

Statik der Luft-Seilbahnen

Autor(en): **Zwicky, C.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Zeitschrift für Vermessungswesen und Kulturtechnik = Revue technique suisse des mensurations et améliorations foncières**

Band (Jahr): **17 (1919)**

Heft 11

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-185595>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Den Kantonen, welche in diesen Arbeiten noch über keine Erfahrungen verfügen und auch keine Vorschriften besitzen, wäre, wie uns bekannt ist, eine derartige Anleitung jedenfalls willkommen. Für die vier Kantone, die bereits diese Angelegenheit ganz oder teilweise geregelt haben, dürfte eine allgemein geltende Instruktion keine wesentlichen Aenderungen in ihrem bisherigen Verfahren zur Folge haben.

Grundbuchvermessung und Güterzusammenlegung sind Maßnahmen, die einerseits durch die Sicherung des Grundeigentums und Hebung des Immobiliarkredites, und andererseits durch die vermehrte Erzeugungsfähigkeit des Bodens die Volkswohlfahrt unseres Landes mächtig heben und fördern werden.

Sie erfordern große Opfer an Arbeit und finanziellen Mitteln.

Helfen wir durch eine *sachgemäße und einfache Durchführung* der Arbeiten mit, diese Opfer nach Möglichkeit zu erleichtern.

Statik der Luft-Seilbahnen.

Von C. Zwicky, Professor an der Eidgen. Technischen Hochschule Zürich.

(Fortsetzung.)

Für konstante Spannungsverhältnisse, d. h. für $\Delta\sigma = 0$ wird $\lambda_s = 0$, also $\Delta s = \lambda_t = s \cdot \alpha \cdot \Delta t$. Für $\Delta t = +50^\circ - (-30^\circ) = +80^\circ$ wird somit:

$$\Delta s = 10,8 \cdot 80 = 864 \text{ mm.}$$

Um diesen Betrag Δs muß sich vom Winter bis zum Sommer das Gegengewicht L_A senken können, damit immer $S_A = L_A$ wird. Der gleiche Betrag Δs gibt aber auch an, innerhalb welchem Seilstück sich der jeweils mit dem Auflager A zusammenfallende Seilquerschnitt verschiebt. Demgemäß ist das Gewicht G des Seiles AB veränderlich um

$$\Delta G = g \cdot \Delta s = 0,864 \text{ kg} = 1 \text{ ‰ von G.}$$

E.

Schneedruck-Belastung.

I.

Der Schneedruck.

Fällt bei relativ milder Wintertemperatur nasser und schwerer Schnee, so bleibt davon ein kleiner Teil auch auf Gegenständen von sehr geringer Breite, wie z. B. Drahtleitungen, liegen. Dadurch entsteht eine Mehrbelastung dieser Gegenstände, die ins-

besondere jenen Leitungen verhängnisvoll werden kann und nicht selten ein Zerreißen der letztern zur Folge hat.

Nach amtlicher Vorschrift ist in der Schweiz bei Dach- und Brückenkonstruktionen ein Schneedruck von 80 kg/m^2 in Rechnung zu bringen. Tatsächlich sind hier aber schon wesentlich größere Schneemassen beobachtet worden, wie z. B. aus einer Mitteilung von Ingenieur Perrot in Neuenburg in der „Schweizerischen Bauzeitung“ (1907) und dem Amtsbericht der Baudirektion des Kantons Graubünden für das Jahr 1913 hervorgeht.

Es beträgt nämlich nach		Perrot	Baudirektion
die maximale Schneehöhe	m	0,60 ÷ 0,80	1,30
mit dem mittlern spez. Gewicht	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	575 ÷ 600	411 ÷ 634
daher der maximale Schneedruck	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$	345 ÷ 480	535 ÷ 825

Bei Drahtleitungen kommt nun natürlich nur ein kleiner Bruchteil des obigen Schneedruckes in Betracht, indem hier aus Gründen der Stabilität eine Schneeschicht von beträchtlicherer Höhe nicht liegen bleiben kann. Bestimmte Angaben über die maximalen Werte des diesbezüglichen Schneedruckes stehen uns leider nicht zur Verfügung; wir müssen uns daher hier auf einige allgemeine Hinweise über die einen großen Schneedruck begünstigenden Verhältnisse beschränken.

