

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 87 (1969)  
**Heft:** 36

**Artikel:** Die Berechnung von Einseilbahnen mittels eines Computers  
**Autor:** Ruesch, K.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-70762>

#### **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:** 27.01.2026

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

$J$	$\equiv M \varrho/E$ , «wirkliches» Flächenträgheitsmoment
$M$	Biegemoment
$M_B$ $M_F$ $M_{\max}$ $M_0$	vgl. Bild 3
$p_{\max}$	maximale spez. Pressung der Rolle (bezogen auf $d$ )
$P$	Rollenlast
$R$	Rollenradius
$S$	Seilzug
$w$	wirksame Fütterungsdicke (Bild 2)
$x, y, z$	vgl. Bild 5 und 6
$x_0$	$\equiv \sqrt{JE/S}$ , Steifigkeitslänge, Gl. (11)
$\delta$	Drahtdurchmesser
$\bar{\delta}$	$\equiv 4 \sqrt{J/F}$ , äquivalentes (mittleres) $\delta$ , Gl. (4)
$\delta_{\max}$	$\equiv 2 \sigma_0 J/M$ , maximales $\delta$ für Gl. (5)
$\varrho$	Krümmungsradius der elastischen Linie
$\sigma_b$	maximale Biegespannung
$\sigma_0$	$\sigma_b$ für kleine harte Rolle, Gl. (16)
$\sigma_z$	$\equiv S/F$ , Zugspannung
$\alpha, \beta, \varepsilon, \psi, \xi$	Kenngrößen nach Gl. (29) bis (33)

## 10. Zusammenfassung

Die örtliche Beanspruchung von Drahtseilen durch querbelastete Rollen wird durch die Auskleidung der Laufflächen mit einem weichen Fütterungsmaterial wesentlich herabgesetzt. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit ist die Aufgabe gestellt worden, diese Beanspruchungsreduktion in einfacher Weise rechnerisch zu erfassen, bzw. ihre Abhängigkeit von den massgeblichen Größen abzuklären und in übersichtlicher Weise darzustellen.

Will man die komplizierte Wechselwirkung zwischen den Verformungen des Seils und des Füllungsmaterials bereits in den Differentialgleichungen berücksichtigen, so kommt man zu mathematisch verwickelten Lösungen [2].

Durch Voraussetzung einer parabolischen Lastverteilung längs des Seiles (wie sie auch einer ellipsoidförmigen Verteilung Hertzschers

Pressungen entspricht) ergeben sich Zusammenhänge, die sich in einfacher Weise in einem einzigen Diagramm (Bild 7) darstellen lassen, so dass die praktische Rechnung mit dem Rechenschieber bewältigt werden kann.

Zwei Kennzahlen  $\alpha$  (= dimensionslose Rollengröße) und  $\varepsilon$  (= dimensionslose Fütterungselastizität) bestimmen in diesem Diagramm drei weitere Kennzahlen, aus denen sich die Biegespannungen  $\sigma_b$  im Seil und die Pressungen  $p_{\max}$  zwischen Seil und Rolle ohne weiteres ergeben. Auf diese Weise ist es beispielsweise möglich, den Einfluss geänderter Konstruktions- oder Belastungsdaten ohne langwierige Rechnung abzuschätzen, was an verschiedenen Beispielen gezeigt wird.

Im allgemeinen wird man sich mit der Genauigkeit der aus dem Diagramm abgelesenen Größen begnügen, weil der unbekannte Einfluss der inneren Seilreibung die Wahl der Größen  $\bar{\delta}$  und  $\delta_{\max}$  (die für die Seilstiefigkeit und für die Biegespannung massgeblich sind) bereits mit einem grösseren Fehler behaftet. In diesem Zusammenhang wird vorläufig vorgeschlagen, die als zulässig bezeichneten Grenzwerte für  $\sigma_b$  und  $p_{\max}$  auf zwei Norm-Rechnungen (vgl. Abschnitt 4) zu beziehen, bzw. für jede dieser beiden Rechnungen zu kontrollieren. Bei der ersten wird die innere Reibung vollständig vernachlässigt; bei der zweiten wird angenommen, dass dünnnere Drähte wegen der Reibung in sich unverschiebbliche Bündel bilden, die eine Dicke von 10% des Seildurchmessers haben.

