BESTIMMUNG DER STÜTZPUNKTE VON SEILBAHN-BÖGEN, UNTER BERÜCKSICHTIGUNG DES EINFLUSSES DES KREISBOGENFÖRMIGEN STÜTZENLAGERS

Von

J. MEGYERI

Lehrstuhl für Eisenbahnbau, Technische Universität Budapest
(Eingegangen am 12. Februar 1971)

Vorgelegt von Dozent Dr. E. KERKÁPOLY

1. Einleitung

Beim Entwerfen von Seilbahnen wird in der Regel eine Punktlagerung in der Vertikalachse der Stütze angenommen, wobei der Einfluß des kreisbogenförmigen Stützenlagers vernachlässigt wird.

Bei einer genaueren Ermittlung der Seilbögen ist unbedingt anstelle dieser Näherung die tatsächliche Lage der Stützpunkte heranzuziehen. Die Kenntnis der genauen Berechnungsweise ist ferner auch bei Näherungsberechnungen unentbehrlich, da sonst dem Entwurfsbearbeiter der Annäherungsgrad nicht bekannt ist, wovon für eine konkrete Aufgabe die Zulässigkeit einer Näherungsrechnung abhängt.

In der vorliegenden Arbeit werden Rechenverfahren für die genaue Ermittlung der Abweichungen von einer Punktlagerung in der Stützen-Vertikalachse, verursacht durch kreisbogenförmige Stützenlager,

bei fester bzw.

bei drehbarer Anordnung

angegeben, wobei für beide Fälle auch Näherungsverfahren angegeben werden.

2. Bestimmung der Ursprungsabstände für Seilbögen zwischen zwei benachbarten Seilbahnstützen

Der Prüfung der tatsächlichen Lage des auf Kreisbogenlagern aufliegenden Tragseilbogens vorangehend, muß man für die Bestimmung des Seilbogens zwischen zwei benachbarten Stützen den Projektionsabstand des Seilkurven-Scheitelpunktes (der in den vorliegenden Untersuchungen mit dem Koordinatenursprung übereinstimmt) von den Stützen, d. h. die Abszissen der Stützen im Koordinatensystem der Seilkurve kennen.

Im weiteren wird die Berechnung dieser Ursprungsabstände durch eine Kettenlinie bzw. bei Annäherung durch eine Parabel zweiten Grades gezeigt.

Die Berechnungen werden jeweils für die Abszissen a der niedrigeren Stütze durchgeführt, wobei zwei Fälle behandelt werden, je nach dem, ob der

Koordinatenursprung außerhalb bzw. innerhalb des untersuchten Stützenabstandes liegt. Der erste Fall ist in Abb. 1, der zweite in Abb. 2 veranschaulicht.

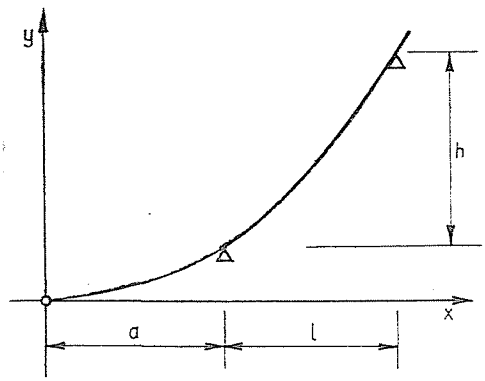

Abb. 1

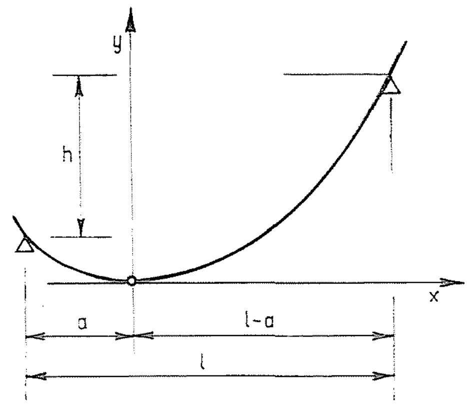

Abb. 2

2.1. Bei der Berechnung des Seilbogens gemäß einer »Kettenlinie« mit der Gleichung

$$y = c\, ch \frac{x}{c},$$

wobei der *Seilparameter* c [m] das Verhältnis der horizontalen Seilkraft zun Seilbelastung in [kp/m], bedeutet, läßt sich für die Stützenanordnung in Abb. 1 anschreiben:

$$\frac{h}{c} = ch \frac{a+l}{c} - ch \frac{a}{c}.$$

Wird die Beziehung

$$ch\, x - ch\, y = 2\, sh \frac{x+y}{2}\, sh \frac{x-y}{2}$$

benutzt, erhält man

$$\frac{h}{c} = 2\, sh \frac{2a+l}{2c}\, sh \frac{l}{2c}.$$

Aus dieser Gleichung:

$$a = -\frac{l}{2} + c \operatorname{arsh} \frac{h}{2c\, sh \frac{l}{2c}}. \qquad 1)$$

Nach ähnlichen Überlegungen erhält man den Ursprungsabstand für den Fall in Abb. 2:

$$a = \frac{l}{2} - c \operatorname{arsh} \frac{h}{2c \, sh \dfrac{l}{2c}} \tag{2}$$

1. Beispiel: Es soll der Ursprungsabstand bei einer Stützenanordnung gemäß Abb. 1 für die Werte $c = 1105$ m, $h = 4{,}80$ m und $l = 30{,}00$ m ermittelt werden. Nach Gl. (1) erhält man

$$a = -15{,}00 + 1105 \operatorname{arsh} \frac{4{,}80}{2210 \operatorname{sh} \dfrac{30{,}00}{2210}} = 161{,}05 \text{ m.}$$

Der Ursprungsabstand läßt sich unter Anwendung der Exponentialform der Kosinus-Hyperbelfunktion ermitteln. Dann gilt nämlich

$$h = \frac{c}{2} e^{\frac{a+l}{c}} + e^{-\frac{a+l}{c}} - e^{\frac{a}{c}} - e^{-\frac{a}{c}}.$$

Nach Ordnung und Lösung der Gleichung zweiten Grades erhält man

$$a = c \cdot \ln u = 2{,}3026 \, c \lg u \,, \tag{3}$$

wo im Falle gemäß Abb. 1

$$u = \frac{\dfrac{h}{c} \pm \sqrt{\left(\dfrac{h}{c}\right)^2 + 2ch \dfrac{l}{c} - 2}}{e^{\frac{l}{c}} - 1},$$

bzw. im Falle gemäß Abb. 2

$$u = \frac{\dfrac{h}{c} \pm \sqrt{\left(\dfrac{h}{c}\right)^2 + 2ch \dfrac{l}{c} - 2}}{e^{-\frac{l}{c}} - 1}.$$

2.2. Bei der Annäherung durch eine Parabel zweiten Grades gilt für die Stützenanordnung in Abb. 1 die Gleichung

$$\frac{(a + l)^2}{2c} - \frac{a^2}{2c} = h,$$

aus der sich der gesuchte Wert zu

$$a = \frac{h \cdot c}{l} - \frac{l}{2} \tag{4}$$

ergibt.

6*

Bei derselben Überlegung hat man für den Fall in Abb. 2

$$\frac{(l-a)^2}{2c} - \frac{a^2}{2c} = h$$

bzw.

$$a = \frac{l}{2} - \frac{h \cdot c}{l}. \tag{5}$$

2. Beispiel: Es soll a durch Annäherung mittels einer Parabel zweiten Grades für die Angaben im Beispiel 1 bestimmt werden:

$$a = \frac{4{,}80 \cdot 1105}{30} - \frac{30}{2} = 161{,}8 \text{ m}.$$

2.3. Bei der Berechnung mit der Kettenlinie kann man sich auch des »Korrektionsfaktors« zur Umrechnung zwischen den Ordinaten von Kettenlinie und Parabel zweiten Grades bedienen:

$$\varkappa = \frac{c\,\dfrac{e^{\frac{x}{c}} + e^{-\frac{x}{c}}}{2} - c}{\dfrac{x_2}{2c}}.$$

Die praktisch benutzten Werte sind in Tafel 1 zusammengestellt. Damit ist für die Stützenanordnung in Abb. 1:

$$\varkappa_{(a+l)} \frac{(a+l)^2}{2c} - \varkappa_a \frac{a^2}{2c} = h.$$

Die Gleichung nach a aufgelöst, erhält man

$$a_{1,2} = \frac{-\varkappa_{(a+l)} \cdot l \mp \sqrt{\varkappa_{(a+l)}^2 \cdot l^2 - \varkappa_d \varkappa_{(a+l)} l^2 + 2\varkappa_d c \cdot h}}{\varkappa_d}$$

mit $\varkappa_d = \varkappa_{(a+l)} - \varkappa_a$.