Bei nassem Schnee von milderer Temperatur ist nicht nur das spezifische Gewicht, sondern zugleich auch die Kohäsion und die Haftfestigkeit am größten. Mit wachsendem Durchmesser D der Drahtleitungen nimmt ungefähr im gleichen Verhältnis auch die Breite B , aber zugleich auch die Höhe H der Schneelast zu. Damit wird diese letztere proportional D^2 , d. h. sie ist proportional dem Querschnitt F des Drahtseiles, wie es auch beim Eigengewichte des letztern der Fall ist.

Bezeichnen e und g den Schneedruck und das Seilgewicht pro m^1 und v eine Konstante, so kann man somit hinsichtlich der bei Leitungen mit verschiedenen Durchmessern zu einer bestimmten Zeit vorliegenden Schneedruckverhältnisse setzen:

$$e = v \cdot g.$$

Wie die Temperaturunterschiede, so macht sich nun auch der Schneedruck bei Seilen mit beidseitiger Verankerung einerseits und bei solchen mit einem Gegengewicht L anderseits in verschiedener Weise geltend.

II.

Seil mit beidseitiger Verankerung.

1. Die Theorie.

Für eine Belastung des Seiles nur mit seinem eigenen Gewicht, d. i. mit $g = \frac{G}{s} \frac{\text{kg}}{\text{m}^1}$ ist die Seilkurve C eine Kettenlinie K; also kann man setzen: $C_g = K_g$. Für ein gewichtloses Seil mit einer Belastung durch einen Schneedruck $e = \frac{E}{l} \frac{\text{kg}}{\text{m}^1}$ wäre dagegen C eine Parabel, also $C_e = P_e$. Hieraus folgt, daß bei einem Seil mit einer Belastung durch g und e die Kurve $C_{g,e}$ eine Form annehmen wird, die einem Mittelding zwischen den Formen K und P entspricht.

Wie bei den Temperatureinflüssen, wird es sich nun aber auch beim Schneedruck nur um verhältnismäßig kleine Formänderungen handeln, die für die Formen K und P annähernd gleich groß ausfallen. Es ist daher zulässig, für die Bestimmung des Einflusses von Schneedruck die obigen drei Kurven C_g , C_e und $C_{g,e}$ alle als Parabeln zu betrachten, wobei dann $g = \frac{G}{l}$ zu setzen ist.

Wir ziehen weiter von einem andern Gesichtspunkte drei Kurven C in Betracht, nämlich: zwei Kurven C' und C'' mit der gleichen Belastung durch g und den verschiedenen Anfangsneigungen p'_A und p''_A ; außerdem noch eine Kurve C mit einer Belastung durch g und e, deren Neigung p_A mit der Neigung p''_A bei C'' übereinstimmt.

Unter den Voraussetzungen, daß diese sämtlichen drei Kurven

1. die gleichen Stützpunkte A und B, d. h. die gleiche Spannweite l und Steigung h besitzen;
2. durchwegs als Parabeln angenommen werden;
3. bei der gleichen Temperatur t, die einem Schneefall bei milderer Witterung entspricht, sich einstellen;

ergibt sich nun durch deren Vergleich folgendes:

a) C' und C. Die Kurve C' geht in C über, weil die Belastung von g auf $g + e$ zugenommen hat. Infolge dieser Zunahme ist dann:

$$\sigma > \sigma' \quad s > s' \quad \text{und} \quad p_A < p'_A.$$

Da andererseits $t' = t$, also $\Delta t = 0$ und $\Delta \lambda_t = 0$ ist, so gilt für die Längenänderung:

$$s - s' = \Delta s = \Delta \lambda_\sigma = s' \cdot \frac{\sigma - \sigma'}{E}, \text{ womit wird}$$