## Literaturverzeichnis

- [1] *J. Isaachsen*: Die Beanspruchung der Tragseile. Z.-V.D.I. 1907, S. 655.
- [2] *E. Czitary*: Verhalten eines Drahtseiles auf einer Rolle mit elastischem Futter. «Österr. Ing.-Archiv» 1956, H. 4.
- [3] *L. Lehanneur*: Note annexe (zur Übersetzung von [2]). «Annales des Ponts et Chaussées» 1957, S. 814.
- [4] *E. Engel*: Zur Biegsungsbeanspruchung eines Seiles auf einer elastisch gefütterten Rolle. «Österr. Ing.-Archiv» 1957, H. 3.

Adresse des Verfassers: Prof. *O. Zweifel*, Vorstand des Instituts für Bau- und Transportmaschinen an der ETH, Sonneggstr. 3, 8006 Zürich.

Die Berechnung von Einseilbahnen mittels eines Computers

Von K. Ruesch, Zürich

## 1. Einleitung

Durch die rasche Entwicklung und intensive Forschung in Wirtschaft und Technik wurde auch der Arbeitsaufwand für den in der Praxis tätigen Ingenieur bezüglich Berechnung und Projektierung erheblich grösser. Man suchte deshalb nach neuen Hilfsmitteln, um die zeitraubenden und eintönigen Routineberechnungen mit wenig manuellem Aufwand durchzuführen.

Bereits seit einigen Jahren werden statische Probleme mit digitalen Rechenanlagen gelöst. Ist erst einmal für die betreffende Aufgabe ein generelles Rechenprogramm vorhanden, so ist nur noch ein kleiner Arbeitsaufwand nötig, um die erforderlichen Daten bereitzustellen und sie dann durch den Computer verarbeiten zu lassen und die gewünschte Vielzahl von Ergebnissen zu erhalten. Anhand des von der Firma IBM entwickelten Programmes «Berechnung von Einseilbahnen» soll der Ablauf einer solchen Berechnung gezeigt und die dabei benützte Methode beschrieben werden. Die beigefügten Bilder und Tabellen zeigen Beispiele einer mit diesem Programm auf der Anlage IBM/360 Mod. 40 durchgeföhrten Berechnung.

## 2. Aufgabe

Das im folgenden beschriebene Programm berechnet Seilspannungen und Stützenreaktionen, die sich aus äusseren statischen und dynamischen Belastungen ergeben. Dabei geht man von den geometrischen Daten und den statischen Belastungen aus. Ausserdem kann für die Bemessung dem Computer eine Seiltabelle mit den notwendigen geometrischen Angaben zur Verfügung gestellt werden, aus denen er sich dann den günstigsten Typ selbst auswählt.

### 3. Voraussetzungen

Es handelt sich im folgenden ausschliesslich um die Berechnung von Einseilbahnen, das heisst Tragseil und Zugseil sind identisch. Die Gehänge werden nicht als Einzellasten betrachtet, sondern als

eine auf das ganze Seil gleichmässig verteilte Belastung in die Berechnung eingeführt.

Der Berechnung liegt die Verordnung über Bau und Betrieb von eidgenössisch konzessionierten Seilbahnen vom 23. September 1963 zugrunde. Da die meisten Normenwerte als variabel definiert wurden, ist das Programm weitgehend normenunabhängig.