In ähnlicher Weise gilt für den Fall in Abb. 2:

$$\varkappa_{(l-a)} \frac{(l-a)^2}{2c} - \varkappa_a \frac{a^2}{2c} = h$$

bzw.

$$a_{1,2} = \frac{\varkappa_{(l-a)} \cdot l \pm \sqrt{\varkappa_{(l-a)}^2 l^2 - \varkappa_d \varkappa_{(l-a)} l^2 + 2\varkappa_d \cdot c \cdot h}}{\varkappa_d}, \tag{7}$$

in diesem Falle mit: $\varkappa_d = \varkappa_{(l-a)} - \varkappa_a$.

Tafel 1

Hilfstabelle für den Übergang von Parabelordinaten zu Kettenlinienordinaten $\left(n = 100\,\frac{x}{c}\right)$

n	x/c	$\varkappa$	n	x/c	$\varkappa$
1.	2.	3.	1.	2.	3.
0	0,00	—	36	0,36	1,0108025
0,5	0,005	1,0000000	37	0,37	1,0113952
1	0,01	1,0000000	38	0,38	1,0120499
2	0,02	1,0000250	39	0,39	1,0127548
3	0,03	1,0000667	40	0,40	1,0133750
4	0,04	1,0001375	41	0,41	1,0140393
5	0,05	1,0002040	42	0,42	1,0147392
6	0,06	1,0003000	43	0,43	1,0154678
7	0,07	1,0004082	44	0,44	1,0162190
8	0,08	1,0005344	45	0,45	1,0169877
9	0,09	1,0006753	46	0,46	1,0177694
10	0,10	1,0008340	47	0,47	1,0185604
11	0,11	1,0010083	48	0,48	1,0193576
12	0,12	1,0011944	49	0,49	1,0201583
13	0,13	1,0014083	50	0,50	1,0210400
14	0,14	1,0016326	51	0,51	1,0218378
15	0,15	1,0018756	52	0,52	1,0227071
16	0,16	1,0021328	53	0,53	1,0236383
17	0,17	1,0024083	54	0,54	1,0245542
18	0,18	1,0024691	55	0,55	10.254545
19	0,19	1,0027701	56	0,56	1,0264031
20	0,20	1,0035000	57	0,57	1,0273930
21	0,21	1,0036281	58	0,58	1,0283591
22	0,22	1,0041322	59	0,59	1,0293594
23	0,23	1,0045369	60	0,60	1,0303888
24	0,24	1,0048611	61	0,61	1,0313894
25	0,25	1,0051200	62	0,62	1,0324662
26	0,26	1,0056213	63	0,63	1,0335097
27	0,27	1,0060357	64	0,64	1,0346191
28	0,28	1,0066326	65	0,65	1,0356923
29	0,29	1,0071344	66	0,66	1,0368228
30	0,30	1,0075555	67	0,67	1,0379595
31	0,31	1,0081165	68	0,68	1,0391436
32	0,32	1,0085938	69	0,69	1,0403277
33	0,33	1,0091827	70	0,70	1,0415102
34	0,34	1,0096886			
35	0,35	1,0102857			

3. Bestimmung der tatsächlichen Lage eines Seilbogens auf festem Kreisbogen-Stützenlager

Der vorausgesetzten Punktlagerung in der Stützenvertikalachse gegenüber liegt der Seilbogen in der Wirklichkeit auf dem Bogen AB des kreisbogenförmigen Stützenlagers auf.