$$\sigma = \sigma' + \frac{\Delta s}{s'} \cdot E.$$

b) C'' und C . Gemäß der Voraussetzung $p''_A = p_A$ besitzen C'' und C die gleiche Form und die gleiche Größe, womit $s'' = s$ wird;* die zugehörigen zwei Kräftepolygone sind dagegen nur ähnliche Figuren, so daß bei gleichem Kräftemaßstabe gilt:

$$S_A : S''_A = S : S'' = \sigma : \sigma'' = (g + e) : g$$

mithin ist:

$$\sigma = \sigma'' \left(1 + \frac{e}{g} \right).$$

c) C' , C'' und C . Damit C' und C'' zum gleichen Betrage der mittleren Spannung σ für C hinführen, muß nun sein:

$$\sigma = \sigma' + \frac{\Delta s}{s'} \cdot E = \sigma'' + \sigma'' \cdot \frac{e}{g},$$

woraus dann für das Verhältnis $v = \frac{e}{g}$ folgt:

$$v = \frac{e}{g} = \frac{\Delta s}{s'} \cdot \frac{E}{\sigma''} + \frac{\sigma' - \sigma''}{\sigma''}.$$

Nach dieser Formel läßt sich somit die Größe $e = v \cdot g$ des Schneedruckes berechnen, der den Uebergang der Seilneigung p'_A in $p_A = p''_A$ zur Folge hat.

2. Anwendung.

Bei der Starckenbacher Luftseilbahn wurde für eine Temperatur $(t) = +10^\circ \text{C}$ bei dem nur durch sein eigenes Gewicht belasteten Seile dessen Neigung bei A zu $(p_A) = 26,5\%$ ermittelt; dieser letztern Neigung entspricht bei unsern Beispielen ein um $\frac{3}{4}\%$ größerer Betrag, also $(p_A) = 27,25\%$.

Bei dem auch noch mit Schneedruck belasteten Seil herrscht jedenfalls eine Temperatur unter $+10^\circ \text{C}$ und dementsprechend ist dann die Neigung p'_A etwas größer. Wir wählen nun $p'_A = 27,50\%$; nach der Temperaturtabelle D ist dann:

$$t' = +10 + \frac{27,50 - 27,25}{27,62 - 27,25} \cdot \{(-10) - (+10)\} = 10 - 13,5 = -3,5^\circ \text{C}.$$

* Diesen beiden Kurven entsprechen natürlich für die Spannung 0 zwei verschiedene Seillängen s''_0 und s_0 .

Diese milde Wintertemperatur von $-3,5^{\circ}$ dürfte den Verhältnissen bei einem mit Schneedruck belasteten Seil ziemlich gut entsprechen.

Für die Belastung des Seiles mit $g + e$ legen wir nun als Neigungen p''_A die Werte zugrunde:

$$p''_A = 25 \text{ ‰}, \quad 22\frac{1}{2} \text{ ‰} \text{ und } 20 \text{ ‰}.$$

Das Seilgewicht nehmen wir wieder zu 865 kg an, womit wird:

$$g = \frac{G}{l} = \frac{865}{800} = 1,08 \text{ kg/m}^1.$$

Mit den Werten für s'' und σ'' , sowie für S''_A und S''_B aus der Haupttabelle am Schlusse des Abschnittes B erhält man dann für die Bestimmung des Schneedruckes e , sowie der Werte σ , S_A und S_B für die Belastung mit $g + e$ die nachfolgende

Schneedruck-Tabelle zu II.

