**Band 76.** Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet. **Nr. 24.**

## Die zweckmässigste Neigung der Eisenbahn.

Von Prof. *Richard Petersen*, Danzig. [1]

Um zwei Punkte $A$ und $B$ mit einer Eisenbahn zu verbinden, wird man zunächst die kürzeste Linie versuchen (Vergl. den Längenschnitt Abbildung 1). Wird die Neigung zu gross, so muss man die Linie künstlich verlängern. Dann entsteht die Frage, welche Neigung die zweckmässigste sei. Die Antwort hierauf war bisher nicht immer einfach zu finden. Bei der Beurteilung voran zu stellen sind Betriebsicherheit und Leistungs-Fähigkeit. Wenn sich in dieser Hinsicht keine Beanstandung ergibt, ist ausschlaggebend die Wirtschaftlichkeit. Diese kann abschliessend durch eine *Ertragsberechnung* beurteilt werden. Nun ist eine solche Berechnung keine leichte Aufgabe, sofern man den Anspruch darauf erhebt, dass ihr Ergebnis von der spätern Wirklichkeit nicht allzusehr abweichen darf. Namentlich ist es schwer, den Ungenauigkeitsgrad gewisser Schätzungen und ihren Einfluss auf das Endergebnis klar zum Ausdruck zu bringen.

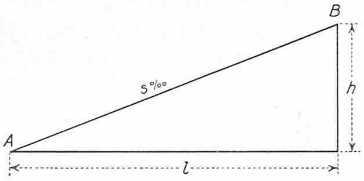


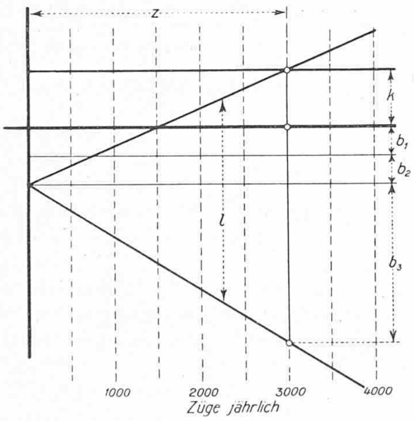

Abb. 1.

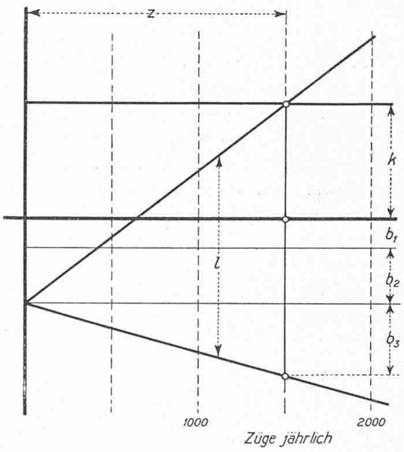
Abbildung 2 gibt die Form einer Ertragsberechnung, die für einfache Betriebsverhältnisse, z. B. für Stadtschnellbahnen, Strassenbahnen, Bergbahnen, (auch Kraftwerke, Bergwerke, Brauereien u. s. w.) gute Dienste leistet.[2]

Für den gewöhnlichen Eisenbahnbetrieb ist sie in dieser einfachen Form weniger gut anwendbar, da die Unterschiede der Güterzüge, Personenzüge und Schnellzüge hinsichtlich der Betriebs-Ausgaben und -Einnahmen zu gross sind, als dass sie einheitlich behandelt werden könnten.

**Rentabilitätsberechnung einer Gebirgsbahn.**

Abb. 2 (links) bei steiler Rampe,
Abb. 3 (rechts) bei flacher Rampe.




Anmerkung:
In Abb. 2 und 3 ist statt des fehlerhaften „$l$" zu setzen: $e$.

Wir werden jedoch für die folgenden Ueberlegungen vom Personenverkehr ganz absehen und nur vollbelastete Güterzüge in Betracht ziehen. Alsdann ist diese Abbildung 2 wohl geeignet um einige grundlegende Fragen betreffs einer Bahn von $A$ nach $B$ mit der Neigung $s$ ‰ zu klären.

In der Abbildung 2 bedeutet die Länge $z$ die jährliche Betriebsleistung an Wagenzügen. Die Längenteilung liefert die Zahl der jährlich geförderten Züge. Die gewählte Bezifferung ist ganz willkürlich und dient nur zur Verdeutlichung. Der Abstand dieser Teilung entspricht der Zuglänge. Also ist der wagrechte Abstand $z$ als Summe der geförderten Zuglängen anzusehen.

