Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 78 (1960)
Heft: 1

Artikel: Seilbahnberechnung bei beidseitig verankerten Tragseilen
Autor: Zweifel, Otto
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-64812

ORGAN DES SCHWEIZERISCHEN INGENIEUR- UND ARCHITEKTEN-VEREINS S.I.A. UND DER GESELLSCHAFT EHEMALIGER STUDIERENDER DER EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE G.E.P.

Seilbahnberechnung bei beidseitig verankerten Tragseilen

DK 625.923.001.2

Von Prof. **Otto Zweifel,** ETH, Zürich

1. Einleitung

Wenn dieses Problem hier erneut aufgegriffen wird, so scheint das einem gewissen Bedürfnis zu entsprechen, da in der Praxis der Eindruck vorherrscht, die an sich bekannte Berechnung beidseitig verankerter Tragseile sei insbesondere bei mehrfeldrigen Systemen verwirrend kompliziert oder zumindest ausserordentlich zeitraubend. In der Tat findet man immer wieder Seilbahnen, bei denen sich das Tragseilspanngewicht während des Betriebes verhältnismässig wenig verschiebt, so dass man sich fragen muss, ob sich die feste Verankerung in diesen Fällen bei einer vergleichenden Durchrechnung nicht als die bessere Lösung erwiesen hätte.

In der Literatur ist diese Frage schon öfter behandelt worden; es ist hier nicht möglich, auf die verschiedenen Aufsätze einzugehen. An neueren Veröffentlichungen sei in erster Linie die Arbeit von *Stüssi* [1]) erwähnt, in der das Problem von Grund auf neu und in allgemeiner Art angepackt und elegant gelöst ist. Es werden dort Lösungen für vollständig beliebige Belastungen eines Seiles angegeben, während im vorliegenden Aufsatz nur der Spezialfall der Seilbahn behandelt wird, wo das fest verankerte Tragseil abgesehen von den Reibungskräften nur Belastungen senkrecht zur Seilaxe erfährt, und das Zugseil die Lastkomponenten in der Tragseilrichtung übernimmt. Im folgenden soll der Versuch unternommen werden, eine Vorlage für die Berechnung fest verankerter Tragseile zu schaffen, die einerseits (wie z. B. auch *Czitary* in seinem Standardwerk [2]) über Seilschwebebahnen) auf der traditionellen Seilbahnrechnung aufbaut und anderseits versucht, trotz einfacher Rechenschieberrechnung auch bei mehrfeldrigen Systemen und selbst bei beweglichen Stützen mit einem durchaus erträglichen Rechenaufwand brauchbare Ergebnisse zu erzielen. Das wird in erster Linie dadurch erreicht, dass die genauen Beziehungen in Reihen entwickelt werden, so dass man bei sofortigem Abbruch dieser Reihen in raschester Weise zu gut angenäherten Ergebnissen kommt. Diese können, wenn nötig, mit Hilfe weiterer Reihenglieder auf ihre Genauigkeit überprüft und in kritischen Belastungsfällen verbessert werden.

Für die Berechnung einer Seilbahn müssen die Seilzugkräfte, die Seilwinkel und die Durchhänge für alle Laststellungen bestimmt werden können. Während aber bei dem durch ein Spanngewicht gespannten Tragseil die Seilzugkraft beim Gewicht selbst bekannt ist und sich von dort aus alle anderen Seilkräfte leicht berechnen lassen, ist es im allgemeinen für die Rechnung mit verankerten Tragseilen charakteristisch, dass für jede Laststellung eine mehrmalige Durchrechnung erforderlich ist. Es müssen sukzessive neue Annahmen über die Kräfte in Trag- und Zugseil getroffen werden, bis die Tragseillänge bei der angenommenen Temperatur wieder richtig herauskommt.

Ing. *Bruno Hirzel,* Manschinenfabrik Habegger, Thun, verdanke ich den Hinweis, dass es die Berechnung der Seilkräfte in Funktion der Temperatur wesentlich vereinfacht, wenn in dieser Phase die Fragestellung in origineller Weise umgekehrt und zu jeder Kraftannahme einfach die Temperatur bestimmt wird, für welche das Seil gerade die aus den angenommenen Seilkräften berechnete Länge hat. In der Tat ist es ohnehin notwendig, den Temperatureinfluss zu untersuchen, und auf diese Weise ergibt praktisch jede Durchrechnung ein brauchbares Resultat.