Parabel $\begin{cases} C \\ p_A \end{cases}$		No.	C'	C''	C'''	C''''
		‰	27.5	25	22.5	20
Daten aus B	s' und s''	m	863.291	864.021	864.883	865.876
	σ' „ σ''	$\frac{t}{\text{cm}^2}$	3.490	2.910	2.497	2.188
	S'_A „ S''_A	t	3.589	2.972	2.533	2.205
	S'_B „ S''_B	t	3.909	3.291	2.852	2.522
Berechnung von $e = v \cdot g$	$\Delta s = s'' - s'$	m	0	0.730	1.592	2.585
	$\Delta \sigma = \sigma' - \sigma''$	$\frac{t}{\text{cm}^2}$	0	0.580	0.993	1.302
	E	„	—	750	750	750
	$v_s = \frac{\Delta s}{s'} \cdot \frac{E}{\sigma''}$	—	—	0.214	0.555	1.120
	$v_\sigma = \frac{\Delta \sigma}{\sigma''}$	—	—	0.199	0.397	0.595
	$v = v_s + v_\sigma = \frac{e}{g}$	—	—	0.413	0.952	1.715
$e = v \cdot g = v \cdot 1,08$	$\frac{\text{kg}}{\text{m}}$	0	0.446	1.03	1.85	
Resultate zu $(g + e)$	$\sigma = (1 + v) \cdot \sigma''$	$\frac{t}{\text{cm}^2}$	3.49	4.11	4.88	5.94
	$S_A = (1 + v) \cdot S''_A$	t	3.59	4.20	4.94	5.99
	$S_B = (1 + v) \cdot S''_B$	t	3.91	4.65	5.57	6.84

Aus den numerischen Ergebnissen der vorstehenden Tabelle mit $p'_A = 27,5\%$ ergeben sich zwischen den beiden Kurven C' zu g und C zu $g + e$ die folgenden Beziehungen:

für:	p_A	$=$	$\%$	25	22.5	20
ist	$p_A - p'_A$	$=$	$\%$	2.5	5.0	7.5
	$1 + v$	$=$	—	1.41	1.95	2.72
	$\sqrt{1 + v}$	$=$	—	1.19	1.40	1.65
und	$\frac{\sigma}{\sigma'}$	$=$	—	1.18	1.40	1.70

Hieraus ersieht man, daß ziemlich genau gilt:

$$\sigma = \sqrt{1 + v} \cdot \sigma'$$

und analog

$$S_A = \sqrt{1 + v} \cdot S'_A, \quad S_B = \sqrt{1 + v} \cdot S'_B.$$

Ferner erhält man für ein Drahtseil mit $E = 750 \frac{t}{\text{cm}^2}$ einerseits und für ein Seil aus massivem Draht mit $E^* = 3 \cdot E = 2250 \frac{t}{\text{cm}^2}$, (wofür $v^*_s = 3 v_s$ wird) andererseits:

zu	p_A	25 %	22.5 %	20 %
	$v = v_\sigma + v_s$	0.41	0.95	1.72
	$v^* = v_\sigma + v^*_s$	0.84	2.06	3.96

Für gleich großen Schneedruck ($e = g \cdot v = g \cdot v^*$) ergibt sich beim *Drahtseil* somit eine kleinere Neigung p_A und damit auch eine *kleinere Spannung* σ als beim Seil aus massivem Draht. Beispielsweise erhält man für $v = v^* = 1$, also für $e = g$:

beim Drahtseil $p_A = 22.4\%$, $\sigma'' = 2.48 \frac{t}{\text{cm}^2}$;

$$\text{somit } \sigma = 2 \sigma'' = \underline{4.96} \frac{t}{\text{cm}^2}$$

beim massiven Draht $p^*_A = 24.7\%$, $\sigma^{*''} = 2.84 \frac{t}{\text{cm}^2}$;

$$\text{somit } \sigma^* = 2 \sigma^{*''} = \underline{5.68} \frac{t}{\text{cm}^2}$$

III.

Seil mit einem Gegengewicht bei A.

1. Theorie.

Wir machen auch hier eine Vergleichung zwischen den drei Kurven C' , C'' und C ; dabei ziehen wir nun aber an Stelle der

mittleren Spannungen σ' , σ'' und σ die betreffenden Zugkräfte S'_A , S''_A und S_A in Betracht.

