

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 83/84 (1924)
Heft: 5

Artikel: Das Gleichgewichtsprofil der Seilbahn
Autor: Peter, H.H.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-82736>

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: 06.02.2025

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

Schleuse offen bleiben und daher wohl eine Druckverminderung, aber keine völlige Entlastung der angedrückten Klappe der unteren Schleuse eintritt. Dieser Zustand macht sich durch ein dauerndes Zischen bemerkbar, hervorgehoben durch die Luft, die durch das Ventil i ein- oder ausströmt. Durch Öffnen des Ventils m werden in einem solchen Fall alle vier Klappen entlastet und die Büchsen fallen in den Empfangskorb.

Beim vollautomatischen Apparat dient für die Absendung der Büchsen eine Vorrichtung, in der im wesentlichen das gleiche Doppelklappensystem wie beim Empfänger eingebaut ist. Diese Schleuse steht mit einem einfachen Doppelklappensender in Verbindung, der ein nach zwei Seiten abgechrägtes Einwurfrohr besitzt. Jede Seite dieser Einwurfanordnung ist durch Klappen verschlossen.

Die Signale für den Büchsenverkehr erfolgen entweder auf telephonischem oder auf optischem Wege, in Verbindung mit einem Zähler, wobei gleichzeitig durch eine Fernsteuerung zu den Gebläse-Antriebsmotoren auch deren bedarfsweises Ein- und Ausschalten veranlasst wird. Ferner wurde für den Rohrpostdienst die elektrische Zeitstempelung durch den Anschluss an die telegraphenamtlichen Zentraluhrenanlagen ermöglicht (Siemens- & Halske-System, Berlin). Diese Maschinen arbeiten bei Einschaltung der Fernsteuerungs-Automaten, durch die Patronensignalanlage betätigt, nur auf die Dauer der einzelnen Büchsentransporte, was grosse Stromersparnisse zur Folge hat.

Das Gleichgewichtsprofil der Seilbahn.

Von Zivilingenieur H. H. Peter in Zürich.

Ungenügend studierte Längenprofile bei Seilbahnen mit Motor- oder Wasserballast-Betrieb haben schon öfter Projektanten und Bahnunternehmungen Missvergnügen bereitet. Wenn auch die in der Schweiz seit rund einem Vierteljahrhundert erstellten Seilbahnen durchweg elektrischen Betrieb und eine freiere Entwicklung des Längenprofils als Wasserballast-Bahnen erhielten, so ist doch allgemein bei der Projektierung solcher Bahnen vom betriebstechnischen Standpunkt aus, namentlich zur Erzielung gleichmässiger Fahrgeschwindigkeit und befriedigender Fahrtregulierung, geringen Betriebskraftkonsums und günstiger Dimensionierung, bzw. Beanspruchung von Antrieb und Bremsen, ein möglichst vorteilhaftes Längenprofil, das sogenannte theoretische (ideale, kompensierte) oder Gleichgewichtsprofil anzustreben. Dabei hat natürlich der projektierende Ingenieur auch einer in bautechnischer Hinsicht möglichst rationellen Linienführung alle Aufmerksamkeit zu schenken.

Die bisher in der technischen Literatur vorhandenen Darstellungen des theoretischen Längenprofils für Seilbahnen mit Motor- oder Wasserballast-Betrieb sind für die Zwecke des Praktikers zum Teil zu ungenau, zum Teil zu kompliziert und damit für die direkte Verwendung und rasche Berechnung in Bureau und Feld ungeeignet. Je nach den Belastungsannahmen und den in die Rechnung eingeführten Näherungen wurde das Gleichgewichtsprofil für ungleiche Wagenlasten von v. Hauer, de la Goupillière, Chenaux und v. Reckenschuss, zum Teil mit einem grossen Aufwand von Formeln, als Zykloide nachgewiesen; Vautier und Tajani vertreten hierfür genähert eine Planparabel, und Cavalli und Meissner für gleiche Wagenbelastungen die Traktrix.

Alle diese bisherigen Arbeiten lassen eine einfache, allgemeine Ableitung sowohl des Gleichgewichtsprofils als insbesondere einer daraus bequem zu errechnenden und für die Bedürfnisse der Praxis genügend genauen Näherungskurve erwünscht erscheinen.