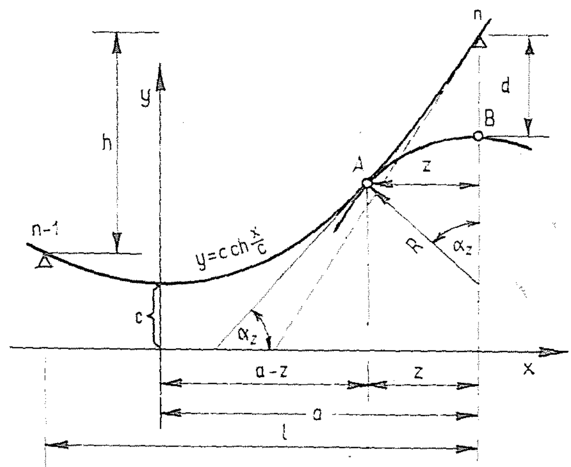

Abb. 3

In Abb. 3 werden die Abweichungen der tatsächlichen Lage von der Punktlagerung durch das Horizontalmaß z bzw. durch das Höhenmaß d gekennzeichnet. In der Abbildung bedeuten $(n - 1)$ und n die benachbarten, theoretischen Stützpunkte, deren relative Lage durch die im Bahnlängsschnitt angegebenen Werte für h und l bestimmt ist.

3.1. Bei zwei benachbarten Abstützungen $n - 1$ und n wird durch die Lage des entstehenden Seilbogens der Ursprungsabstand a bestimmt, dessen Zahlenwert sich jeweils nach den Ausführungen im Punkt 2 ermitteln läßt. In Kenntnis dieses Abstands kann ein *Näherungswert für die Horizontalalweichung*, zufolge eines festen, kreisbogenförmigen Stützenlagers bestimmt werden, in der Annahme, das $\alpha_z \sim \alpha_a$:

$$z_0 = R \sin \alpha_a \,, \tag{8}$$

wo R der Halbmesser des festen Kreisbogen-Stützenlagers ist.

3.2. Um die Horizontalabweichung z genau zu ermitteln, schreibt man nach Abb. 3 die Gleichungen

$$\operatorname{tg} \alpha_z = \frac{dy}{dx} = sh\,\frac{a - z}{c}$$

und

$$\operatorname{tg} \alpha_z = \frac{z}{\sqrt{R^2 - z^2}} .$$

Sind diese bekannt, erhält man nach Durchführung der notwendigen Operationen die Beziehung

$$z = a - c \operatorname{arsh} \frac{z}{\sqrt{R^2 - z^2}},$$

die sich für die Ableitung einer rasch konvergierenden iterativen Formel eignet. Unter Anwendung der Formel

$$\operatorname{arsh} u = \ln (u + \sqrt{1 + u^2})$$

und nach Durchführung gewisser Operationen gelangt man zu

$$\operatorname{arsh} \frac{z}{\sqrt{R^2 - z^2}} = \ln \left(\frac{z}{\sqrt{R^2 - z^2}} + \frac{R}{\sqrt{R^2 - z^2}} \right) = \ln \sqrt{\frac{R + z}{R - z}}$$

und

$$z = a - c \ln \sqrt{\frac{R + z}{R - z}} .$$

Nach Umordnung der Gleichung wird die Bezeichnung

$$v = \frac{R + z}{R - z} = e^{2\frac{a-z}{c}}$$

eingeführt, damit erhält man

$$z = R \frac{v - 1}{v + 1} = R \operatorname{th} \frac{a - z}{c} .$$

Daraus ist zu erkennen, daß *für die genaue Ermittlung der Horizontalabweichung z*, verursacht durch die Seilführung über ein festes, kreisbogenförmiges Stützenlager, *unsere iterative Formel zweckmäßig* in der Form

$$z_{n+1} = R \operatorname{th} \frac{a - z_n}{c} \qquad (9)$$

anzusetzen ist. Für z_n kann hier der aus der Näherungsbeziehung (8) errechnete Wert z_0 gesetzt werden.

Da bei dieser Beziehung für die praktisch vorkommenden Werte

$$[illegible] = \left| \frac{R}{c\, ch^2 \dfrac{a - z_n}{c}} \right| < x \ll 1 ,$$

ist, erhält man offenbar eine rasch konvergierende iterative Formel. Zur Veranschaulichung sei ein Beispiel herangezogen:

3. Beispiel: Es sei für einen Stützpunkt mit dem Parameter $c = 1000$ m und dem Ursprungsabstand $a = 500$ m der Lagerhalbmesser gleich $R = 5.0$ m. Damit wird sich der Näherungswert für die durch Seilführung über das feste, kreisbogenförmige Stützenlager herbeigeführte Horizontalabweichung zu

$$z_0 = 5.0 \cdot 0.4621 = \mathit{2.31} \text{ m}$$

ergeben. Für den genauen Wert erhält man unter Anwendung der iterativen Formel die Werte

$$z_1 = R \operatorname{th} \frac{a - z_0}{c} = 5.0 \cdot 0.460306406 = \mathit{2.301532} \text{ m}$$

und

$$z_2 = R \operatorname{th} \frac{a - z_1}{c} = 5.0 \cdot 0.460307613 = \mathit{2.301538} \text{ m.}$$

Wie zu ersehen ist, konvergiert die Formel außerordentlich rasch, bei einmaliger Iteration erhält man bereits ein Ergebnis mit einer Genauigkeit weit über der praktisch erforderlichen, da das Ergebnis eine Genauigkeit von fünf Dezimalstellen, also von Hundertstelmillimetern aufweist.

3.3. In Kenntnis der Horizontalabweichung z läßt sich dann auch die Höhendifferenz d in Abb. 3 leicht ermitteln. Mit den Bezeichnungen in der Abbildung hat man

$$d = y_a - y_{a-z} - R\,(1 - \cos \alpha_z) , \tag{10}$$

wo in Kenntnis des Ursprungsabstandes a bzw. der Horizontalabweichung z sämtliche Werte errechnet werden können.

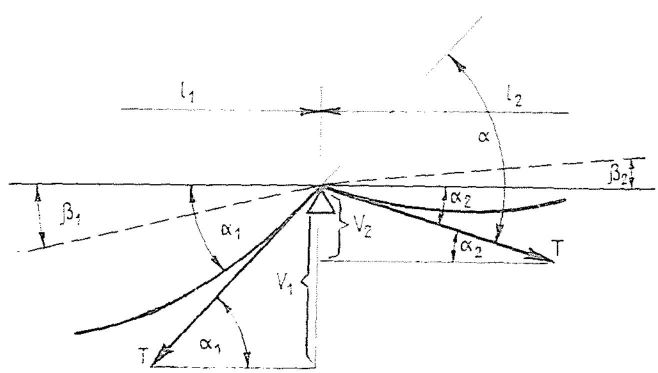

Abb. 4

4. Beispiel: Es soll mit den Angaben im Beispiel 3 der Wert der Höhendifferenz bestimmt werden:

$$d = 1127{,}62 - 1126{,}43 - 0{,}56 = \mathit{0{,}63} \text{ m}.$$

4. Bestimmung der Resultierenden der auf die Abstützung wirkenden Lastkräfte

Der Untersuchung der tatsächlichen Lage des auf einem drehbaren Stützenlager aufliegenden Tragseilbogens vorangehend müssen die Größe der Resultierenden der auf die Abstützung wirkenden Lastkräfte und der durch die Einflußlinie der Resultierenden mit der Vertikalen gebildete Winkel bekannt sein.

Die durch das Tragseil auf die Abstützungen übertragenen Kräfte sind den Bruchwinkeln auf den Stützen proportional. Daher können mit den Bezeichnungen in Abb. 4 folgende Beziehungen angeschrieben werden:

$$\sin \alpha_1 = \frac{V_1}{T} \qquad \text{und} \qquad \sin \alpha_2 = \frac{V_2}{T},$$

wo T die Seilkraft, V_1 bzw. V_2 die vertikalen Lagerreaktionen auf der untersuchten Stütze, aus den Belastungen in den Seilfeldern vor bzw. hinter derselben bedeuten. Letztere enthalten die Reaktionen aus verteilter Last (Tragseilgewicht), aus der Spannung sowie aus den für die Lagerreaktion maßgebend angeordneten Einzellasten (Gewichte der Wagen, des Fördergutes und des Zugseils) für die untersuchte Stütze. Aus verteilter Last entstehen die Teilreaktionen

$$\frac{g l_1}{2 \cos \beta_1}, \quad \text{bzw.} \quad \frac{g l_2}{2 \cos \beta_2},$$

aus der Spannung die vorzeichenrichtigen Teilreaktionen

$$T_0 \sin \beta_1, \quad \text{bzw.} \quad T_0 \sin \beta_2 .$$

(Bei praktischen Berechnungen wird — falls der Quotient aus $\cos \alpha$ und $\cos \beta$ der Einheit gleich gesetzt werden darf — die in Richtung der Verbindungsgeraden der benachbarten Stützpunkte wirkende Kraft T_0 durch die Seilkraft T ersetzt.)