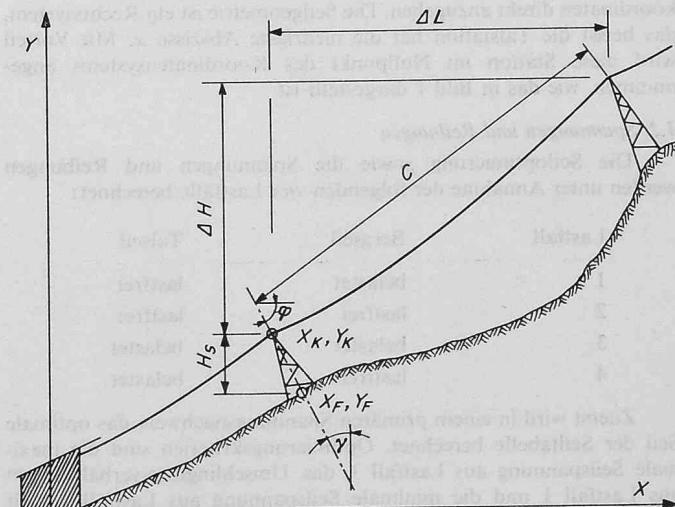


Bild 1. Schematisches Längenprofil mit geometrischen Daten  
 $X_F, Y_F$  (m) = Stützenfusskoordinaten;  $X_K, Y_K$  (m) = Stützenkopfkoordinaten;  $H_S$  (m) = Stützenlänge;  $\gamma$  (Altgrad) = Stützenwinkel;  $\Delta l$  (m) = horizontaler Abstand der Stützen;  $\Delta H$  (m) = Höhendifferenz der Stützen;  $\varphi$  (Altgrad) = Neigungswinkel der Sehne  $c$ .

STUETZE	FELD	KOOR. XF	KOOR. YF	STLAE. HS	STWI. GAM	KOOR. XK	KOOR. YK	DELTA L	DELTA H	SEHNE C	PHI
1	1	4.00	1797.60	0.0	0.0	4.00	1797.60	3.00	0.0	3.00	0.0
2	2	7.00	1797.60	0.0	0.0	7.00	1797.60	36.70	3.00	36.82	4.67
3	3	43.70	1800.60	0.0	0.0	43.70	1800.60	83.30	1.30	83.31	0.89
4	4	127.00	1801.90	0.0	0.0	127.00	1801.90	100.30	-15.40	101.48	-8.73
5	5	227.30	1786.50	0.0	0.0	227.30	1786.50	8.00	0.80	8.04	5.71
6	6	235.30	1737.30	0.0	0.0	235.30	1787.30	75.00	24.70	78.96	18.23
7	7	310.30	1812.00	0.0	0.0	310.30	1812.00	84.30	27.80	88.77	18.25
8	8	394.60	1839.80	0.0	0.0	394.60	1839.80	97.40	32.00	102.52	18.19
9	9	492.00	1871.80	0.0	0.0	492.00	1871.80	57.20	33.40	66.24	30.28
10	10	549.20	1905.20	0.0	0.0	549.20	1905.20	87.60	36.90	95.05	22.84
11	11	636.80	1942.10	0.0	0.0	636.80	1942.10	45.00	14.50	47.28	17.86
12	12	681.80	1956.60	0.0	0.0	681.80	1956.60	76.90	13.90	78.15	10.25
13	13	758.70	1970.50	0.0	0.0	758.70	1970.50	86.20	45.65	97.54	27.90
14	14	844.90	2016.15	0.0	0.0	844.90	2016.15	109.00	51.63	120.61	25.35
15	15	953.90	2067.78	0.0	0.0	953.90	2067.78	8.00	3.40	8.69	23.03
16	16	961.90	2071.18	0.0	0.0	961.90	2071.18	87.30	62.98	107.65	35.81
17	17	1049.20	2134.16	0.0	0.0	1049.20	2134.16	16.50	9.54	19.06	30.04
18	18	1065.70	2143.70	0.0	0.0	1065.70	2143.70	47.50	16.80	50.38	19.48
19	19	1113.20	2160.50	0.0	0.0	1113.20	2160.50	34.50	4.00	34.73	6.61
20	20	1147.70	2164.50	0.0	0.0	1147.70	2164.50	41.80	0.50	41.80	0.69
21	21	1189.50	2165.00	0.0	0.0	1189.50	2165.00	2.50	0.0	2.50	0.0
22		1192.00	2165.00	0.0	0.0	1192.00	2165.00				

Bild 2. Aus den Stützenfusskoordinaten  $X_F$ ,  $Y_F$ , der Stützenhöhe  $H_S$  und dem Stützenwinkel  $\gamma$  vom Computer ergänzte geometrische Daten (siehe auch Bild 1)

Erläuterungen zu den Abkürzungen: KOOR. XF = Stützenfusskoordinaten  $X_F$  (m); KOOR. YF = Stützenfusskoordinaten  $Y_F$  (m); STLAE. HS = Stützenlänge  $H_S$  (m); STWI. GAM = Stützenwinkel  $\gamma$  (Altgrad); KOOR. XK = Stützenkopfkoordinaten  $X_K$  (m); KOOR. YK = Stützenkopfkoordinaten  $Y_K$  (m); DELTA L = horizontaler Abstand der Stützen  $\Delta l$  (m); DELTA H = Höhendifferenz der Stützen  $\Delta H$  (m); SEHNE C = Sehne zwischen zwei Stützen  $c$  (m); PHI = Neigungswinkel der Sehne  $\varphi$  (Altgrad).