I. Theoretisches Profil.

Es bedeuten:

P_1 , bzw. P_2 das Bruttogewicht des talwärts-, bzw. bergwärts fahrenden Wagens in kg,
 p das Zugseilgewicht in kg/m,

α , bzw. β die Bahnneigung am untern, bzw. am obern Bahnende,
 l die horizontale Bahnlänge zwischen den Wagen, bzw. Bahnenden in m,
 h die Höhendifferenz zwischen den beiden Wagenstellungen, bzw. Bahnenden,
 W die gesamten Bahnwiderstände (die für Projektzwecke genügend genau als konstant angenommen werden können) in kg,

K die am Seiltriebbradumfang wirkende Motorkraft in kg und

γ die Bahnneigung in Ausweichmitte;
 dann hat man bei Bergfahrt des Wagens P_2 vom untern Bahnende aus

$$P_2 \sin \alpha - P_1 \sin \beta + p h = K - W, \dots (1)$$

und für die korrespondierende Wagenstellung P_2 am obern Bahnende

$$P_2 \sin \beta - P_1 \sin \alpha - p h = K - W, \dots (2)$$

für die Wagenkreuzungsstelle in der Ausweichmitte ist ferner

$$(P_2 - P_1) \sin \gamma = K - W. \dots (3)$$

Hieraus folgt

$$(P_2 - P_1) (\sin \beta + \sin \alpha) = 2 (K - W) \dots (4)$$

$$(P_2 + P_1) (\sin \beta - \sin \alpha) = 2 p h \dots (5)$$

$$\sin \beta + \sin \alpha = \frac{2 (K - W)}{P_2 - P_1} = 2 \sin \gamma \dots (4')$$

$$\sin \beta - \sin \alpha = \frac{2 p h}{P_2 + P_1} \dots (5')$$

$$h = \frac{P_2^2 - P_1^2}{4 p (K - W)} (\sin^2 \beta - \sin^2 \alpha) = y_2 - y_1 \dots (6)$$

wo y_2 und y_1 die Ordinaten der beiden Wagen-Endstellungen in den Neigungen β und α sind.

Daraus folgt als Gleichung des Bahnprofils, wenn y die der Bahnneigung τ entsprechende Ordinate bedeutet

$$y = \frac{P_2^2 - P_1^2}{4 p (K - W)} \sin^2 \tau, \dots (7)$$

also eine Zykloide mit dem Rollkreisdurchmesser

$$c = \frac{P_2^2 - P_1^2}{4 p (K - W)} = \frac{P_2 + P_1}{4 p \sin \gamma} \dots (7')$$

Für diese Kurve hat man, die Integrationskonstante gleich Null gesetzt, die weiteren Parametergleichungen:

$$s = \int \frac{dy}{\sin \tau} = 2 c \int \cos \tau d\tau = 2 c \sin \tau \dots (8)$$

$$x = \int \cos \tau ds = 2 c \int \cos^2 \tau d\tau = c (\tau + \sin \tau \cos \tau) \dots (9)$$

$$q = \frac{ds}{d\tau} = 2 c \cos \tau. \dots (10)$$

Die Endneigungen sind

$$\sin \alpha = \frac{K - W}{P_2 - P_1} - \frac{p h}{P_2 + P_1} = \sin \gamma - \frac{p h}{P_2 + P_1} \dots (11)$$

$$\sin \beta = \frac{K - W}{P_2 - P_1} + \frac{p h}{P_2 + P_1} = \sin \gamma + \frac{p h}{P_2 + P_1} \dots (12)$$

ferner ist die in der Bahnneigung gemessene Länge zwischen den Bahnenden

$$s = \frac{h}{\sin \gamma} = \frac{2 h}{\sin \alpha + \sin \beta} = h \frac{P_2 - P_1}{K - W} = 2 c \frac{p h}{P_2 - P_1} \dots (13)$$

und

$$\frac{h}{l} = \frac{\sin^2 \beta - \sin^2 \alpha}{\beta - \alpha + \sin \beta \cos \beta - \sin \alpha \cos \alpha} = \frac{\cos^2 \alpha - \cos^2 \beta}{2 \beta - 2 \alpha + \sin 2 \beta - \sin 2 \alpha} \dots (14)$$

Ausser der allgemeinen Bahngleichung für Motorbetrieb

$$y = \frac{P_2^2 - P_1^2}{4 p (K - W)} \sin^2 \tau$$

erhält man, wenn die Motorkraft $K = 0$ sein soll, nach Gleichung (3) die Bedingung

$$P_1 - P_2 = \frac{W}{\sin \gamma},$$

und damit die Bahngleichung für Wasserballast-Betrieb

$$y = \frac{P_1^2 - P_2^2}{4 p W} \sin^2 \tau = c_1 \sin^2 \tau, \dots (15)$$

d. h. eine Zykloide mit dem Rollkreisdurchmesser

$$c_1 = \frac{P_1^2 - P_2^2}{4 p W} = \frac{P_1 + P_2}{4 p \sin \gamma} \dots (15')$$

Hierbei ist zu beachten, dass im Bruttogewicht P_1 ausser der Verkehrslast auch der Wasserballast inbegriffen ist.