Die Vertikalreaktionen, die unter Einwirkung der in maßgebender Weise angeordneten *Einzellasten* auf den Abstützungen entstehen, lassen sich als die Reaktionen eines frei aufliegenden Trägers berechnen:

$$V_1^k = \frac{Q_{cs} \sum u}{l_1} \qquad \text{und} \qquad V_2^k = \frac{Q_{cs} (\sum u - l_2)}{l_2},$$

wo $\sum u$ die Summe der für die Stützpunkte vor bzw. hinter der untersuchten Abstützung angeschriebenen Momenten-Hebelarme bedeutet. (Für Rechenwerte Σu in Abhängigkeit vom Kupplungsabstand und Stützenabstand siehe die Tabellen in [1] und [2].)

In Kenntnis der vorstehenden Ausführungen lassen sich die auf die Abstützungen übertragenen Lastkräfte einfach berechnen.

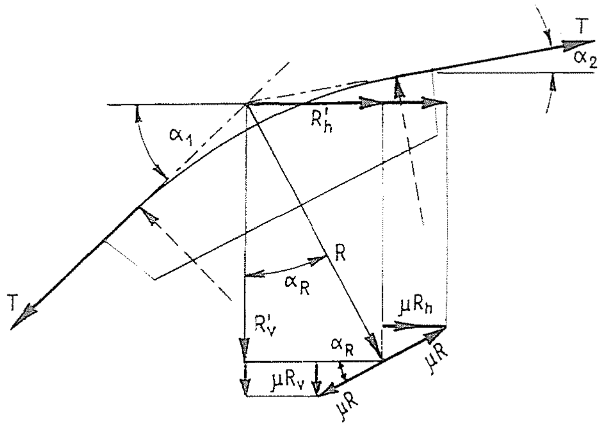

Abb. 5

Der Wert der Vertikalkomponente beträgt

$$R'_v = T\,(\pm \sin \alpha_1 \pm \sin \alpha_2) + K\,,$$

jener der Horizontalkomponente, bei $\alpha_2 > \alpha_1$

$$R'_h = T\,(\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2)\,,$$

bzw. bei $\alpha_1 > \alpha_2$

$$R'_h = T\,(\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1)\,.$$

In der Formel der Vertikalkomponente wird durch K die Kraftwirkung auf die Abstützung aus der Umlenkung des Zugseils berücksichtigt. Ihr Wert wird aus der Beziehung $K = T_v \left(\mathrm{tg}\,\alpha - \frac{w}{c_t}\right)$ errechnet, wo T_v die Zugseilkraft in [kp], α den Bruchwinkel des Tragseils auf der Abstützung, w den Wagenkupplungsabstand in [m] und c_t den Tragseilbogen-Parameter in [m] bedeuten [3].

Unter Berücksichtigung der Reibung zwischen Tragseil und Stützenlager betragen aufgrund von Abb. 5 der Wert der auf die Abstützung übertragenen Vertikalkomponente

$$R_v = R'_v \pm \mu R'_h \tag{11}$$

jener der Horizontalkomponente

$$R_h = R'_h \div \mu R'_v \,. \tag{12}$$

([1], [2], [5].)

Schließlich bildet die Einflußlinie der resultierenden Kraft mit der Vertikalen den Winkel

$$\alpha_R = \text{arc tg}\,\frac{R_h}{R_v}\,. \tag{13}$$

5. Ermittlung der tatsächlichen Lage eines auf drehbarem Stützenlager aufliegenden Seilbogens

Die relative Lage von zwei benachbarten Stützpunkten wird durch die im Bahnlängsschnitt angegebenen Werte h und l bestimmt (Abb. 6). Aus diesen Angaben sowie aus dem Verhältnis der horizontalen Seilkraft zur Seillast läßt sich in Kenntnis des Seilparameters c der Koordinatenursprungsabstand a berechnen, der auch die Lage des Seilbogens bestimmt [4].