#### 4. Methode

##### 4.1 Geometrie

Aus den gegebenen Stützenkoordinaten werden die weiteren fehlenden geometrischen Daten pro Abschnitt, wie Sehne, Höhendifferenz und Steigung berechnet. Diese Daten sind tabellarisch in Bild 2 zusammengestellt. Ausgangspunkt der Berechnung sind im allgemeinen die Stützenfusskoordinaten, die Höhe der Stütze sowie deren Neigungswinkel. Es ist aber auch möglich, die Stützenkopfkoordinaten direkt anzugeben. Die Seilgeometrie ist ein Rechtssystem, das heisst die Talstation hat die niedrigste Abszisse  $x$ . Mit Vorteil wird diese Station im Nullpunkt des Koordinatensystems angenommen, wie das in Bild 1 dargestellt ist.

##### 4.2 Spannungen und Reibungen

Die Seiloptimierung sowie die Spannungen und Reibungen werden unter Annahme der folgenden vier Lastfälle berechnet:

Lastfall	Bergseil	Talseil
1	belastet	lastfrei
2	lastfrei	lastfrei
3	belastet	belastet
4	lastfrei	belastet

Zuerst wird in einem primären Spannungsnachweis das optimale Seil der Seiltabelle berechnet. Optimierungskriterien sind die maximale Seilspannung aus Lastfall 3, das Umschlingungsverhältnis  $e^{\mu\alpha}$  aus Lastfall 1 und die minimale Seilspannung aus Lastfall 1. Mit dieser Berechnung sind das Spanngewicht und das Seil provisorisch festgelegt.

Durch Lösen eines Gleichungssystems, das vom Ort der Abspannung, vom Ort des Antriebs und von den Lastfällen abhängig ist, werden provisorische Ausgangsspannungen ermittelt. Die rein statisch berechneten Stützen- und Feldspannungen des sekundären

Spannungsnachweises von Lastfall 1 ergeben erste Stützenreaktionen und daraus die Stützenreibungen.

Die verwendeten Grundformeln für die Seilspannkräfte bei den Stützen lauten [3]:

$$S_i = P + q \sum_{j=1}^i h_j \pm \mu \sum_{j=1}^{i-1} A_j;$$

für Mitte des Seilfeldes:

$$S_i^* = P + q \sum_{j=1}^{i-1} h_j \pm \mu \sum_{j=1}^{i-1} A_j;$$

für Auflagerdruck und Reibung:

$$A_i = 2 S_i \sin \frac{\psi_i}{2}$$

$$R = \mu \cdot A_j$$

Hierin bedeuten:  $\psi$  = Knickwinkel;  $S$  = Seilspannkraft;  $q$  = Gewicht des Seils je Längeneinheit;  $h$  = Höhendifferenz pro Feld;  $\mu$  = Reibungskoeffizient;  $A$  = Auflagerdruck;  $R$  = Reibung der Stütze.

Diese erlauben es nun, als Reibungen einerseits am belasteten und anderseits am unbelasteten Seil die anfangs geschätzten Reibungssummen im primären Spannungsnachweis zu ersetzen und darauf die Stützen- und Feldausgangsspannungen für den sekundären Spannungsnachweis infolge statischer und dynamischer Beanspruchung zu berechnen.

Der Reibungskoeffizient  $\mu$  berechnet sich aus dem Umschlingungsverhältnis  $e^{\mu\alpha}$ , das gleich dem vorhandenen Kräfteverhältnis  $K_A$  am Antrieb ist, mit  $\alpha = \pi$  zu  $\mu = 1/\pi \cdot \ln K_A$ .