Im Gegensatz zur Gewichtsspannung variiert die Tragseilkraft bei beidseitiger Verankerung infolge einer Lastverschiebung in nicht vernachlässigbarer Weise, insbesondere wenn nur eine einzige Wanderlast vorhanden ist. Sie wird maximal, wenn sich die Last in der Feldmitte, minimal, wenn sie sich am Feldende befindet. Im ersten Fall werden die Zugspannungen, im zweiten Fall die Biegespannungen im Tragseil unter den Laufrollen maximal. Die Seilwinkel an den Stützen und die Zugseilkräfte werden extremal, wenn sich die Last in unmittelbarer Stützennähe befindet. Es genügt deshalb in der Regel, wenn man die Laststellungen in Feldmitte und in unmittelbarer Nähe der Stützen untersucht. Zwischenstellungen lassen sich nötigenfalls in guter Annäherung durch Interpolationsbeziehungen (vgl. Abschnitt 5) berechnen.

Im Zentrum des vorliegenden Aufsatzes stehen die Rechnungsanweisungen der Abschnitte 6 und 7, wo die mehrfeldrige Seilbahn mit Verankerung des Tragseiles an beiden Bahnenden und der zwischen zwei Pendeltürmen hin- und herfahrende Kabelkran behandelt werden.

Es sei empfohlen, sich zunächst mit den in Abschnitt 3 eingeführten neuen Grössen vertraut zu machen und dann die mathematischen Beziehungen und theoretischen Ueberlegungen von Abschnitt 4 durchzusehen. Sodann wird man am besten ein eigenes Beispiel mit Hilfe der Näherungsbeziehungen von Abschnitt 5 durchrechnen, indem man dem Rechnungsverlauf der Beispiele in den Abschnitten 6 und 7 folgt.

In der Hauptsache beschränken sich die Ausführungen der Uebersichtlichkeit halber auf eine einzige Wanderlast. Die Gleichungen für mehrere Einzellasten im gleichen Feld sind in Abschnitt 9 aufgeführt; das Vorgehen bei der Rechnung selbst ist das selbe wie bei einer Wanderlast.

2. Wichtigste Bezeichnungen (für eine Einzellast, d. h. ohne die nur in Abschnitt 9 gebrauchten Grössen)

Symbol		Bild	Gleichung
a) Längen			
b, b_1, b_2 c, c_1, c_2 h, h_1, h_2 s, s_1, s_2 u	Feldabmessungen, Bogenlängen usw. vgl. Abschnitt 3	1, 2	
Δc	Differenzlängen vgl. Abschnitt 3		2, 10, 10a
Δs			3, 11, 11a
δ			4, 12, 12a
Δu			1, 5
x	Seilkoordinaten	7	8, 8a, 17
y		1	
z		3, 7	
b) Kräfte			
H_T, H_{T1}, H_{T2} H_Z, H_{Z1}, H_{Z2}	Horizontalkräfte im Trag- und Zugseil (allgemein, links, rechts)		

[1]) F. Stüssi: Zur Theorie des Tragseils bei Militärseilbahnen, «Technische Mitteilungen für Sappeure, Pontoniere und Mineure», 2. Jahrgang 1937; sowie Baustatik I, Verlag Birkhäuser 1953, 2. Aufl., S. 358 ff.

[2]) Czitary, Seilschwebebahnen, Springer Verlag, Wien 1951.

Symbol		Bild	Gleichung
H	vergleiche Gleichung		7
Q	Einzellast	1	
S	Seilzug (allg.)		
S_T	Tragseilzug	3	18
$\overline{S}_T$	mittleres S_T, vgl.		7a, 19
ΔS_T	Seilzugerhöhung im Tragseil nach Belastungsänderung		20

c) Seildaten

E	Seil-Elastizitätsmodul[3])		
F	metallischer Querschnitt		
t	Temperatur		
β	Ausdehnungskoeffizient [Stahl: etwa $1{,}1 \cdot 10^{-5}$ (°C)$^{-1}$]		
q	Längeneinheitsgewicht		
q_T	q Tragseil		
q_{Z1}	q Zugseil links		
q_{Z2}	q Zugseil rechts		
$\overline{q}$, Δq	vgl. Gleichung		6

d) Indizes

$\ldots^*$	erster Belastungsfall		
$\cdots_1, \cdots_2$	links, rechts	1	
$\cdots_m, \cdots_s$	Laststellung in Feldmitte (m) bezw. in Stützennähe (s)		
$\cdots_T, \cdots_Z$	Tragseil, Zugseil		
$\cdots_A, \cdots_B$ / $\cdots_C, \cdots_D$	vgl. Bilder	3, 5	