a) C' und C . Infolge des Gegengewichtes L_A gilt:

$$\underline{S'_A = S_A = L_A = \text{konstant.}}$$

b) C'' und C . Da $p''_A = p_A$ ist, sind die beiden Kräftepolygone $\mathcal{D}'' \mathcal{U}'' \mathcal{B}''$ und $\mathcal{D} \mathcal{U} \mathcal{B}$ ähnlich; daraus folgt:

$$\underline{S_A = \frac{g + e}{g} \cdot S''_A.}$$

c) C' , C'' und C . Die Gleichsetzung der beiden Werte für S_A gibt:

$$S_A = S'_A = S''_A + \frac{e}{g} \cdot S''_A$$

$$\underline{\frac{e}{g} = v = \frac{S'_A - S''_A}{S''_A}.}$$

2. Anwendung.

Das nur mit seinem eigenen Gewichte $G = g \cdot l$ belastete Seil hat bei allen Temperaturen die gleiche Neigung p_A . Dieselbe wurde beim Starckenbacher Luftseil zu $26\frac{1}{2}\%$ beobachtet und beträgt daher für unser Beispiel $26\frac{1}{2} + \frac{3}{4} = 27\frac{1}{4}\%$. Diese wäre daher als Neigung p'_A für die Kurve C' zugrunde zu legen. Wir wählen aber dafür den nur wenig größeren Wert $p'_A = 27,5\%$, um mit den gleichen Beträgen für p''_A wie unter II wieder eine arithmetische Progression zu erhalten. Damit ergibt sich dann folgende sehr einfache

Schneedruck-Tabelle zu III.

Parabel $\left\{ \begin{array}{l} C \\ p_A \end{array} \right.$		No.	C'	C''	C''	C''
		%	27.5	25	22.5	20
C' und C''	S'_A und S''_A	$\frac{t}{\text{cm}^2}$	3.59	2.97	2.53	2.20
	S'_B und S''_B	„	3.91	3.29	2.85	2.52
	$\Delta S_A = S'_A - S''_A$	„	0	0.62	1.06	1.39
	$v = \frac{\Delta S_A}{S''_A}$	—	0	0.208	0.420	0.632
	$e = g \cdot v = 1.08 \cdot v$	$\frac{\text{kg}}{\text{m}}$	0	0.224	0.454	0.682
C	$S_A = (1 + v) \cdot S''_A$	t	3.59	3.59	3.59	3.59
	$S_B = (1 + v) \cdot S''_B$	t	3.91	3.97	4.05	4.11

Aus obiger Tabelle ergibt sich:

1. Beim Seil mit einem Gegengewicht L^A ist die Zugkraft S_A für alle Belastungen mit Schneedruck konstant ($= L_A$) und die Zugkraft S_B nimmt mit wachsendem Schneedruck nur wenig zu. In dieser Beziehung liegen also bei einem solchen Seil die Verhältnisse für Schneedruck ähnlich wie bezüglich der Temperatureinflüsse.
2. Ganz anders verhält es sich bezüglich der *Form* der Seilkurve, die bei allen Temperaturen konstant bleibt, beim Schneedruck sich aber stark ändert, und zwar erheblich mehr als beim Seil unter II; z. B. wird für

$$v = 1/2 : p_A^{III} = 21,6 \text{ ‰} \text{ und } p_A^{II} = 24,5 \text{ ‰}.$$
3. Mit großer Annäherung gilt beim Seil mit Gegengewicht:

$$v = 1/11 \cdot (p_A \text{ ‰} - p'_A \text{ ‰}).$$

F.

Winddruck-Belastung.

I.

Der Winddruck.

Hinsichtlich der Größe und Richtung des Winddruckes machen wir folgende Voraussetzungen:

1. Die Windstärke nimmt langsam zu bis zu einem gewissen maximalen Betrage, der dann einige Zeit konstant bleibt; alsdann erfährt das Seil durch den Wind eine rein statische Beanspruchung, wie sie auch den Berechnungen bei Brücken und Dachkonstruktionen zugrunde gelegt wird. Bei stoßweisem Auftreten des Windes gerät das Seil in schwingende Bewegungen; die dabei auftretenden Spannungsverhältnisse bereiten der mathematischen Erfassung große Schwierigkeiten und sollen hier außer acht gelassen werden.
2. Der Winddruck verteilt sich gleichmäßig auf die ganze Länge des Seiles und betrage ω kg/m². Für die Berechnung von Brücken ist vorgeschrieben $\omega = \begin{matrix} 100 \\ 150 \end{matrix}$ kg/m² bei belasteten
unbelasteten Brücken.
3. Die Windrichtung ist die Senkrechte zur Vertikalebene durch die Seilsehne A B.