Die Höhen bedeuten dagegen Geld, Einnahmen und Ausgaben. Die Höhe $k$ stellt die Verzinsung und Tilgung des Anlagekapitals dar, die Höhen $b_1$ bis $b_3$ bedeuten die Betriebs-Ausgaben und Rücklagen. Davon ist $b_1$ der unveränderliche Teil, $b_2$ der von der Bahnlänge, $b_3$ der von der Betriebsleistung abhängige Teil. Die Höhe von der obersten Wagerechten bis zur untersten Schrägen

$$k + b_1 + b_2 + b_3$$

gibt demnach für jede Betriebsleistung die gesamten Ausgaben an. Die Höhe $e$ zwischen den beiden schrägen Linien dagegen stellt die Betriebs-Einnahme dar, und der Schnittpunkt der oberen Schrägen mit der obersten Wagerechten gibt an, bei welcher Betriebsleistung $z$ die Verzinsung des Kapitals erreicht wird.

Abbildung 3 stellt die entsprechende Ertragsberechnung dar für den Fall, dass die Bahnlinie zwischen $A$ und $B$ mit etwa der halben Neigung $s$ ‰ angelegt würde.

Für einen groben Ueberschlag, wenn man den Fahrwiderstand gegenüber der Neigung vernachlässigt, kann man zunächst einmal, vorbehältlich späterer Berichtigungen, annehmen, dass eine solche Bahn die doppelte Zuglänge erlaubt (siehe die Längenteilung). Die gleiche Betriebsleistung wird demnach mit der halben Zugzahl erreicht. Dabei möge angenommen werden, dass die Kosten $b_3$ für die Förderung des doppelt so schweren Zuges nicht grösser als bisher, dass also für die Wageneinheit die Kosten $b_3$ halb so gross werden. Die Bahn bekommt aber auch die doppelte Länge, infolgedessen verdoppeln sich die Betriebsausgaben $b_2$, die von der Bahnlänge abhängig sind, ferner verdoppeln sich die Zinsen $k$ für das Anlagekapital (siehe die Höhenteilung).

Jedenfalls macht Abbildung 3 klar, dass eine Herabsetzung eines Teiles der Betriebsausgaben mit Bezug auf die Wageneinheit an sich noch gar nicht einmal eine Verbesserung der Kapitalverzinsung zu bedeuten braucht, wenn nämlich andere Ausgaben dafür steigen. Das ist gelegentlich übersehen worden.

In Abbildung 2 und 3 ist eine Einnahme für die Wageneinheit angenommen worden, die für beide Bahnen die notwendige Kapitalverzinsung bei der gleichen gesamten Betriebsleistung $z$ liefert. Dabei ist der veränderliche Teil der Betriebsausgaben $b_3$ (die Zugförderungskosten und was damit zusammenhängt) in Abb. 2 doppelt so gross wie in Abb. 3. Bei einer kleinern Verkehrsmenge wäre ein höherer Tarif nötig, dabei wäre die Anlage zu Abb. 2 vorteilhafter. Bei grösserer Verkehrsmenge wäre ein niedrigerer Tarif zulässig, dabei die Anlage nach Abb. 3 vorteilhafter.

Diese Entwicklung enthält aber noch einen Fehler, der leicht übersehen wird. Abbildung 3 gilt unter der Annahme, dass die Kosten $b_3$ für die gesamte Zugleistung

[1] Das Manuskript zu vorliegender Arbeit hatte der, unsern Lesern durch seine Beteiligung als Preisrichter am Wettbewerb Gross-Zürich sowie an den Experten-Studien für die Bahnhoferweiterung Zürichs bereits bekannte Verfasser uns schon Mitte März bezw. April d. J. eingesandt, was wir zur Wahrung seiner, durch unsere etwas späte Veröffentlichung möglicherweise gefährdeten Prioritätsrechte hiermit feststellen möchten. *Red.*

[2] Vgl. *R. Petersen:* „Zeichnerische Darstellung von Ertragsberechnungen für wirtschaftliche Unternehmungen der Städte." Städtebauliche Vorträge Band II Heft VIII, Berlin 1909, W. Ernst & Sohn.