## LASTFALL 1

VOLLSEIL BERGAUFWAERTS (BERGSEIL)  
LEERSEIL BERGABWAERTS (TALSEIL)

## BERGSEIL

ST -UE NR	FE -LD NR	SEILSP. STUETZE NR	SEILSP. FELD NR	DURCHH. FELDM. NR	TANGENS ALPHA NR	ALPHAU ALPHAO NR	ABLENK PSI NR	STUETZEN REAKTION NR	STUETZ. REIB. NR	SUMME STUETZ. REIB. NR	SEILSP. STUETZE M.REIB. NR	SEILSP. FELD M.REIB. NR	FE -LD NR	ST -UE NR
1		4422.						0.47	36.	1.	0.0	4422.		1
		4423.						-0.008	-0.47		1.	4423.		
1		4423.	0.006		0.008	0.47						4423.	1	
		4423.						-0.78	-60.	2.	1.	4423.		2
2		4427.				0.022	1.25				3.	4425.		
		4427.			0.142	8.06						4438.	2	
2		4441.	0.550					14.81	1157.	35.	3.	4468.		3
		4470.									38.	4502.		
3		4506.				-0.118	-6.75					4472.	3	
		4481.	2.790		0.150	8.51						4521.		4
3		4525.						26.28	2072.	62.	38.	4583.		
		4590.			-0.321	-17.78					100.			
4		4428.	4.189		0.014	0.77						4412.	4	
		4369.						-3.99	-305.	9.	100.	4361.		5

Bild 3. Resultierende Seilspannungen und Stützenreibungen sowie die damit zusammenhängende Seilgeometrie nach den erfolgten Iterationsschritten durch den Computer

Erläuterungen zu den Abkürzungen: STUE NR = Stützennummer; FELD NR = Feldnummer; SEILSP. STUETZE = Seilspannung bei Stütze ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ); SEILSP. FELD = Seilspannung im Feld ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ); DURCHH. FELDM. = Durchhang in Feldmitte (m); TANGENS ALPHA = Tangens der Seilneigung  $\alpha$  unterhalb und oberhalb der Stütze; ALPHAU ALPHAO = Winkel  $\alpha$  (Altgrad); ABLENK PSI = Seilumlenkung  $\psi$  bei den Stützen; STÜTZEN REAKTION = Stützenreaktion (kg); STUETZ. REIB. = Stützenreibung (kg); SUMME STUETZ. REIB. = Summierte Stützenreibung (kg); SEILSP. STUETZE M. REIB. = Seilspannungen bei der Stütze mit Berücksichtigung der Reibung ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ); SEILSP. FELD M. REIB. = Seilspannungen im Feld mit Berücksichtigung der Reibung ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ).

Auf Grund der oben berechneten Reibungen wird eine nochmals Seiloptimierung durchgeführt und das Gleichungssystem neu gelöst. Der sekundäre Spannungsnachweis lässt sich nun unter Berücksichtigung der Reibungen auf der Grundlage der Ausgangsspannungen erbringen. Die Erfahrungen aus einer Vielzahl von Versuchsbeispielen haben gezeigt, dass ein weiterer Iterationsschritt

für die Genauigkeit der Endspannungen nicht erforderlich ist.

Bei der Berechnung der Feldspannungen muss zur Höhendifferenz der aufeinanderfolgenden Stützen auch der Seildurchhang berücksichtigt werden. Die maximalen Durchhänge des Seils findet man unter Annahme minimaler Endspannungen, indem jedes Feld maximal belastet wird.

## 3. SEILKURVEN

## LASTWEGKURVE

ST -UE NR	FE -LD NR	SEILSP. STUETZE NR	SEILSP. FELD NR	DURCHH. FELDM. NR	TANGENS ALPHA NR	ALPHAU ALPHAO NR	ABLENK PSI NR	REAK-WIN EPSILON NR	STUETZEN REAKTION NR	SEIL- LAENGE DELTA C NR	SEIL- LAENGE C+DEL C NR	FE -LD NR	ST -UE NR
1		4422.						0.47	0.23	36.			1
		4423.						-0.008	-0.47		0.00	3.00	1
1		4423.	0.006		0.008	0.47							
		4423.			0.008	0.47		-0.78	-0.86	-60.			2
2		4425.				0.022	1.25				0.02	36.84	2
		4425.			0.142	8.07							
2		4438.	0.550					14.83	-0.65	1158.			3
		4468.									0.25	83.56	
3		4502.				-0.119	-6.77						
		4472.	2.796		0.150	8.52							
3		4521.						26.33	4.64	2074.			4
		4583.			-0.321	-17.81					0.45	101.93	
4		4412.	4.204		0.014	0.81							
		4361.						-3.96	-2.79	-301.			5