Im Vergleich zur Punktlagerung wird die durch ein kreisbogenförmiges Drehlager herbeigeführte Abweichung nach Abb. 6 durch das Horizontalmaß Δx bzw. das Höhenmaß Δy gekennzeichnet, daher sind diese zu ermitteln.

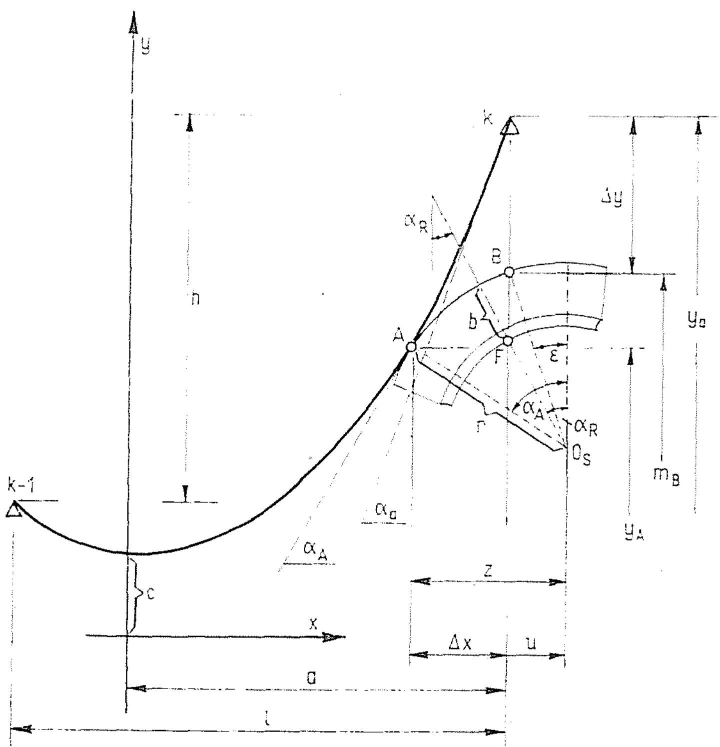

Abb. 6

Für die weiteren Berechnungen müssen jedoch die Projektionsentfernung u zwischen Drehmittelpunkt F und Kreisbogenmittelpunkt O_S des sich in Richtung der resultierenden Kraft einstellenden Drehlagers bekannt sein. Dieser Wert ergibt sich anhand von Abb. 6 aus

$$u = (r - b) \sin \alpha_R \tag{14}$$

wo r [m] den Drehlager-Halbmesser, b [m] den Mindestabstand zwischen Drehmittelpunkt und Seilnut, schließlich α_R den durch die Einflußlinie der resultierenden Kraft mit der Vertikalen gebildeten Winkel bedeuten.

Es soll bemerkt werden, daß die Größe u mit Vorzeichen als positiv interpretiert wird, wenn der Ursprung des untersuchten Seilbogens und der Mittelpunkt O_S des Drehlagers auf die gleiche Stützenseite fallen, im entgegengesetzten Falle — so z. B. auch im Falle in Abb. 6 — hat u ein negatives Vorzeichen.

5.1. Der Näherungswert der gesuchten Horizontalabweichung lautet nach Abb. 6 und in der Annahme $\alpha_A \sim \alpha_a$

$$\Delta x_0 = -u + r \sin \alpha_a . \tag{15}$$

wo α_a der durch die Tangente im Seilbogen-Punkt mit der Abszisse a und durch die Horizontale gebildete Winkel ist.

Bei der Berechnung der Horizontalabweichung ist u eine vorzeichenrichtige Größe, das Glied $r \cdot \sin \alpha$ wird immer als positiv gedeutet. Bei einem Ergebnis Δx mit positivem Vorzeichen erfolgt die Horizontalverschiebung von der Punktlagerung in Richtung des Koordinatenursprungs des Seilbogens, unter Berücksichtigung der Wirkung des Drehlagers verschiebt sich also der genaue Stützpunkt A in Richtung des Ursprungs. Bei einem negativen Δx verschiebt sich der Stützpunkt A im entgegengesetzten Sinne.