$z$ halb so gross werden wie in Abbildung 2. Diese Annahme war irrig. Sie wäre richtig für eine gleiche Wegelänge. Da aber die Bahnlänge verdoppelt werden muss, um die gleiche Höhe $h$ zu erreichen, so muss die Lokomotive, die mit ihrer Zugkraft auf der halben Neigung zwar die doppelte Last schleppt, diese Zugkraft während der doppelten Zeit aufwenden. Infolgedessen ergeben sich in Abbildung 3 bei der gleichen geförderten Gesamtzuglänge $z$ für $b_3$ die gleichen Beträge wie in Abbildung 2. Die unterste Schräge in Abbildung 3 bekommt die gleiche Neigung wie in Abbildung 2, und die obere Schräge in Abbildung 3 schwenkt dementsprechend nach unten. Ihr Schnittpunkt mit der obersten Wagerechten rückt weiter nach rechts. Die notwendige Kapitalverzinsung wird erst bei einer grössern Betriebsleistung (etwa 2700 Zügen jährlich nach Abbildung 3) erreicht. Bei kleinerem Verkehr (als 5400 Zügen jährlich nach Abbildung 2) wäre demnach die Anlage mit der grossen Neigung $s$ nach Abbildung 2 vorteilhafter.

Dieser Rentabilitätsvergleich soll nur zeigen, dass man aus *Massnahmen*, die eine Vergrösserung der Zuglänge erlauben, oder *die eine Herabsetzung der Zugförderungs-Kosten* ermöglichen, *auf die Rentabilität* ohne weiteres *keinen Schluss ziehen darf.*

Zur Beurteilung der Rentabilität gehören notwendig auch die übrigen Betriebsausgaben, die Kapitalverzinsung, die Einnahme für die Wageneinheit und vor allem die Verkehrsgrösse. Der Ertragsberechnung vorausgehen muss daher eine Untersuchung, welche *Leistungsfähigkeit* von der Bahn gefordert werden muss. Diese bestimmt die obere Grenze der Neigung, die noch in Betracht kommen kann.

Folgende Bezeichnungen werden gebraucht:

$L$ = Gewicht von Lokomotive und Tender in $t$.
$Q$ = Gewicht des angehängten Wagenzuges in $t$.
$L_a$ = Belastung der angetriebenen Lokomotivachsen in $t$.
$a = \frac{L}{La}$
$f$ = Reibung zwischen Rad und Schiene, ist im folgenden meistens mit 150 $kg/t$ angenommen.
$w_l$ = Fahrwiderstand von Lokomotive und Tender in $kg/t$.
$w_q$ = Fahrwiderstand des angehängten Wagenzuges in $kg/t$.
$w$ = Fahrwiderstand des ganzen Zuges in $kg/t$.
$Z_r$ = Reibungszugkraft der Lokomotive in $kg$.
$Z_k$ = Kesselzugkraft der Lokomotive in $kg$.
$l$ = Länge der Bahn in $m$.
$h$ = Höhe der Bahn in $m$.
$s : 1000 = h : l$ = Neigung der Bahn.

Die Gleichung zwischen Zugkraft $Z$ und Widerstand lautet:

$$Z_r = f\,L_a = L\,(s + w_l) + Q\,(s + w_q) \qquad (1)$$

daraus ergibt sich:

$$L\left[\frac{f}{a} - (s + w_l)\right] = Q\,(s + w_q)$$

$$\frac{Q}{L} = \frac{\frac{f}{a} - (s + w_l)}{s + w_q} \qquad (2)$$

Die Gleichung 2 gibt an, in welchem Verhältnis das angehängte Wagenzuggewicht $Q$ zum Gewicht von Lokomotive und Tender $L$ stehen kann. Sie gilt für den Geschwindigkeitsbereich der Reibungszugkraft $Z_r$. Um sie auch für den Geschwindigkeitsbereich der Kesselzugkraft $Z_k$ benutzen zu können, ist es nur nötig, den Wert $L_a = Z_r : f$ im Bereich der Kesselzugkraft nicht als Belastung der angetriebenen Achsen, sondern $= Z_k : f$, allgemein also

$$L_a = \frac{Z}{f} \text{ und } a = \frac{L}{\frac{Z}{f}}$$

zu bezeichnen.

Alsdann gilt die Gleichung (2) für beliebige Geschwindigkeiten.

Die Geschwindigkeit wird dabei ausgedrückt durch die Bezifferung der Werte $a$, $w_l$ und $w_q$.

Die Abhängigkeit des Wagenzuggewichtes $Q$ vom Lokomotivgewicht $L$ mit Bezug auf die Neigung $s$ ist in Abbildung 4 dargestellt. Da es sich hier nur um die grundsätzliche Behandlung dieser Fragen handelt, ist der Einfachheit halber $w = w_q = w_l = 3\ kg/t$ angenommen.

Dagegen sind für $a$ verschiedene Werte zwischen 1 und 3 angesetzt.