3. Definition der Ueber-Längen, der Last- und Null-Längen

In diesem Abschnitt sollen vorerst verschiedene Grössen eingeführt werden, die für die Theorie der fest verankerten Tragseile benötigt werden.

Die auf Bild 1 für eine beliebige Laststellung eingezeichneten Grössen c, c_1, c_2, s_1 und s_2 sind *wirkliche* (unmittelbar messbare) Längen im belasteten Zustand bei der beliebigen Temperatur t. Somit variiert z. B. die Stützendistanz c von Belastungsfall zu Belastungsfall, wenn es sich um bewegliche Stützen handelt, und $s_1 + s_2$ ist die belastete Länge (= Last-Länge) des Seilstückes, das sich bei der betreffenden Belastung gerade zwischen den Stützen befindet, und verändert sich nicht nur wegen Spannungs- und Temperaturänderungen, sondern auch, weil im allgemeinen das Seil von einem Feld ins andere rutschen kann.

Es ist nun für die Rechnung von Vorteil, wenn kleine Differenzlängen eingeführt werden und nur mit diesen gerechnet wird. Man kann dabei folgendermassen vorgehen:

[3]) Zahlenwerte für E in t/mm² nach Wyss («Die Stahldrahtseile der Transport- und Förderanlagen etc.», Schweizer Druck- und Verlagshaus AG., Zürich 1956, S. 118):

verschlossene Spiralseile	14,5 . . . 17,2
offene Spiralseile	12,5 . . . 14,5
Litzenspiralseile	10 . . . 12,5
Litzenseile ohne Hanfseele	10 . . . 12,5
Litzenseile mit Hanfseele	7 . . . 10

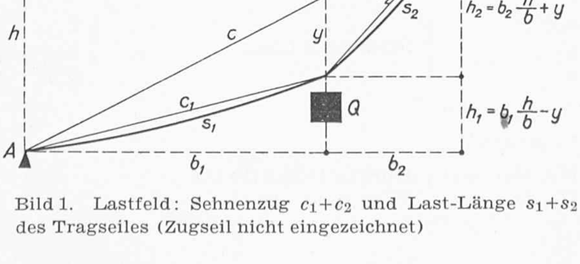

Bild 1. Lastfeld: Sehnenzug c_1+c_2 und Last-Länge s_1+s_2 des Tragseiles (Zugseil nicht eingezeichnet)

Es ist

c = Feldsehne $\overline{AB}$

$c_1 + c_2$ = Sehnenzug $\overline{AQB}$

$s_1 + s_2$ = Last-Länge = wirkliche Länge des Seilstückes zwischen A und B

u = Null-Länge = ungespannte Länge des selben Seilstückes vollständig entlastet (überall $S_T = 0$) aber bei gleicher Temperatur

Nun definiert man die Differenzen dieser Grössen:

Ueberlänge der Null-Länge gegenüber der Feldsehne

$$(1) \qquad \Delta u = u - c$$

Ueberlänge des Sehnenzuges gegenüber der Feldsehne

$$(2) \qquad \Delta c = (c_1 + c_2) - c$$

Ueberlänge der Last-Länge gegenüber dem Sehnenzug

$$(3) \qquad \Delta s = (s_1 + s_2) - (c_1 + c_2)$$

elastische Verlängerung = Ueberlänge der Last-Länge gegenüber der Null-Länge

$$(4) \qquad \delta = (s_1 + s_2) - u$$

Aus (1) bis (4) ergibt sich ohne weiteres

$$(5) \qquad \underline{\Delta u = \Delta c + \Delta s - \delta}$$

als Hauptgleichung zwischen den kleinen Rechnungsgrössen.