Bild 4. Seilgeometrie und Seilspannungen bei belastetem Bergseil und unbelastetem Talseil (Lastfall 1). Siehe Erläuterungen zu Bild 3

+ TRAGBATTERIE  
- NIEDERHALTEBATTERIE

STUETZEN-NR	ROLLEN-ANZAHL	(Fortsetzung)
1 TAL-STATION	12	6
2	0	0
3	-2	13
4	4	-8
5	0	14
6	8	6
7	0	15
8	0	4
9	0	0
10	-4	16
11	0	0
12	0	-6
13	-6	17
14	4	6
15	0	18
16	0	0
17	4	8
18	0	0
19	4	10
20	0	0
21	6	2
22 BERG-STATION	0	0

Bild 5. Notwendige Rollenbatterien bei den einzelnen Stützen. Positive Rollenzahl = Tragbatterie; negative Rollenzahl = Niederhaltebatterie

## 6. WINDBELASTUNGEN

- A) AUF LEERSEIL (AUSSER BETRIEB) QWA = 3.90 KG/M
- B) AUF SEIL MIT SESSELN (AUSSER BETRIEB) QWB = 5.90 KG/M
- C) AUF SEIL MIT SESSELN (IN BETRIEB) QWC = 1.47 KG/M
- D) AUF SEIL MIT SESSELN UND PERSONEN (IN BETRIEB) QWD = 2.22 KG/M
- E) AUF TELEFONSEIL (AUSSER BETRIEB/PRO BAHNSEITE) QWE = 0.78 KG/M

## STUETZEN-NR

STUETZEN-NR	S T U E T Z E N - R E A K T I O N E N (PRO SEIL)				WE
	WA	WB	WC	WD	
1	6.	9.	2.	3.	1.
2	78.	117.	29.	44.	16.
3	234.	354.	89.	134.	47.
4	360.	545.	136.	206.	72.
5	214.	323.	81.	122.	43.
6	170.	257.	64.	97.	34.
7	327.	495.	124.	187.	65.
8	373.	564.	141.	213.	75.
9	329.	498.	124.	188.	66.
10	315.	476.	119.	179.	63.
11	278.	420.	105.	158.	56.
12	245.	370.	93.	140.	49.
13	343.	518.	130.	195.	69.
14	425.	644.	161.	243.	85.
15	252.	381.	95.	144.	50.
16	227.	343.	86.	129.	45.
17	247.	374.	93.	141.	49.
18	135.	205.	51.	77.	27.
19	166.	251.	63.	95.	33.
20	149.	226.	56.	85.	30.
21	86.	131.	33.	49.	17.
22	5.	7.	2.	3.	1.

Bild 7. Resultierende Stützenreaktionen WA, WB, ... WE aus den Belastungen A bis E in kg

SEILVERL. AUS DURCHHANGDIFFERENZ	2.04 M
SEILVERL. AUS TEMPERATURDIFFERENZ	0.89 M
ELASTISCHE SEILVERLAENGERUNG	-0.18 M
PERMANENTE SEILVERLAENGERUNG	2.55 M

Bild 6. Seilverlängerungen bzw. Spanngewichtswege im vorliegenden Beispiel

Da nach den Ausführungsbestimmungen nachgewiesen werden muss, dass sich das Seil bei einer Seilzugerhöhung von 40% von den Tragstützen nicht abheben kann, wird in der Berechnung der örtliche Seilzug aus Lastfall 1 um die erwähnten 40% erhöht. Daraus werden neue Stützenreaktionen berechnet, die diesem Nachweis genügen.

## 4.3 Seilkurven

Es werden folgende drei Seilkurven nach der Theorie der Kettenlinie [2] berechnet:

- Lastwegkurve (belastetes Seil), siehe Bild 4
- Leerseilkurve (Leerseil)
- Leerseilkurve (ohne Gehänge, ausser Betrieb)

Die beiden ersten Kurven ergeben sich aus den Endspannungen des Lastfalls 1. Die dritte wird durch rein statische Belastung (ausser Betrieb) ermittelt.

