen wir aufmerksam machen, auf das Glied  $\frac{\mathfrak{B}}{\mathfrak{s} - r - r'}$ .  $\mathfrak{B}$  ist grösser als wie  $\mathfrak{A}$ , die Kosten nehmen daher ab wenn  $\mathfrak{s}$  zunimmt.

Da nun die Zugkraft  $\mathfrak{s} M$  kaum mehr vergrössert werden kann, so ist es Aufgabe der Mechanik diese Zugkraft mit dem möglichst kleinen Maschinengewicht herzustellen.

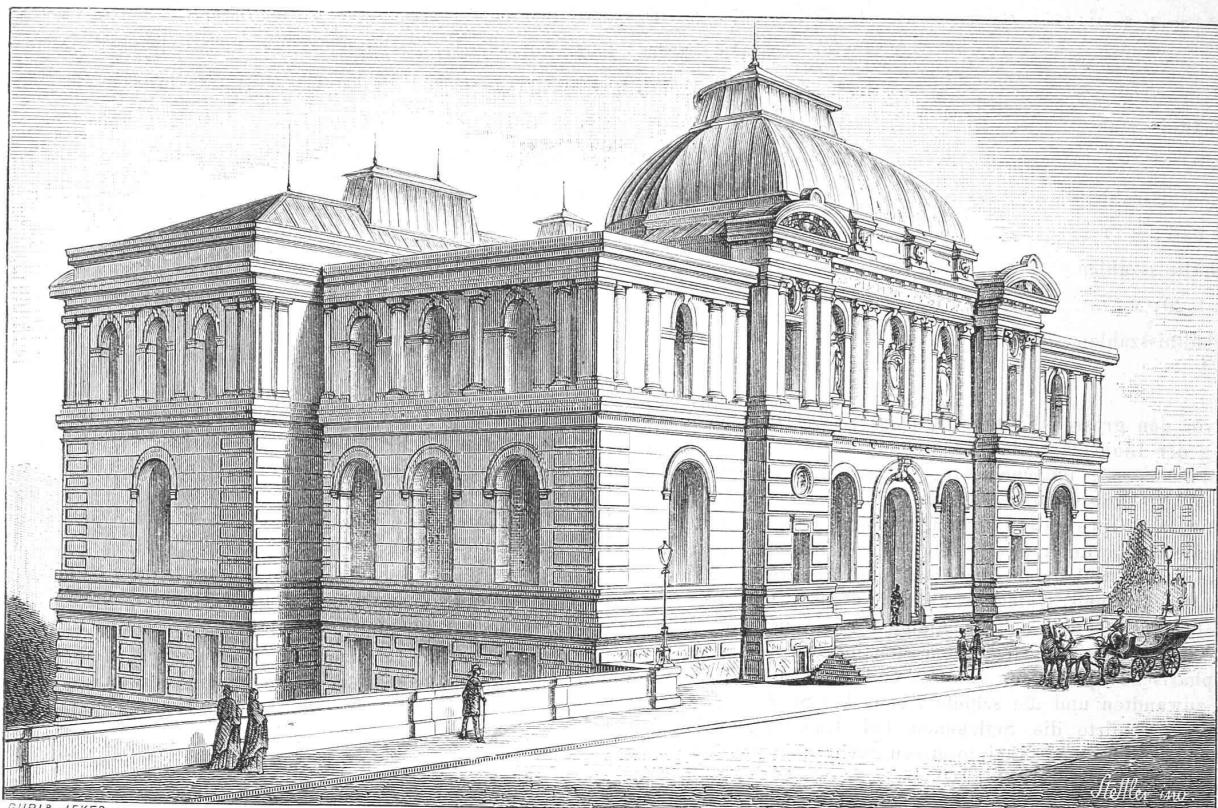
Die Coefficienten der Einheitspreise, mit denen wir unsere Rechnungen ausführten, lassen, wir sind uns dessen wohl bewusst, hinsichtlich der Zuverlässigkeit viel zu wünschen übrig, allein wir hoffen, dass der Bedeutung der Fragen gegenüber deren Beantwortung von ihnen abhängt, die Gesellschaften sich vielleicht veranlasst sehen werden, Material in den Rechenschaftsberichten zu veröffentlichen, das dem Techniker auch dienen kann.

Trotz dieser Unzuverlässigkeit aber glauben wir, dass durch Correction der Coefficienten die Zahlen sich wohl parallel oder proportional verschieben, die Ergebnisse im Ganzen sich jedoch kaum wesentlich ändern dürften.

(Fortsetzung des Protocols folgt.)

\* \* \*

## DAS KUNSTMUSEUM IN BERN.



BURI & JEKER, sc.

Stettler inv.

### Das Kunstmuseum in Bern.

Von Architect E. Stettler.

Dasselbe misst in seiner grössten Länge 42,00 m, in der grössten Tiefe 24,50 m, in der Höhe 28,40.

Es enthält unter dem Strassenniveau ein zweistöckiges Soussol mit Räumlichkeiten für die Kunstschule, bestehend aus fünf Säalen von je 50—60 m<sup>2</sup> Fläche, Wohnung für das Inspectorat, Packräume, Magazine, etc. Alle diese Räumlichkeiten haben zwei besondere Eingänge auf der Ost- und Westseite des Gebäudes und können von den speziell der Öffentlichkeit gewidmeten Ausstellungsräumen ganz unabhängig gemacht werden.

Von den zwei Stockwerken über dem Strassenniveau ist das Erdgeschoss zur Aufstellung von Sculptur-Werken, das obere Stockwerk zur Ausstellung von Gemälden bestimmt.

Das centrale Treppenhaus vermittelt die Verbindung zwischen sämtlichen Stockwerken und soll im oberen Stockwerk ebenfalls zur Aufstellung von Gemälden (grösserer Dimensionen) dienen. Letzteres, sowie die Gemäldegalerie auf der Nordseite des Gebäudes ist von Oben beleuchtet.

Sämmliche Ausstellungsräume werden vermittelst einer Centralheizung, die Soussoräume durch Oefen erwärmt.

Das Gebäude soll mit Ende nächsten Jahres eröffnet werden;

die Mittel zu dem Bau werden hauptsächlich aus dem Nachlass des Architekten Gottlieb Hebler, welcher durch testamentarische Verfügung sein ganzes Vermögen diesem Bau bestimmte, bestritten.

Ausserdem haben Staat und Gemeinde und verschiedene Bürger beigetragen, so dass die Vollendung dieses Baues, dessen Kosten sich inclusive Terrain auf circa Fr. 700 000 belaufen werden, nahezu gesichert ist.

Bern, im October 1877.

\* \* \*

### Brückeneinsturz in Bath.

(Früherer Artikel Bd. VII, Nr. 3, Seite 20.)

(Correspondenz.)

Hiermit theile ich Ihnen mit, dass es bis zur Stunde total unmöglich war, Material über die Ursachen des Zusammensturzes der Bathbrücke beizubringen, denn bis jetzt hat noch kein Fachblatt irgend welche Details, geschweige denn Zeichnungen veröffentlicht. Ich habe schon bei einigen Ingenieuren hierüber mein Erstaunen ausgedrückt und es stimmen alle darin überein, dass, wie es scheint, die Sache vertuscht werden soll. Wäre der Unglücksfall auf einem der Continente passirt, so wäre