Das Leerfeld (Bild 2) kann als Spezialfall des Lastfeldes (Bild 1) aufgefasst werden: Die Last wandert z. B. zur rechten Stütze, so dass einerseits b_2 (sowie c_2 und s_2) gleich Null, anderseits $b_1 = b$, $c_1 = c$ und $s_1 = s$ werden, was in (2) bis (4) berücksichtigt werden muss.

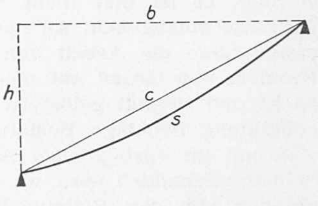

Bild 2. Leerfeld: Feldsehne c und Last-Länge s des Tragseiles

4. Theorie und allgemeine Gleichungen

Im folgenden soll formuliert werden, wie beim Uebergang von einem Belastungsfall auf einen anderen vorgegangen werden kann. Bei einem ersten Belastungsfall brauchen noch keine Annahmen darüber getroffen zu werden, ob das Tragseil durch ein Spanngewicht gespannt wird oder ob es an beiden Enden verankert ist. Erst beim Uebergang auf einen zweiten Belastungsfall muss entweder (bei Gewichtsspannung) gefordert werden, dass die Seilzugkraft beim Spanngewicht unverändert ist oder man muss (bei beidseitiger Verankerung) ausdrücken, dass zwischen den Verankerungsstellen das gleiche Seilstück bleibt.

Dazu ist es vorerst notwendig, dass die im vorhergehenden Abschnitt eingeführten Grössen als Funktionen der Felddimensionen und der Laststellung angeschrieben werden können. Soweit es sich dabei um Reihenentwicklungen handelt, sind die zugehörigen mathematischen Ableitungen der Uebersichtlichkeit zuliebe im Anhang zusammengefasst.

An Seilen seien nur ein Tragseil (Längeneinheitsgewicht q_T) und ein Zugseil vorhanden. Auch parallel geschaltete Tragseile bzw. Zugseile können wie ein einziges Seil behandelt werden. (Ist, wie beim Kabelkran, noch ein Hubseil vorhanden, werden dessen Längeneinheitsgewicht und dessen Horizontalkraft additiv zu den entsprechenden Grössen des Zugseiles geschlagen.) Da das Längeneinheitsgewicht des Zugseiles links (q_{Z1}) und rechts (q_{Z2}) der Last im allgemeinen verschieden ist, führt man ein mittleres Längeneinheitsgewicht $\overline{q}$ aller Seile zusammen ein sowie eine Differenzgrösse Δq:

$$(6) \qquad \overline{q} = q_T + \frac{(q_{Z1} + q_{Z2})}{2}; \quad \Delta q = q_{Z2} - q_{Z1}$$

Die Summen der Horizontalkräfte aller Seile links (Tragseil: H_{T1}, Zugseil: H_{Z1}) und rechts (H_{T2}, H_{Z2}) der rein vertikal wirkenden Last Q müssen gleich sein.

$$(7) \qquad H = H_{T1} + H_{Z1} = H_{T2} + H_{Z2}$$

Mit diesen Grössen bestimmt sich der Lastdurchhang y mit [4])

$$(8) \qquad y = \frac{b_1 b_2}{b H}\left[Q + \frac{c\,\overline{q}}{2} + \frac{c\,\Delta q}{4 b}(b_2 - b_1)\right]$$

Aus dem Anhang werden ferner folgende Beziehungen übernommen:

Längen der Sehnen zwischen der Last und den Stützen (vgl. Abschnitt 10.1):

$$(9) \quad \begin{cases} c_1 = b_1 \dfrac{c}{b} - \dfrac{h}{c} y + \dfrac{b^3}{2 b_1 c^3} y^2 + \dots \\ c_2 = b_2 \dfrac{c}{b} + \dfrac{h}{c} y + \dfrac{b^3}{2 b_2 c^3} y^2 + \dots \end{cases}$$

