

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 107/108 (1936)  
**Heft:** 23

**Artikel:** Berechnung nicht biegungssteifer Rotationsschalen für Winddruck  
**Autor:** Wiedemann, Erich  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-48412>

### **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:** 16.01.2026

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

INHALT: Berechnung nicht biegesteifer Rotationsschalen für Winddruck. — Der Eisenbahnbau in Iran. — Das Schweizer Bundesbrief-Archiv in Schwyz. — Die Klima-Anlage des Bundesbriefarchivs. — Mitteilungen: Zur III. Weltkraftkonferenz in Washington 1936. Wärmefluss als Korrosionsursache. Von der Tätigkeit des Eidg. Amtes für Wasserwirtschaft. Hochspannungsschnellschalter BBC. 50 Jahre Bosch-Zünder. Die

Wirtschaftslage in Persien. Berücksichtigung der Gurtsteifigkeit bei der Berechnung der «mittragenden Breite». Die Bewässerung Irans. Stilllegung der SBB-Linie Otelfingen-Niederglatt. — Wettbewerbe: Tonhalle- und Kongressgebäude in Zürich. Bahnhofgebäude in Saloniki und Athen. — Literatur. — Mitteilungen der Vereine. — Schweiz. Verband für die Materialprüfungen der Technik. — Sitzungs- und Vortrags-Kalender.

Band 108

Der S. I. A. ist für den Inhalt des redaktionellen Teils seiner Vereinsorgane nicht verantwortlich.  
Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet.

Nr. 23

## Berechnung nicht biegesteifer Rotationsschalen für Winddruck

Von Ing.-Arch. ERICH WIEDEMANN, Universität Riga, Lettland

Windgesetz:  $w = w_0 \sin \varphi \sin \psi$

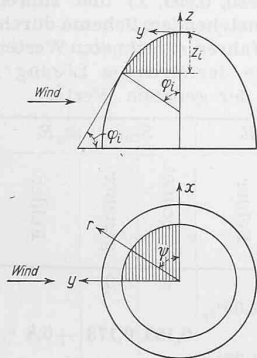
Voraussetzung: Einwandfreie, den reinen Membranzustand garantierende Auflagerbedingungen.

H. Reissner<sup>1)</sup> hat diese Aufgabe für die Kugelschale streng gelöst; Fr. Dischinger<sup>2)</sup> hat die Untersuchungen auf die Zylinder- und Kegelschale ausgedehnt und zugleich ein Verfahren angegeben, das gestattet, beliebige Rotationsschalen für Winddruck zu berechnen: es ist das graphisch-analytische Verfahren der Differenzenrechnung.

Die Berechnung der Meridianspannungsergebnisse  $T_1$  und der Schubspannungsergebnisse  $S$  gestaltet sich sehr einfach. Zur Berechnung der Ringspannungsergebnisse  $T_2$  bedient sich Dischinger der bekannten Beziehung zwischen  $T_1$  und  $T_2$  beim Membranzustande (mit den von Dischinger benutzten Bezeichnungen)

$$\frac{T_1}{R_1} + \frac{T_2}{R_2} = Z.$$

Im Falle, dass die Meridiankurve nicht analytisch, sondern nur graphisch gegeben ist («beliebige» Rotationsschale), stösst die Berechnung der Ringspannungsergebnisse  $T_2$  auf eine Schwierigkeit: die Krümmungsradien  $R_1$  und  $R_2$ , die wir zur Berechnung von  $T_2$  benötigen, können nicht analytisch bestimmt werden. Wohl kann der Querkrümmungsradius  $R_2$  ohne Schwierigkeit direkt aus der Zeichnung abgegriffen werden; schwierig ist es aber, den Meridiankrümmungsradius  $R_1$  zu bestimmen. Dischinger empfiehlt «entweder die Meridiankurve durch eine Reihe von Korbbogen zu ersetzen und auf diese Weise für die einzelnen Längenelemente der Meridiankurve die Krümmungsradien  $R_1$  zu ermitteln, oder sich aus den Koordinaten von drei benachbarten Punkten der Meridiankurve die Grösse der Meridiankrümmungsradien zu errechnen».