Soll die Motorkraft gerade gleich den Bahnwiderständen, d. h. $K = W$ sein, so hat man aus Gleichung (3)

$$P_1 = P_2 = P$$

d. h. die beiden Wagenbruttogewichte müssen einander gleich sein; in diesem Fall wird Gleichung (2)

$$P (\sin \beta - \sin \alpha) = ph = p (y_2 - y_1),$$

welcher Bedingung die Bahnkurve

$$y = \frac{p}{\rho} \sin \tau = c_2 \sin \tau, \dots (16)$$

also eine *Traktrix* mit der konstanten Tangentenlänge

$$c_2 = \frac{p}{\rho} \dots (16')$$

entspricht.

Die weitem Parametergleichungen dieser Kurve folgen sofort aus

$$s = \int \frac{dy}{\sin \tau} = c_2 \int \cot \tau d\tau = c_2 \ln \sin \tau \dots (17)$$

$$x = \int \cos \tau ds = c_2 \int \frac{\cos^2 \tau}{\sin \tau} d\tau = c_2 (\cos \tau + \ln \tan \frac{\tau}{2}) \dots (18)$$

$$\rho = \frac{ds}{d\tau} = c_2 \cot \tau \dots (19)$$

für die Bahnmitte ist in diesem Fall

$$\sin \gamma = \sqrt{\sin \alpha \sin \beta} \dots (20)$$

Die Bedingungen für den Fall gleicher Wagenbruttogewichte gestatten, für die eine Bahnhälfte die Profilkurve vorzuschreiben und hiernach das Profil des andern Bahnteils zu bestimmen. Führt man vorstehend ausser der Bedingung $K = W$, bzw. $P_1 = P_2 = P$ noch die Bedingung nach Gleichung (4') ein, so erhält man, wie leicht einzusehen, wieder das *Zykloidenprofil*. Die Annahme konstanter Neigung auf der untern oder obern Bahnhälfte führt wiederum zu einer *Traktrix* für die zweite Bahnhälfte.

II. Das Näherungsprofil.

Die exakte Bestimmung des *Zykloidenprofils* erfordert bei gegebener horizontaler Bahnlänge und Höhendifferenz Näherungs-Rechnungen, die vermieden werden können, wenn man berücksichtigt, dass die Neigung γ in der Ausweichmitte (Mitte der in der Neigung gemessenen Bahnlänge) sehr nahe gleich ist der mittlern Neigung der Bahn, d. h. genügend genau

$$\tan \gamma = \frac{h}{l} \dots (21)$$

gesetzt werden kann. Mittels der Gleichung (3) und der folgenden lassen sich dann alle weitem Stücke der Profilkurve bestimmen.

Dieses abgekürzte Verfahren zur Bestimmung des *Zykloidenprofils* hat immer noch den Nachteil, dass die Berechnung aller Elemente bei Projektierung und Absteckung zu zeitraubend ist. Diese Unannehmlichkeit lässt sich nun namentlich für die *praktischen* Zwecke in genügend genauer und zweckmässiger Weise dadurch umgehen, dass anstelle der *Zykloide* eine passende *Näherungs-Kurve* gewählt wird.

Betrachtet man in den Ableitungen für das Gleichgewichtsprofil die im allgemeinen gegebene Horizontal-länge l und Höhenüberwindung h der Bahn, sowie den aus den Gleichungen (11) und (12) für das *Zykloidenprofil* bestimmten Wert

$$\tan \beta - \tan \alpha = 2 \lambda \dots (22)$$

als Elemente einer *Näherungsparabel*, so ergibt sich damit aus der Bedingung

$$\tan \beta + \tan \alpha = 2 \mu \dots (23)$$

die Gleichung des *genäherten Gleichgewichtsprofils*, bezogen auf das untere Bahnende als Ursprung

$$y = (\mu - \lambda) x + \frac{\lambda}{l} x^2 \dots (24)$$

Diese *Planparabel* kommt der genauen *Zykloide* nach Gleichung (7) so nahe, dass die Variation der Differenz der Seilzugkräfte an der Triebrolle während einer Fahrt, mit Rücksicht auf die Unsicherheit in der Bewertung der gesamten Bahnwiderstände, für die Bemessung der Grösse der Betriebskraft (Motor oder Wasserballast) praktisch belanglos ist. Dies geht schon daraus hervor, dass die aus den Gleichungen (22) und (23) bestimmte Anfangs- und