Vertikalabstände zwischen Last und Stützen (nach Bild 1):

$$h_1 = b_1 \frac{h}{b} - y$$

$$h_2 = b_2 \frac{h}{b} + y$$

Ueberlänge Sehnenzug gegen Feldsehne (vgl. Abschnitt 10.1):

$$(10) \quad \begin{cases} \Delta c = \dfrac{b^4}{2 b_1 b_2 c^3} y^2 \left[1 + \dfrac{(b_2 - b_1) b h}{b_1 b_2 c^2} y + \right. \\ \qquad \left. + \dfrac{b_1^3 + b_2^3}{b_1^2 b_2^2}\left(h^2 - \dfrac{b^2}{4}\right)\dfrac{b}{c^4} y^2 + \dots\right] \quad \text{(Lastfeld)} \\ \Delta c = 0 \quad \text{(Leerfeld)} \end{cases}$$

Ueberlänge der Last-Länge gegenüber dem Sehnenzug (nach Gl. 29, Abschnitt 10.2):

$$(11) \quad \begin{cases} \text{Lastfeld:} \\ \Delta s = \dfrac{b_1^4 q_T^2}{24 c_1 H_{T1}^2}\left[1 + \dfrac{3 b_1^2 + 8 h_1^2}{240 c_1^2}\left(\dfrac{b_1 q_T}{H_{T1}}\right)^2 + \dots\right] + \\ \quad \mp \dfrac{b_2^4 q_T^2}{24 c_2 H_{T2}^2}\left[1 + \dfrac{3 b_2^2 + 8 h_2^2}{240 c_2^2}\left(\dfrac{b_2 q_T}{H_{T2}}\right)^2 + \dots\right] \\ \text{Leerfeld:} \\ \Delta s = \dfrac{b^4 q_T^2}{24 c H_T^2}\left[1 + \dfrac{3 b^2 + 8 h^2}{240 c^2}\left(\dfrac{b q_T}{H_T}\right)^2 + \dots\right] \end{cases}$$

Elastische Seilverlängerung (nach Gl. 31, Abschnitt 10.3):

$$(12) \quad \begin{cases} \delta = \dfrac{H_{T1} c_1^2}{F E b_1}\left[1 + \dfrac{1}{2}\left(\dfrac{b_1 q_T}{H_{T1}}\right)^2 + \dots\right] + \\ \quad + \dfrac{H_{T2} c_2^2}{F E b_2}\left[1 + \dfrac{1}{2}\left(\dfrac{b_2 q_T}{H_{T2}}\right)^2 + \dots\right] \quad \text{(Lastfeld)} \\ \delta = \dfrac{H_T c^2}{F E b}\left[1 + \dfrac{1}{2}\left(\dfrac{b q_T}{H_T}\right)^2 + \dots\right] \quad \text{(Leerfeld)} \end{cases}$$

Mit den Werten von Δc, Δs und δ erhält man schliesslich nach (5) Δu.

Nun muss man sich der Aufgabe zuwenden, auszudrükken, dass das Tragseilstück zwischen den Verankerungsstellen bei allen Belastungsfällen stets ein und das selbe bleibt. Im allgemeinsten Fall kann sich die Rechnung auf mehrfeldrige Systeme beziehen, bei denen einerseits die Seile auf den Zwischenstützen verschiebbar und anderseits die Stützen selbst beweglich sind.

In einem ersten Belastungsfall (Index *) können die Seilzugkräfte genau gleich gerechnet werden, wie bei einer Anlage mit einem Tragseil-Spanngewicht (das dann vor dem Uebergang auf einen zweiten Belastungsfall fixiert wird). Mit Hilfe dieser Seilkräfte und der Sehnenlänge c^* und den übrigen Feldabmessungen werden zunächst nach (5) bis (12) die Grössen Δc^*, Δs^*, δ^*, Δu^*, und u^* in sämtlichen Feldern gerechnet. Die Temperatur dieses Belastungsfalles sei t^*.