$a = 1{,}0$ entspricht einer elektrischen Lokomotive oder einer Dampftenderlokomotive, bei der alle Achsen angetrieben sind,
$a = 1{,}5$ etwa einer 5/5 Lokomotive mit Schlepptender,
$a = 2{,}0$ etwa dem Durchschnitt der schweizerischen Güterzuglokomotiven mit Schlepptender[1]) (die Werte schwanken zwischen 1,7—1,85—2,2 für 5/6, 4/5 und 3/4 Lokomotiven),
$a = 2{,}5$ etwa einer 3/5 Schnellzuglokomotive im Geschwindigkeitsbereich der Reibungszugkraft,
$a > 2{,}5$ etwa einer 3/5 Schnellzuglokomotive im Geschwindigkeitsbereich der Kesselzugkraft.

Abbildung 4 zeigt, dass das Gewicht des angehängten Wagenzuges $Q$ mit zunehmender Neigung sehr schnell abnimmt. Braucht man ein grösseres Zuggewicht $Q$, muss man das Gewicht der Lokomotive erhöhen. Viel wirksamer aber als eine Erhöhung des Lokomotivgewichtes ist eine Herabsetzung des Wertes $a = L : L_a$. Abbildung 4 zeigt, wie beträchtlich die Leistungsfähigkeit der Bahn gesteigert wird, wenn man von $a = 2{,}0$ zu $a = 1{,}5$ oder gar zu $a = 1{,}0$ übergeht. Das heisst, Abb. 4 zeigt eindringlich *die ausserordentliche Ueberlegenheit des elektrischen Antriebes.*

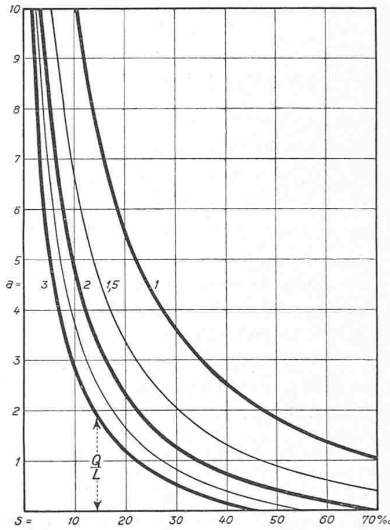



Abb. 4. Abhängigkeit der Zuglänge von der Bahnneigung und vom Wert $a = L : La$, gültig für $f = 150\ kg/t$, $w = 3\ kg/t$, $a = 1$ bis 3. $L$ = Gewicht von Lokomotive mit Tender, $Q$ = Gewicht des angehängten Wagenzuges.

Nur sollte man diese grundsätzliche Ueberlegenheit auch voll ausnutzen und die elektrischen Lokomotiven der Gebirgsbahnen so ausbilden, dass *alle* Achsen angetrieben werden. Hinter diese Forderung muss die Bequemlichkeit der Konstruktion zurücktreten. Man darf auf Gebirgsbahnen wohl eine gewisse Erhöhung des Lokomotiv-Widerstandes und eine Verringerung des Wirkungsgrades zwischen Motor und Triebradumfang in Kauf nehmen, wenn das nicht zu vermeiden ist, um zu erreichen, dass alle Lokomotivachsen angetrieben werden. Der Gesamtwirkungsgrad der Lokomotive wird trotzdem, wie später gezeigt wird, am grössten, wenn alle Achsen angetrieben werden. Der Gesamtwirkungsgrad ist in diesem Falle, abweichend von der üblichen Bezeichnung, zu messen an der Arbeit, die die Lokomotive am Triebradumfang leistet, um $Q = 1\ t$ über die Rampe $s$ ‰ auf die Höhe $h = 1\ m$ zu fördern.

Für Hauptbahnen mit Dampfbetrieb lag erfahrungsgemäss die obere Grenze der zulässigen Neigung etwa bei $s = 25$ bis 30 ‰. Auch bei den Dampflokomotiven hat man nicht immer erkannt, dass für die starken Neigungen die Kupplung sämtlicher Achsen grössere Vorteile als Nachteile bringt.

Die Zuglast $Q$, die eine Dampflokomotive mit $a = L : L_a = 2{,}0$ über eine Rampe $s = 25$ ‰ schleppt, wird von einer gleich schweren elektrischen Lokomotive mit $a = 1{,}0$ über eine Rampe $s = 55$ ‰ befördert. Elektrischer Betrieb mit Lokomotiven von $a = 1{,}0$ ermöglicht also die frühere

[1]) Vgl. Dr. Ing. *E. Steiner:* „Die virtuellen Längen bei elektrisch betriebenen Bahnen". Zürich, Speidel und Wurzel 1919. Seite 17. (Besprochen in S. B. Z. vom 11. Okt. 1919. *Red.*)

obere Neigungsgrenze des Dampfbetriebes auch auf den Hauptbahnen beträchtlich nach oben zu verschieben.