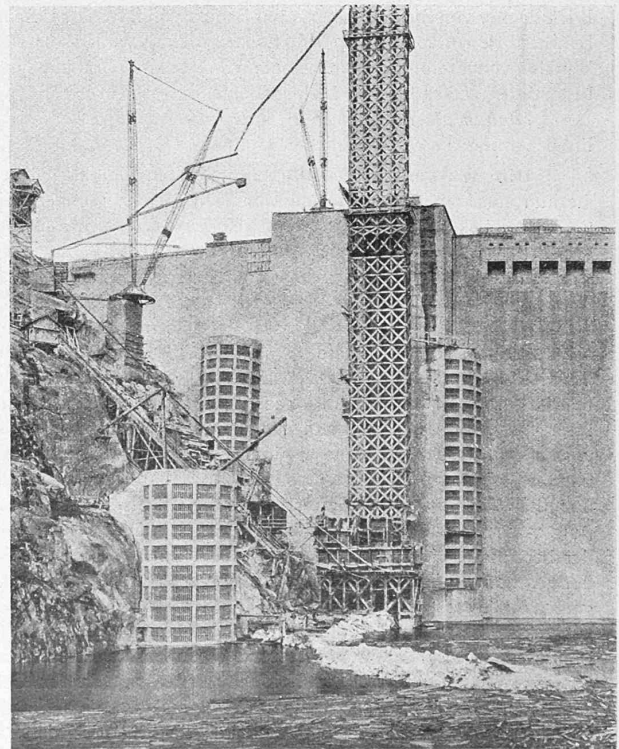
Endneigung des *Parabelprofils* nur je um eine kleine Konstante geringer ist als die der Gleichung (22) zugrunde liegenden entsprechenden Neigungen des *Zykloidenprofils*.

Das so bei geeigneter Wahl der Rechnungsgrundlagen ermittelte Längenprofil ist allfällig nur noch in der Weise abzuändern, dass es auch der Beschleunigungsarbeit beim Anfahren Rechnung trägt.

Für das *Traktrixprofil* erhält man eine in kartesischen Koordinaten unschwer zu rechnende, genügend genaue algebraische Näherungskurve, wenn man die Bahnenden als Punkte einer *verkürzten Diokleischen Kissoide* betrachtet. Näherungsweise kann in dem für Seilbahnen in Betracht kommenden Bereich auch die gemeine *Kissoide* mit dem Grundkreisdurchmesser $d = 1,1 c_2$ die *Traktrix* ersetzen.

Miscellanea.

Die *Hetch-Hetchy-Staumauer* der Wasserversorgung von San Francisco, die nachträglich, nach dem Stadtgenieur von San Francisco, O'Shaughnessy-Mauer benannt wurde, ist im letzten Frühjahr vollendet worden. Ueber die Anlage dieser Talsperre und der anschliessenden, rund 270 km langen Wasserleitung haben wir seinerzeit in Band 69, Seite 278 (16. Juni 1917) unter Beigabe eines Längenprofils kurz berichtet. Die Mauer, die in einem Bogen von 215 m Halbmesser angelegt ist, hat in ihrem gegenwärtigen Ausbau eine grösste Höhe von 106 m zwischen Fundamentsohle und Krone; sie hat eine grösste Stärke von 91 m an der Sohle und eine Kronenlänge von 180 m; bei der Bemessung des Fundaments wurde bereits auf eine spätere Erhöhung der Mauer um 25 m Rücksicht genommen. Die nachstehende Abbildung zeigt das linksufrige Widerlager der Mauer von der Wasserseite aus gesehen. Die Wasserentnahme für die Wasserversorgung erfolgt durch einen mit drei Ventilen (System Larner-Johnson) von 90 cm lichtigem Durchmesser und Einlassrechen aus Eisenbeton versehenen Grundablass (links im Bilde) und einem darüber angeordneten zweiten, gleichartigen Auslass. Hinter dem rechts im Bilde sichtbaren Eisenbeton-Einlassrechen sind, zu je zwei über die Höhe verteilt, sechs Ventile von 1,52 m lichtigem Durchmesser zur Wasserentnahme für Bewässerungszwecke angeordnet. Oben an der Mauerkrone erkennt man fünf der achtzehn je 3 m breiten Öffnungen des Saugüberfalls mit den darüberliegenden Luftenlässen. In der Mitte steht noch der hölzerne Giessturm.



Hetch-Hetchy-Staumauer für die Wasserversorgung von San Francisco.