Beim Uebergang [5]) auf einen anderen Belastungsfall mit den entsprechenden Grössen c, Δc, Δs, δ, Δu, u, und t bleibt im allgemeinen Fall keine einzige dieser Grössen gleich wie vorher. Selbst die Null-Länge u ändert sich unter Umständen (sogar abgesehen von allfälligen Temperaturänderungen), da einzelne Seilstücke in Nachbarfelder hinüberrutschen können. Dagegen kann sich die Gesamt-Null-Länge $\sum u$ (d. h. die *Summe* der Null-Längen *über alle Felder)* des Seiles nur entsprechend dem Wärmeausdehnungsgesetz ändern. Es wird also

$$\sum u = [1 + \beta\,(t - t^*)] \sum u^*$$

Mit (1) wird

$$\sum c + \sum \Delta u = \sum c^* + \sum \Delta u^* + \beta\,(t - t^*) \sum u^*$$

und damit ergibt sich schliesslich die Uebergangsbeziehung:

$$(13) \qquad \underline{\sum \Delta u = \sum \Delta u^* + \sum (c^* - c) + \beta\,(t - t^*) \sum u^*}$$

Stützen beweglich, Seile auf Stützen verschiebbar.

Falls die Seile auf den Stützen fixiert sind, bleibt das Seilstück zwischen zwei Stützen (auch wenn diese beweglich sind) immer das selbe, so dass dann für *jedes einzelne Feld gilt:*

$$u = [1 + \beta\,(t - t^*)]\, u^*$$

und damit analog wie oben für jedes Feld:

$$(14) \qquad \underline{\Delta u = \Delta u^* + (c^* - c) + \beta\,(t - t^*)\, u^*}$$

Stützen beweglich, Seil auf Stützen fixiert.

Bei unbeweglichen Stützen schliesslich wird in allen Feldern $c^* - c = 0$, so dass (13) und (14) übergehen in:

$$(15) \qquad \underline{\sum \Delta u = \sum \Delta u^* + \beta\,(t - t^*) \sum u^*}$$

Stützen unbeweglich, Seile auf Stützen verschiebbar.

$$(16) \qquad \underline{\Delta u = \Delta u^* + \beta\,(t - t^*)\, u^*}$$

Stützen unbeweglich, Seile auf Stützen fixiert.

Sollten die Gleichungen einmal für eine *Einseilbahn* angewendet werden, so ist zu berücksichtigen, dass die Summen in (13) oder (15) entlang dem ganzen endlosen Seil gebildet werden müssen. Jedes Feld wird also zweimal in jeder Summe in Erscheinung treten, einmal für das Bergseil und einmal für das Talseil.

Ohne hier näher darauf eintreten zu können, sei ferner erwähnt, dass insbesondere die Beziehung (15) auch bei der *Gewichtsspannung* zur Bestimmung der Gewichtsverschiebung gute Dienste leisten kann. Da in diesem Fall die Seilkräfte bei jeder Belastung ohne weiteres gegeben sind, lassen sich alle Glieder der Gleichung berechnen, die dann gerade um die Grösse der Gewichtsverschiebung nicht stimmt. Die Rechnung gestaltet sich zudem noch besonders einfach, da sich, abgesehen von den Reibungseinflüssen, nur das Δu des jeweiligen Lastfeldes verändert, und δ sogar in allen Feldern praktisch konstant bleibt, d. h. in der Rechnung vollständig unterdrückt werden darf.

5. Zusammenstellung der vereinfachten Beziehungen für Näherungsrechnungen

An und für sich könnte man verschiedene Stufen von Näherungen besprechen: es sei hier empfohlen, für erste Rechnungen so radikal wie möglich vorzugehen. Es ist ja mit Hilfe der Beziehungen des vorhergehenden Abschnittes jederzeit leicht feststellbar, wie genau man rechnet, und man kann nach Belieben die eine oder andere Vereinfachung fallen lassen.

[4]) Diese Beziehung folgt ohne Schwierigkeit aus der in Abschnitt 9 aufgeführten allgemeinen Gleichung (8b), wenn die Seilgewichte mit guter Näherung wie üblich so berücksichtigt werden, als ob die Seile entlang der Feldsehne verliefen. Wollte man etwas genauer rechnen (was kaum nötig ist), so könnte man statt der Feldsehne den Sehnenzug einführen und (8) schreiben:

$$y = \frac{b_1 b_2}{b H}\left[Q + \frac{c_1 + c_2}{2}\,\overline{q} + \frac{\Delta q}{4}(c_2 - c_1)\right]$$

[5]) Der Index * kommt nur in den Uebergangs-Beziehungen vor, bei denen zwei verschiedene Belastungsfälle unterschieden werden müssen. Alle anderen Gleichungen gelten selbstverständlich auch für den ersten Belastungsfall so gut wie für jeden anderen.