Wie weit man die Neigung steigern kann, ist zunächst abhängig von der Zuglänge, die man braucht. Die Frage, ob bei grosser Neigung die erreichbare Zuglänge, das heisst die Leistungsfähigkeit genügt, oder ob es notwendig ist, durch geringere Neigung eine grössere Leistungsfähigkeit zu erzielen, muss in jedem einzelnen Falle zunächst entschieden werden.

Von grosser Bedeutung ist sodann die Frage, inwiefern die *Betriebskosten* durch die Neigung ungünstig beeinflusst werden. Die Beantwortung dieser Frage hinsichtlich des wichtigsten Teiles, der *Zugförderungskosten*, ist die Hauptaufgabe dieser Arbeit.

Den Einfluss der Neigung auf den Betriebsüberschuss kann man feststellen durch vergleichende Ertragsberechnungen. Die Durchführung solcher Rechnungen erfordert allerdings recht viel Zeit. Deshalb ist es verständlich, wenn man bemüht war, diese Arbeit zu vereinfachen.

Man hat beispielsweise beim Vergleich zweier Linien, die die gleichen Endpunkte verbinden sollten, versucht, alles für den Vergleich unwesentliche auszuscheiden und lediglich die Posten in Vergleich zu stellen, die in der Ertrags-Berechnung verschieden zu bewerten sind. Aus diesen Gedanken heraus sind die Berechnungsverfahren mit Hülfe *virtueller Längen* entstanden. Sie laufen darauf hinaus, dass man sich anstelle der geplanten Linie eine wagerechte Strecke vorstellt, die die gleichen Betriebskosten aufweist, wie die geplante Strecke. Die Länge dieser wagerechten Strecke von gleichen Betriebskosten bezeichnet man als virtuelle Länge der geplanten Linie. Als vorteilhafteste wird sodann die Bahnlinie mit der kürzesten virtuellen Länge angesehen. Einzelne Verfasser haben nun die gesamten Betriebskosten zu Grunde gelegt, andere wiederum haben einen Teil der Betriebskosten, der ihnen für den Vergleich belanglos erschien, ausgeschieden und beispielsweise nur die Zugförderungskosten oder den Aufwand an mechanischer Arbeit und an Fahrzeit bei gleichem Verkehr in Rechnung gestellt.

Die bisher üblichen Verfahren der virtuellen Längen und neue Vorschläge sind in einer ausgezeichneten Arbeit von Mutzner[1]) behandelt. Auf dieses Buch sei besonders hingewiesen. Es gab die Anregung zu der vorliegenden Arbeit. Mutzner vergleicht unter Berücksichtigung der verschiedenen Geschwindigkeiten die Zuggewichte, die eine Lokomotive einmal auf der gedachten wagerechten Strecke, andererseits auf der geplanten Neigung schleppen kann. Das Verhältnis dieser Zuggewichte, mit der Länge der geplanten Bahnlinie multipliziert, ergibt nach Mutzner die virtuelle Länge dieser geplanten Strecke. Das ist sicherlich für die Beurteilung einzelner Fragen ein guter Vergleichmassstab. Mutzner hebt aber selbst hervor, dass man mit Hülfe virtueller Längen eine Rentabilitätsberechnung nicht ersetzen kann.

Auf Seite 134 der Mutzner'schen Arbeit ist ein Bild dargestellt, in dem als Längen die Neigungen, als Höhen die zugehörigen virtuellen Längen aufgetragen sind. Dieses Bild weist darauf hin, dass die vorteilhafteste Neigung für den Dampfbetrieb etwa bei $s = 16\,^0/_{00}$, für den elektrischen Betrieb bei $s = 17\,^0/_{00}$ liegt. Zu einem ähnlichen Ergebnis führt eine Untersuchung von Sanzin über Zugförderung auf Steilrampen, die im Stockert'schen Handbuch enthalten ist.[2])

Das Verfahren der virtuellen Längen hat bisher allgemeine Anerkennung nicht gefunden. Bezüglich der virtuellen Längen gilt zunächst allgemein das zu Abbildung 2 und 3 Gesagte. Sie verführen zu Trugschlüssen. Im besondern ist bei allen virtuellen Längen die Ungenauigkeit des Masstabes zu beanstanden, mit dem die virtuellen Längen gemessen werden. Auch die Mutzner'sche virtuelle Länge macht davon keine Ausnahme. Das Zuggewicht, das in der Wagerechten von der Lokomotive geschleppt werden kann, hängt ab von der Grösse des Fahrwiderstandes. Dieser kann innerhalb recht weiter Grenzen schwanken. Dementsprechend werden natürlich die berechneten virtuellen Längen ungenau. Die virtuelle Länge lässt sich also nicht mit einem zuverlässigen und allgemeinen gültigen Masstab ausdrücken.