5.2. Für die genaue Bestimmung der Horizontalabweichung werden unter Berücksichtigung der Abb. 6 die Gleichungen

$$\operatorname{tg} \alpha_A = \frac{dy}{dx} = \operatorname{sh} \frac{a - \Delta x}{c}$$

und

$$\operatorname{tg} \alpha_A = \frac{z}{\sqrt{r^2 - z^2}}$$

angeschrieben. Mit diesen erhält man nach Durchführung der entsprechenden Operationen die Beziehung

$$z = a - u - c \operatorname{arsh} \frac{z}{\sqrt{r^2 - z^2}} .$$

Im weiteren wird für die Ermittlung von z eine iterative Formel eingeführt; dazu bedient man sich der Beziehung

$$\operatorname{arsh} x = \ln (x + \sqrt{1 + x^2}) .$$

sodann kann nach Durchführung gewisser Operationen angeschrieben werden:

$$z = a + u - c \ln \sqrt{\frac{r + z}{r - z}} .$$

Nach Umordnung der Gleichung, und die Bezeichnung

$$v = \frac{r + z}{r - z} = e^{2 \frac{a + u - z}{c}}$$

eingeführt, erhält man

$$z = r \frac{v - 1}{v + 1} = r \operatorname{th} \frac{a + u - z}{c} .$$

Wie man sieht, ist es zweckmäßig, die iterative Formel für die Bestimmung der Größe z in der Form

$$z_{n+1} = r \operatorname{th} \frac{a + u - z_n}{c} \tag{16}$$

anzusetzen, wo für die Größe z_n vorerst der aus der Beziehung (15) errechnete Näherungswert eingesetzt werden darf. Da bei dieser Beziehung anhand von praktischen Werten gilt

$$|f'(z)| < \alpha \ll 1 ,$$

stellt (16) eine schnell konvergierende iterative Formel dar.

Unter Anwendung von Gl. (16) beträgt der genaue Wert der Horizontalabweichung gemäß Abb. 6:

$$\Delta x = - u + r \operatorname{th} \frac{a + u - z_n}{c} . \tag{17}$$

5.3. In Kenntnis der Horizontalabweichung läßt sich auch die durch das *drehbare Stützenlager* verursachte *Höhenabweichung* ermitteln.

Nach Abb. 6 beträgt die Auflagerhöhe in der Vertikalen der Stützenachse

$$y_B = y_A + r (\cos \varepsilon - \cos \alpha_A) \tag{18}$$

wo ε aus der Beziehung $\sin \varepsilon = \frac{u}{r}$

α_A aus der Gleichung $\operatorname{tg} \alpha_A = \operatorname{sh} \frac{a - \Delta x}{c}$ berechnet werden.

Schließlich wird die gesuchte Höhenabweichung (Abb. 6) aus der Beziehung

$$\Delta y = y_a - y_B = y_a - y_A - r (\cos \varepsilon - \cos \alpha_A) \tag{19}$$

berechnet.

Zusammenfassung

Es wurden Beziehungen für die Berücksichtigung der modifizierenden Wirkungen von kreisbogenförmigen Stützenlagern verschiedener Ausführungen im Vergleich zu einer Punktlagerung in der vertikalen Stützenachse erarbeitet.

Für kreisbogenförmige, feste Stützenlager und für kreisbogenförmige Drehlager lassen sich die horizontale bzw. die Höhenabweichung des tatsächlichen Auflagers vom theoretischen Stützpunkt in der Stützenvertikalachse einfach ermitteln.

Schrifttum

1. MEGYERI, J.: Genaue Berechnung der auf Seilbahnstützen wirkenden Last.* ÉKME Tud. Közl. **3**, H. 2 (1957).
2. MEGYERI, J.: Genaue Berechnung der auf Drahtseilbahnstützen wirkenden Lasten.* Mélyépítéstud. Szemle H. 11/12 (1957).
3. MEGYERI, J.: Grundlagen der Bahnberechnung.* Ausgabe: Mérnöktovábbképző Intézet. Budapest, 1968. Nr. 4613.
4. MEGYERI, J.: Über einige theoretische und praktische Probleme der Längsprofile von Seilbahnen.* ÉKME Tud. Közl. **9**, H. 3 (1963).
5. DUKELSKI: Podwesnye kanatnye dorogi i kabelnye krani. Maschgis 1951.

Dozent Dr. Jenő MEGYERI, Budapest XI., Műegyetem rkp. 3. Ungarn

* In ungarischer Sprache.