Hier soll folgendermassen vereinfacht werden:

1. Für die Durchhangsberechnung wird der Zugseileinfluss vernachlässigt.
2. Die Reihenentwicklungen werden sofort abgebrochen (grosses H, kleines y usw.).
3. Bei den zu untersuchenden Laststellungen beschränkt man sich auf die Feldmitte und die unmittelbare Stützennähe (Leerseilverhältnisse); für Zwischenpunkte wird eine Interpolationsbeziehung angegeben.

Damit werden die Gleichungen (6) zu

(6a) $\overline{q} \approx q_T\,;\ \Delta q \approx 0$

Statt der Horizontalkraft im Tragseil wird eine mittlere Seilkraft $\overline{S}_T$ eingeführt, die definiert wird durch

(7a) $\overline{S}_T = H_T \dfrac{c}{b}$ worin $H_T \approx H_{T1} \approx H_{T2} \approx H$

Der Durchhang für die Mittelstellung der Last wird nach (8) für $b_1 = b_2 = b/2$ usw. und mit (7a):

(8a) $y_m \approx \dfrac{c}{4\,\overline{S}_T}\left(Q + \dfrac{c\,q_T}{2}\right)$

Die Teilsehnen c_1 und c_2 kommen in (11) und (12) vor und werden ersetzt durch

(9a) $c_1 \approx c_2 \approx c/2$ weil $b_1 = b_2 = b/2$

Die Grösse Δc wird für die Mittelstellung der Last

(10a) $\begin{cases} \Delta c_m \approx \dfrac{2\,b^2}{c^3}\,y^2 & \text{(Lastfeld)} \\ \Delta c \approx 0 & \text{(Leerfeld)} \end{cases}$

Bei Δs und δ sind vor allem (7a) und (9a) zu berücksichtigen, so dass angeschrieben werden kann:

Ueberlänge der Last-Länge gegenüber dem Sehnenzug:

(11a) $\begin{cases} \Delta s_m \approx \dfrac{b^2\,c\,q_T{}^2}{96\,\overline{S}_T{}^2} & \text{(Lastfeld)} \\ \Delta s \approx \dfrac{b^2\,c\,q_T{}^2}{24\,\overline{S}_T{}^2} & \text{(Leerfeld)} \end{cases}$

Die elastische Seilverlängerung wird für Last- und Leerfelder gleich:

(12a) $\delta = \dfrac{\overline{S}_T\,c}{F\,E}$

Zusammen mit den Gleichungen (5) und (13) bis (16) sind das alle Beziehungen, die für die Näherungsrechnungen benötigt werden, wie aus den Beispielen der folgenden Abschnitte hervorgehen wird. Da die Beziehungen dieses Abschnittes besonders einfach sind, kann man die Rechnung selbstverständlich in geschlossenen allgemeinen Ausdrücken sehr weit führen. (Für ein Einzelfeld ist das in Abschnitt 8 angedeutet.)

Diese Gleichungen dienen, wie gesagt, nur für die beiden Laststellungen in Feldmitte und in unmittelbarer Stützennähe. Für Zwischenstellungen wird am einfachsten mit einer Interpolationsbeziehung gerechnet. In einer kürzlich erschienenen Veröffentlichung [6]) hat der Verfasser auf derartige Interpolationsbeziehungen hingewiesen; eine solche ist z. B.

(17a) $y = y_m \dfrac{H_m}{H}\left[1 - \left(1 - 2\,\dfrac{b_1}{b}\right)^2\right]$ worin

(17b) $H = H_m \sqrt{1 - \left[1 - \left(\dfrac{H_s}{H_m}\right)^2\right]\left(1 - 2\,\dfrac{b_1}{b}\right)^2}$

Für y_m, H_m und H_s sind die aus den eigentlichen Rechnungen gewonnenen Werte einzusetzen. Es bedeuten:

H_s = Horizontalkraft bei Laststellung in unmittelbarer Stützennähe (Leerseilverhältnisse).
H_m = Horizontalkraft bei Laststellung in Feldmitte.
y_m = Durchhang bei Laststellung in Feldmitte.