Die nachfolgende Untersuchung kann man im Gegensatz zum Verfahren der virtuellen Längen als das *Verfahren der virtuellen Höhen* bezeichnen. Es soll die Rentabilitäts-Berechnung nicht ersetzen, wohl aber unterstützen. Zweck der Untersuchung soll sein, festzustellen, in welcher Weise *die Kosten der mechanischen Arbeit der Zugförderung* durch die Neigung beeinflusst werden.

Ein Vorteil dieses neuen Verfahrens liegt zunächst darin, dass ein unveränderlicher Masstab eingeführt ist. Einheit dieses Masstabes ist die mechanische Arbeit, die erforderlich ist, um 1 $t$ Gewicht auf 1 $m$ Höhe zu heben. Dadurch werden die Ungenauigkeiten der Endergebnisse, die aus der ungenauen Grösse des Fahrwiderstandes stammen, wesentlich verringert. In den folgenden Entwicklungen bedeutet demnach „*tm*" die mechanische Arbeit, nicht etwa eine Betriebsleistung entsprechend der üblichen Bezeichnung „*Zugkm*" oder „*Tonnenkm*".

Soll ein Zug von $A$ nach $B$ befördert werden (vgl. Längenschnitt Abbildung 1), so muss von der Lokomotive die Arbeit $A$ in *tm* geleistet werden:

$$A = (L + Q)\left(\frac{w \cdot l}{1000} + h\right) \qquad (3)$$

Die Arbeit $A$ ist von der Geschwindigkeit insofern abhängig, als mit zunehmender Geschwindigkeit auch der Fahrwiderstand $w$ zunimmt. Die Gleichung (3) gilt also für beliebige Geschwindigkeit.

Es soll nun versucht werden, diese Arbeit in die Form zu bringen

$$A = Q \cdot h_v \qquad (4)$$

also sie auszudrücken als Produkt des Gewichtes des hinter dem Tender angehängten Wagenzuges $Q$ mit einer gedachten Höhe $h_v$. Demgemäss sei $h_v$ als virtuelle Höhe der Bahn bezeichnet.

Wir können auch schreiben:

$$A = c \cdot Q \cdot h \qquad (5)$$

$$c = \frac{h_v}{h} \qquad (6)$$

$c$ ist das Verhältnis der virtuellen zur wirklichen Höhe und kann demnach auch als die virtuelle Höhe für $h = 1$ oder als die spezifische virtuelle Höhe bezeichnet werden.

Ferner kann geschrieben werden:

$$A = m\,Q \cdot n\,h \qquad (7)$$

$$c = m\,n$$

Der Beiwert $m$ soll ausdrücken, dass zur Förderung des Wagenzuggewichtes $Q$ auch die Förderung eines gewissen Lokomotivgewichtes $L$ nötig ist.

Gemäss Gleichung (3) ist zu setzen:

$$m\,Q = L + Q$$

$$m = \frac{L + Q}{Q} \qquad (8)$$

Der Beiwert $n$ dagegen soll ausdrücken, dass neben der Hebung um die Höhe $h$ auch der Fahrwiderstand $w$ über die Länge $l$ zu überwinden ist.

Gemäss Gleichung (3) ist zu setzen:

$$n\,h = \frac{wl}{1000} + h$$

$$n = \frac{1}{h}\left(\frac{wl}{1000} + h\right) \qquad (9)$$

Zunächst möge der Beiwert $m$ bestimmt werden. Durch Einsetzung der Gleichung (2) in Gleichung (8) ergibt sich

$$m\,Q = Q\left[\frac{s + w_q}{\frac{f}{\alpha} - (s + w_l)} + 1\right]$$

---

[1]) Dr. *C. Mutzner:* „Die virtuellen Längen der Eisenbahnen." Zürich und Leipzig, Verlag Gebr. Leemann & Co. 1914. (Besprochen in S. B. Z. vom 25. April 1914. *Red.*)

[2]) Vgl. *von Stockert:* „Handbuch des Eisenbahnmaschinenwesens". Band II Seite 619.