## 4.4 Berechnung der Rollenbatterien

Aus den Ablenkwinkeln und Stützenreaktionen wird die erforderliche Rollenanzahl je Rollenbatterie ermittelt. Die Anzahl der Rollen ist immer gerade. Bei der Ergebnisausgabe erhalten Tragbatterien ein positives, Niederhaltebatterien ein negatives Vorzeichen. Massgebend ist hier das belastete Seil und das nicht belastete Seil aus Lastfall 1. Bild 5 zeigt ein Ergebnisblatt, wie es vom Computer ausgegeben wird. Die Rollenzahl  $R$  ergibt sich aus dem Seilkniewinkel  $\varphi$  und dem für den gewählten Seiltyp zulässigen Ablenkinkel  $\psi$  pro Rolle.

## 4.5 Spanngewichtsweg

Die vier Anteile des gesamten Spanngewichtsweges werden vom Computer auf Grund des Programmes berechnet. Es wird auf eine Aufsummierung der vier Terme verzichtet, da je nach Jahreszeit (Temperatur), Bauzustand usw. die einzelnen Glieder positiv oder negativ sein können. Die Ergebnisse sind in Bild 6 tabellarisch dargestellt.

## 1. Term

Die Seilverlängerung, die sich aus der Durchhangsdifferenz ergibt, ist:

$$\Delta l_1 = \sum \frac{8}{3} \frac{\cos^2 \psi}{c} (f_{\max}^2 - f_{\min}^2),$$

## 7. ANTRIEB

MOTORLEISTUNG	140. PS (WIRKUNGSGRAD=0.8)
SEILSICHERHEIT	5.00 FACH
REIBUNGSKOEFFIZIENT	0.220
AUS UMSCHLINGUNGSVERH.	
SPANNGEWICHT	13362. KG
GEWAELHTE SEILNUMMER	1
SEILDURCHMESSER	30.0 CM
SEILQUERSCHNITT	341.000 MM <sup>2</sup>
SEILGEWICHT	3.160 KG/M
SEILBRUCHLAST	60000. KG
ZUL. SEILSPANNUNG	12000. KG
ANTRIEB	TAL-STATION
SPANNGEWICHT	TAL-STATION

Bild 8. Das mit der vorgegebenen Belastung vom Computer optimierte und ausgewählte Seil, die dazu gehörige Seilsicherheit, die Motorleistung und das notwendige Spanngewicht

Bild 9. Gesamtgewicht der Seilkonstruktion einschliesslich Nutzlast in kg

8. MASSEN

MASSENTABELLE

STUETZE	FELD	SEIL	B E R G S E I L SESSEL	L ROLLEN	SEIL	T A L S E I L SESSEL	L ROLLEN	PERSONEN
1	1	9.48	11.	0.0	9.48	11.	0.0	22.
2	2	116.36	138.	30.00	116.36	138.	30.00	276.
3	3	263.26	312.	60.00	263.26	312.	60.00	625.
4	4	320.66	381.	120.00	320.66	381.	120.00	761.
5	5	25.41	30.	60.00	25.41	30.	60.00	60.
6	6	249.52	296.	90.00	249.52	296.	90.00	592.
7	7	280.50	333.	60.00	280.50	333.	60.00	666.
8	8	323.97	384.	60.00	323.97	384.	60.00	769.
9	9	209.31	248.	30.00	209.31	248.	30.00	497.
10	10	300.37	356.	90.00	300.37	356.	90.00	713.
11	11	149.40	177.	90.00	149.40	177.	90.00	355.
12	12	246.94	293.	90.00	246.94	293.	90.00	586.
13	13	308.23	366.	120.00	308.23	366.	120.00	732.
14	14	381.13	452.	90.00	381.13	452.	90.00	905.
15	15	27.47	33.	60.00	27.47	33.	60.00	65.
16	16	340.16	404.	90.00	340.16	404.	90.00	807.
17	17	60.23	71.	90.00	60.23	71.	90.00	143.
18	18	159.21	189.	120.00	159.21	189.	120.00	378.
19	19	109.75	130.	150.00	109.75	130.	150.00	260.
20	20	132.10	157.	90.00	132.10	157.	90.00	314.
21	21	7.90	9.	30.00	7.90	9.	30.00	19.
22				0.0			0.0	
					TOTALE MASSEN AUS EIGENGEWICHT		20826.99	KG
					TOTALE MASSEN AUS EIGENGEWICHT + NUTZLAST (EINSEITIG)		30371.34	KG

wobei  $\psi$  = Sehnenwinkel;  $c$  = Sehnenlänge in m;  $f$  = Durchhang in Feldmitte in m.