H_s und H_m sind dabei die Horizontlkräfte von Trag- und Zugseil zusammen, im Rahmen der hier gemachten Vernachlässigung des Zugseileinflusses allerdings einfach die Horizontalkräfte des Tragseiles allein. Statt mit den Horizontalkräften kann auch mit den mittleren Seilkräften $\overline{S}_T$ nach (7a) gerechnet werden.

Von Interesse ist ferner die Neigung der Tangente an die Lastwegkurve bei den Stützen. Ist α_s der Winkel dieser Tangente gegen die Horizontale, so wird:

(17c) $\operatorname{tg} \alpha_s = \dfrac{h}{b} \pm 4\,\dfrac{y_m}{b}\,\dfrac{H_m}{H_s}$

[6]) O. Zweifel: Näherungslösungen für die Lastwegkurve einer Einzellast bei beidseitiger Verankerung der Tragseile. «Internationale Berg- und Seilbahn-Rundschau» 1959, Heft 2, Gl. (2) und (8) sowie (3).

Schluss folgt

Gedanken über den Naturschutz

Von **A. Ostertag,** dipl. Ing., Zürich

DK 719.009

Die Bemühungen um wirksamen Schutz der Natur vor menschlichen Eingriffen haben in unserem Lande bald nach der Jahrhundertwende eingesetzt. Sie sind infolge der rasch fortschreitenden Nutzung der Bodenschätze und der Gewässer sowie der überhandnehmenden Ueberbauung der Landschaft immer dringlicher geworden. Zugleich traten sie in stets schrofferen Gegensatz zu den Erfordernissen einer heutigem Lebensstil entsprechenden Bedürfnisbefriedigung, und die Konflikte, die sich daraus ergaben, wirkten sich nicht nur auf das gesellschaftliche und öffentliche Leben in einer oft bemühenden Weise aus, sondern belasteten auch das Gemüt des einzelnen Bürgers. Dieser Notstand erzeugte ein allgemein empfundenes Missbehagen, das einer Entspannung dringend bedarf. Offensichtlich kann nur eine grundsätzliche Klärung der massgebenden Sachverhalte die notwendigen Einsichten verschaffen.

Nun haben in neuester Zeit eine Reihe bedeutsamer Veranstaltungen stattgefunden, die eine erfreuliche Wandlung in der Haltung zahlreicher, den Naturschutz befürwortender Männer erkennen lassen. Hiervon seien genannt:

1. Die sieben Vorträge, die an drei Freitagen vom 14. Januar bis 7. Februar 1958 an der Eidg. Technischen Hochschule unter dem Titel: «Die Zukunft von Feld, Wald und Wasser» [3] gehalten worden sind, 2. die Stellungnahme der Schweizerischen Vereinigung für Heimatschutz zum Ausbau der Engadiner Wasserkräfte anlässlich ihrer Hauptversammlung vom 10./11. Mai 1958 auf Seelisberg [5], 3. die Rektoratsrede, die Prof. Dr. *A. Frey-Wyssling* am ETH-Tag 1958 verlesen hat [4], 4. die Eidgenössische Volksabstimmung über den Staatsvertrag mit Italien betreffend die Nutzbarmachung des Spöls vom 7. Dezember 1958 und 5. die Hauptversammlung des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverbandes vom 27. August 1959 in Sils-Maria [6] [1]). Ueberall standen die Fragen über Naturschutz und Technik im Mittelpunkt der Auseinandersetzung. Da und dort bricht der Wunsch nach tieferem Verständnis der Geschehnisse auf technischem Gebiet und nach Zusammenarbeit zwischen Ingenieuren und Vertretern kultureller Anliegen durch. Was bisher trennte, aufwühlte und belastete, wird als nicht mehr stichhaltig und überdies als entwürdigend empfunden.

Dass nach dem Grundsätzlichen und den tieferen Zusammenhängen noch wenig gefragt wird, ist in unserer raschlebigen Zeit nicht erstaunlich: Man sieht den Notstand,

[1]) Eigentlich müsste hier auch die öffentliche Tagung vom 23. Mai 1959 im Bad Schinznach erwähnt werden, die der Zentralvorstand der Neuen Helvetischen Gesellschaft (NHG) veranstaltet hatte ([4], S. 301), die aber wegen der unglücklichen Art, wie sie präsidiert wurde, einen eher bemühenden Eindruck hinterliess.