$$m = \frac{\frac{f}{a} - (w_l - w_q)}{\frac{f}{a} - (s + w_l)} \qquad (10)$$

Der Beiwert $n$ berechnet sich nach der Gleichung (9) wenn man in dieser den Wert $l$ ersetzt durch $h$ und $s$

$$\frac{h}{l} = \frac{s}{1000}$$

$$\frac{l}{1000} = \frac{h}{s}$$

$$n = \frac{1}{h}\left(\frac{wh}{s} + h\right) = \frac{w}{s} + 1$$

$$n = \frac{s + w}{s} \qquad (11)$$

Demnach wird die spezifische virtuelle Höhe

$$c = m\,n$$

$$c = \frac{\frac{f}{a} - (w_l - w_q)}{\frac{f}{a} - (s + w_l)} \cdot \frac{s + w}{s} \qquad (12)$$

$c$ ist das Verhältnis der virtuellen Höhe $h_v$ zur wirklichen Höhe $h$.

Der Beiwert $m$ liegt für $s = 0$ nicht weit von der Grenze $m = 1{,}0$ entfernt. Mit wachsendem $s$ wird $m$ immer grösser, für $s = (f : a) - w_l$ wird $m$ = unendlich.

Der Beiwert $n$ dagegen ist unendlich für $s = O$. Mit wachsendem $s$ nimmt $n$ ab und nähert sich allmählich der Grenze 1,0. Demnach wird

$c$ = unendlich für $s = 0$ und

$c$ = unendlich für $s = (f : a) - w_l$

Zwischen diesen beiden Grenzen hat $c$ einen Kleinstwert. $c$ = unendlich für $s = 0$ bedeutet, dass auf wagerechter Bahn das Glied Fahrwiderstand mal Weg = unendlich wird. $c$ = unendlich für $s = (f : a) - w_l$ bedeutet, dass bei dieser Neigung die Lokomotive nur noch ihr eigenes Gewicht zu schleppen vermag.

Der Kleinstwert von $c$ tritt ein

nach $$\frac{dc}{ds} = O$$

bei $$s = -w \pm \sqrt{w^2 + w\left(\frac{f}{a} - w_l\right)} \qquad (13)$$

Wenn $w_l$ und $w_q$ gegeben sind, so ändert sich $w$ mit der Zuglänge, also mit der Neigung $s$.

Wenn man in der Gleichung

$$L\,w_l + Q\,w_q = (L + Q)\,w$$

nach Gleichung (2) $L$ durch $Q$ ersetzt, so ergibt sich:

$$w = \frac{\frac{f}{a}\,w_q + s\,(w_l - w_q)}{\frac{f}{a} - (w_l - w_q)} \qquad (14)$$

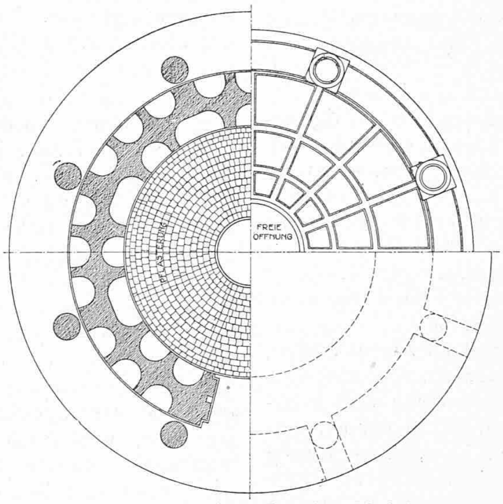
Hieraus lässt sich der durchschnittliche Widerstand $w$ für jede beliebige Neigung schnell ermitteln. Um Gleichung (13) zu benutzen, muss man $w$ zunächst schätzen, dann $w$ mit dem aus (13) gefundenen $s$ nach Gl. (14) berichtigen, hierauf aus Gl. (13) $s$ genauer bestimmen. (Schluss folgt.)

## Friedhof-Architekturen

der Architekten B. S. A. *Rittmeyer & Furrer*, Winterthur.

(Mit Tafeln 9 und 10).

Der Wunsch, die Urnen mit den Aschenresten lieber Verstorbener in einer Weise aufstellen zu können, dass sie vor Diebstahl oder Schändung einigermassen geschützt doch dem Auge sichtbar bleiben und die Stätte mit Blumen und Kränzen geschmückt werden kann, führte zum Bau einer Urnenhalle oder Kolumbarium. Dem alten römischen Taubenhaus, einem turmartigen Rundbau mit Nischen für die Tauben, sind Form und Name für derartige Bauten entlehnt. Es sind an der Aussen- und Innenwand des Tempelchens im ganzen 60 einfache und 12 Doppel-Nischen, durch vergoldete Eisengitter verschlossen, zur sichtbaren Aufstellung der Aschenurnen ausgespart. Ausserdem sind in der Brüstung noch acht durch Steinplatten verschlossene, grosse Nischen zur Beisetzung der Aschen ganzer Familien angeordnet. Der Bau ist vollständig in Kunststein ausgeführt, der innere Fussboden gepflastert; die Flachkuppel, innen kassettiert, ist oben offen (vgl. Grundriss). Auf der Abdeckplatte der Nischenwand sind Tonkisten mit Hänge-Geranien aufgestellt. Die Nischengrösse verlangt die Einhaltung annähernd gleicher Dimensionen der Urnen, dagegen ist der Individualität in Material und Form innerhalb künstlerischer Grenzen freier Spielraum gelassen.