In Figur 7 bezeichne die Kreisfläche die Querschnittsfläche des Seiles, der Radius $A_0 O$ die Windrichtung, $A O$ und $\bar{A} O$

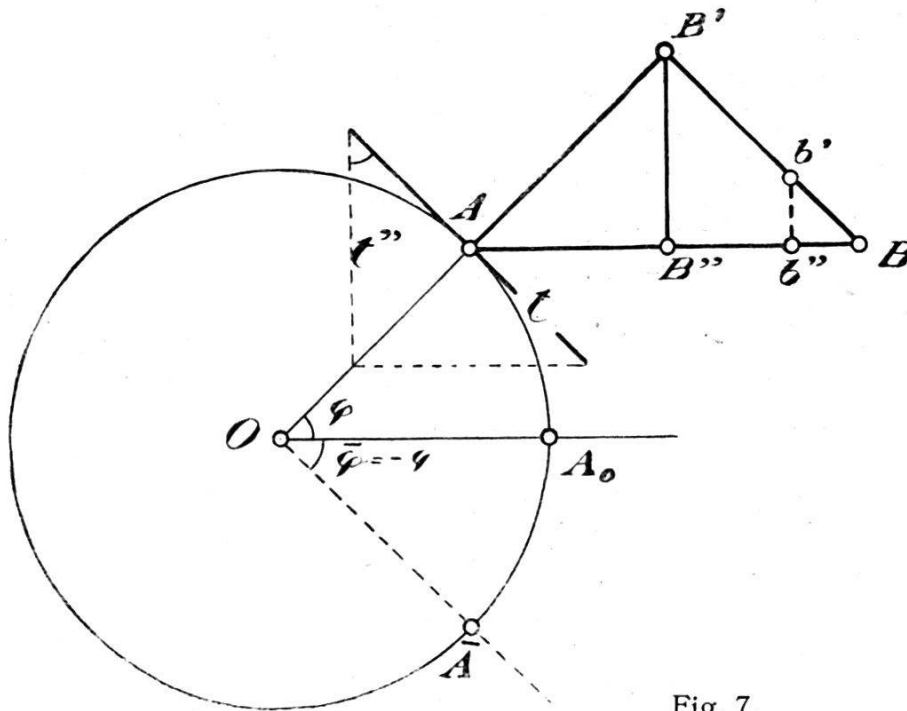


Fig. 7.

die Radien mit den Neigungswinkeln φ und $-\varphi$ gegen $A_0 O$.

Nun betrachten wir zunächst A als Schwerpunkt einer Fläche F in der Tangentialebene von A ; F'' sei die Projektion von F auf die Normalebene zur Windrichtung $A_0 O$. Der für diese Fläche F in Betracht kommende Winddruck P ist dann:

$$P = F'' \cdot \omega = F \cdot \cos \varphi \cdot \omega.$$

Dieser Winddruck kommt indessen nicht in seinem vollen Betrage zur direkten Geltung. Aus dem Kräftepolygon mit $BA = P$ ergibt sich nämlich durch Zerlegung von P :

Tangential-Komponente: $BB' = P_t = P \cdot \sin \varphi$

Normal-Komponente: $B'A = P_n = P \cdot \cos \varphi$

Die Komponente P_t wirkt nur mit einem Bruchteile in Form einer gleitenden Reibung: $R = \rho \cdot P_t = Bb'$.

Die Komponente P_n gibt durch weitere Zerlegung:

parallel zur Windrichtung $A_0 O$: $B''A = P'' = B'A \cdot \cos \varphi$,

senkrecht zur Windrichtung $A_0 O$: $B'B'' = P' = B'A \cdot \sin \varphi$.