## 2. Term

Die Seilverlängerung, die aus der Temperaturdifferenz hervor geht, ist:

$$\Delta l_2 = \sum c \Delta t \beta,$$

wobei  $\Delta t$  = Temperaturdifferenz in  $^{\circ}\text{C}$ ;  $\beta$  = Ausdehnungskoeffizient pro  $^{\circ}\text{C}$ .

## 3. Term

Die elastische Seilverlängerung ist:

$$\Delta l_3 = \sum \frac{(S_V - S_L) c}{F E},$$

wobei  $S_V$  = Spannung Lastweg in kp;  $S_L$  = Spannung im Leerseil (ausser Betrieb) in kp;  $F$  = Seilquerschnittsfläche in  $\text{cm}^2$ ;  $E$  = Elastizitätsmodul in  $\text{kp}/\text{cm}^2$ .

## 4. Term

Die permanente Seilverlängerung ist:

$$\Delta l_4 = k \sum c,$$

wobei  $k$  = von den Seileigenschaften abhängiger Faktor, der die Seilverlängerung angibt.

Die horizontale Belastung des Seils pro m berechnet der Computer aus dem Winddruck. Die sich daraus ergebenden Beanspruchungen werden mit allen Lastfällen überlagert und daraus dann die horizontalen Stützenreaktionen ermittelt. Die Ergebnisse des erwähnten Beispiels sind in Bild 7 zusammengestellt. Schliesslich ermittelt man noch die Seilsicherheit, die Motorleistung und das Spanngewicht, Bild 8. In Bild 9 sind die Gewichte aus Eigengewicht und Nutzlast tabellarisch zusammengestellt.

## 5. Schlussbetrachtung

Die manuelle Bearbeitung der in diesem Beitrag besprochenen Berechnungen würde viel Zeit kosten und grosse Mühe verursachen

und den Ingenieur mit weitgehend mechanisch auszuführenden Operationen belasten.

In der Statik im allgemeinen und bei der Berechnung von Seilbahnen im besonderen ist es für die Lösungsmethoden kennzeichnend, dass die gleichen Rechenoperationen immer wieder durchgeführt werden müssen. Für solche Fälle eignet sich der Computer für die Berechnung sehr gut. Für ein solches Problem muss nur einmal ein generelles Rechenprogramm aufgestellt werden. Der Benutzer braucht dann nur die Daten seines Falles – die Geometrie und die gewünschten Belastungen – einzugeben. Die eigentliche Berechnung besorgt der Computer schnell und ohne die möglichen menschlichen Fehler.

## Literaturverzeichnis:

- [1] R. Findeis: Rechnerische Grundlagen des Baus von Drahtseilbahnen, Leipzig und Wien 1923.
- [2] E. Czitany: Seilschwebbahnen. Wien 1951, Springer-Verlag.
- [3] F. Schleicher: Taschenbuch für Bauingenieure. Berlin, Heidelberg, New York 1955, Springer-Verlag.

Adresse des Verfassers: K. Ruesch, IBM International Business Machines, 8002 Zürich, Dreikönigstrasse 24.

## Die neue Luftseilbahn Cry-d'Er – Bellalui

DK 625.57

Seit einiger Zeit steht dem schnell wachsenden Touristenzentrum Crans eine neue Luftseilbahn zur Verfügung. Die von der Bell Maschinenfabrik AG in Kriens in elf Monaten hergestellte Bahn zeichnet sich weniger durch ihre Länge aus als durch ihre Kapazität, Sicherheit und technische Leistung. In den zwei geräumigen, leuchtend rot bemalten Kabinen finden je 60 Passagiere Platz. Pro Stunde können über 600 Personen auf die Sonnenterrasse des Bellalui befördert werden.

Die Laufwerke, die auf 16 mit Kunststoff ausgekleideten Rollen fahren, fallen durch ihren ruhigen Gang auf. Sie sind mit einer bewährten Sicherheitsbremse ausgerüstet. Die Bremsen fallen bei einem Zug- oder Gegenseilbruch automatisch ein und klemmen die Kabine an den Tragseilen fest.