Kolumbarium auf dem Rosenberg-Friedhof in Winterthur. — Horizontalschnitte 1 : 100.

Leider kommt der Fall bei uns nicht sehr häufig vor, dass der Architekt mit der Schaffung des Entwurfes für einen Grabstein oder ein Familiengrabmal beehrt wird. Die Gestaltung ihrer Form verlangt sorgfältiges Abwägen und strenge Zucht in der Wahl der Motive und Ornamente. Bei den Familiengrabmalen Ziegler auf dem Waldfriedhof in Schaffhausen und Kägi auf dem Rosenbergfriedhof [1]) in Winterthur ist der Gedanke des Liegens, die Horizontale, das Leitmotiv. Das erste ist aus Sandstein, ausgeführt von Gautschi in St. Margrethen, das zweite aus Mägenwiler-Muschelsandstein, ausgeführt von Müller & Cie. in Winterthur. Beim Grabmal Steiner wurde auf Wunsch der Familie die Lieblingspflanze des Familienhauptes, das Blatt des Gingko, ornamental verwertet; es ist ausgeführt von Bildhauer Liechti in Winterthur. Leider sind die Masstäbe innerhalb der Grabmal-Reihen, in denen die Monumente Steiner und Kägi stehen, derart verschieden, dass ihre Wirkung etwas beeinträchtigt wird. *R.*

## Von der Rhätischen Bahn.

Ueber den Ausbau und den Unterhalt der Linien der Rhätischen Bahn entnehmen wir dem 32. Geschäftsbericht der Direktion und des Verwaltungsrates für das Jahr 1919 die folgenden, unsern Leserkreis interessierenden Angaben:

Infolge starker Deformationen und ungenügendem Lichtraum-Profils für die vorgesehene Elektrifizierung der Strecke Davos-Klosters musste im Mai 1919 der Umbau des *Cavadürli-Tunnels* in Angriff genommen werden. Starker Wasserzudrang und sehr schwierige Bauverhältnisse haben den Fortgang der Arbeiten verlangsamt. Wegen eines am 2. Juli erfolgten Einbruches der Kalotte war der durchgehende Betrieb Klosters-Davos bis zum 20. August unterbrochen. Im Berichtjahre gelangten 119,4 *m* Widerlager und 14,5 *m* Gewölbe zur Ausführung, welche Leistungen einer rekonstruierten Tunnellänge von 31,8 *m* entsprechen.

Die in Aussicht genommenen Wiederherstellungsarbeiten im *Tasna-Tunnel* auf der Linie Bevers-Schuls konnten wegen Mangel an guten Berufsarbeitern nicht vollendet werden; sie waren vom Juni bis November eingestellt. Insgesamt wurden 85,5 *m* Tunnellänge rekonstruiert; infolge eines neu sich bildenden Erdrutsches und der Gefahr von Schneerutschen musste ferner das untere Portal um 7 *m* verlängert werden. Die Deformationen im *Magnacun-Tunnel*, insbesondere in den verstärkten Tunnelprofilen von Km. 134,87 bis 135,31, schreiten langsam vorwärts. Eine teilweise Rekonstruktion wird mit der Zeit eine absolute Notwendigkeit sein. Im Berichtjahre wurden Vorbereitungen getroffen, um den Bau mit maschinellen Einrichtungen zu betreiben und auch im Winter weiterführen zu können. Die Hauptarbeit bildet vorläufig die Entwässerung mittels eines Kanals in der Axe des Tunnels.

Was die *Elektrifizierung* anbetrifft, so wurden während des Berichtjahres die Leitungsbauarbeiten auf der Strecke *Bevers-Filisur* zu Ende geführt, sodass der elektrische Betrieb auf dieser Strecke, wie unsere Leser aus einer früheren Mitteilung wissen, im April

[1]) Eingehend beschrieben in Bd. LXIV, S. 277 (26. Dez. 1914). *Red.*