Die analoge Zerlegung der Reibungskraft R liefert:

$$R'' = Bb'' = R \cdot \sin \varphi \quad \text{und} \quad R' = b''b' = R \cdot \cos \varphi.$$

In ähnlicher Weise würde man mit dem Punkte \bar{A} erhalten:

$$\bar{P}'' = +P''; \quad \bar{P}' = -P' \quad \text{und} \quad \bar{R}'' = +R''; \quad \bar{R}' = -R'.$$

Damit wird für A und \bar{A} zusammen:

$$P'' + \bar{P}'' = 2P''; \quad P' + \bar{P}' = 0 \quad \text{und}$$

$$R'' + \bar{R}'' = 2R''; \quad R' + \bar{R}' = 0.$$

Nun ersetzen wir die Fläche F durch ein Flächenelement dF auf der Oberfläche des Seiles, wobei wir die Länge Δs zu 1 m und die Breite im Seilquerschnitt zu $db = r \cdot d\varphi$ annehmen. Damit ergibt sich dann für den Punkt A:

$$dF = \Delta s \cdot db = 1 \cdot r \cdot d\varphi, \quad dP = dF \cdot \cos \varphi \cdot \omega = r \cdot \omega \cdot \cos \varphi \cdot d\varphi.$$

$$dP'' = dP \cdot \cos^2 \varphi = r \cdot \omega \cdot \cos^3 \varphi \cdot d\varphi$$

$$dR'' = dR \cdot \cos \varphi = \rho \cdot r \cdot \omega \cdot \cos^2 \varphi \sin \varphi \cdot d\varphi$$

für die Länge $\Delta s = 1$ m beträgt der gesamte dem Winddrucke ausgesetzte Flächenteil $= \Delta s \cdot \widehat{CA_0C}$.

$$F = \Delta s \cdot \int_{-\frac{\pi}{2}}^{+\frac{\pi}{2}} db = 1 \cdot r \cdot \pi = \frac{D}{2} \cdot \pi.$$

Die zugehörigen Gesamtkomponenten vom Winddruck sind:

$$P'' = 2 \cdot \int_0^{\frac{\pi}{2}} dP'' = 2 \cdot \int_0^{\frac{\pi}{2}} r \cdot \omega \cdot (1 - \sin^2 \varphi) \cdot \cos \varphi \cdot d\varphi =$$

$$2 r \omega \left\{ \sin \varphi - \frac{\sin^3 \varphi}{3} \right\}_0^{\frac{\pi}{2}}$$

also mit $2r = D$:

$$\underline{P'' = \frac{2}{3} D \cdot \omega.}$$

$$P' = 2 \cdot \Sigma (dP' + d\bar{P}') = 2 \cdot \Sigma (0), \quad \underline{P' = 0}$$

$$R'' = 2 \cdot \int_0^{\frac{\pi}{2}} dR'' = 2 \cdot \int_0^{\frac{\pi}{2}} \rho \cdot r \cdot \omega \cos^2 \varphi \cdot \sin \varphi \cdot d\varphi =$$

$$-2 \rho r \omega \left(\frac{\cos^3 \varphi}{3} \right)_0^{\frac{\pi}{2}}$$

$$\underline{R'' = \frac{1}{3} \cdot \rho \cdot D \cdot \omega}$$

$$R' = 2 \cdot \Sigma (dR' + d\bar{R}') = 2 \cdot \Sigma (0) \quad \underline{R' = 0.}$$

Von diesen vier Komponenten fallen $P' = 0$ und $R' = 0$ ganz weg; außerdem kann — wenn ρ etwa zu 0,10 eingeschätzt wird — auch die Komponente R'' vernachlässigt werden, womit dann nur noch die Komponente $P'' = B''A$ übrig bleibt.

Bezeichnet man nun noch den pro m^1 der Seillänge s sich direkt geltend machenden Winddruck P'' zur Abkürzung mit w , so erhält man

$$\underline{w = \frac{2}{3} \cdot D \cdot \omega.}$$

Der Winddruck auf einen Kreiszyylinder vom Durchmesser D ist somit nur $\frac{2}{3}$ mal so groß wie derjenige auf ein Prisma von der Breite $B = D$ in der Richtung senkrecht zum Winde. Aus diesem Grunde werden die Fabrikamine in der Regel mit kreisförmigem Querschnitt ausgeführt. (Schluß folgt.)