Aufgabe dieser Abhandlung soll es sein, einen Weg zur Berechnung beliebiger Rotationsschalen für Winddruck zu zeigen, bei welchem die eben geschilderten Schwierigkeiten vermieden werden, indem alle Berechnungen ganz ohne Zuhilfenahme der Krümmungsradien durchgeführt werden.

Aus unserer Rotationsschale denken wir uns durch drei zueinander senkrechte Schnitte:

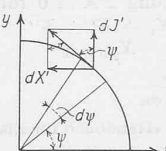
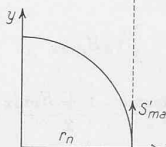
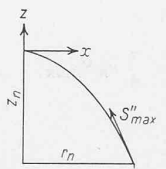
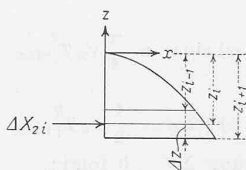
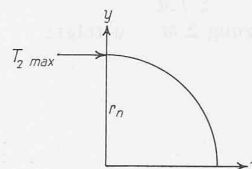
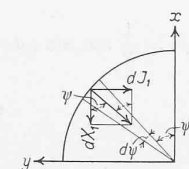
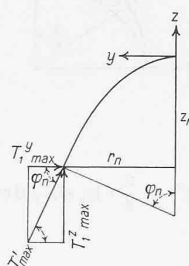
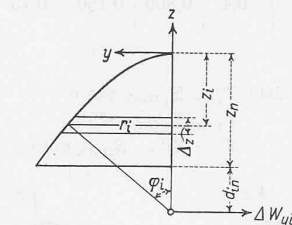
den « $z_i$ »-Parallelkreisschnitt ( $\perp$  zur  $z$ -Achse) im Abstände  $z_i$  vom Scheitel,

den « $x$ »-Meridianschnitt ( $\perp$  zur  $x$ -Achse) und

den « $y$ »-Meridianschnitt ( $\perp$  zur  $y$ -Achse), ein Kappenviertel herausgeschnitten.

Die Gleichgewichtsbedingung  $\Sigma M$  in bezug auf die  $x$ -Achse des Parallelkreisschnittes = 0 führt auf dem schon bekannten Wege zur Bestimmung der Meridianspannungsergebnisse  $T_1$ ; die Gleichgewichtsbedingung  $\Sigma Y = 0$  — zur Bestimmung der Schubspannungsergebnisse  $S$ ; die Gleichgewichtsbedingung  $\Sigma X = 0$  — auf dem neuen Wege zur Bestimmung der Ringspannungsergebnisse  $T_2$ .

### Bezeichnungen:



$dW_y$  bzw.  $\Delta W_y$  = Komponente der Resultierenden des auf ein Zonenviertel (zwischen zwei Parallelkreisschnitten) wirkenden Winddruckes in Richt.  $y$ -Achse;  $dW_x$  bzw.  $\Delta W_x$  desgl. in Richtung der  $x$ -Achse;

$W_y$  = Komponente der Resultierenden des auf das ganze Kappenviertel wirkenden Winddruckes in Richtung der  $y$ -Achse;  $W_x$  desgl. in Richtung d.  $x$ -Achse;  $d$  = Hebelarm der Kraft  $\Delta W_y$  in bezug auf die  $x$ -Achse eines Parallelkreisschnittes;

$\Delta M$  = statisches Moment der Kraft  $\Delta W_y$  in bezug auf  $x$ -Achse eines Parallelkreisschnittes;

$M$  = statisches Moment d. Kraft  $W_y$  in bezug auf die  $x$ -Achse eines Parallelkreisschnittes;

$T_1$  = gesuchte Meridianspannungsergebnisse in einem Parallelkreisschnitt;

$T_1^{\max}$  = max. Meridianspannungsergebnisse (für  $\psi = 90^\circ$ ) in einem Parallelkreisschnitt;

$T_1^z_{\max}$  = Komponente von  $T_1^{\max}$  in Richtung der  $z$ -Achse;

$T_1^y_{\max}$  desgl. in Richtung  $y$ -Achse;

$J_1$  = Komponente der Resultierenden der in einem Viertel eines Parallelkreisschnittes wirkenden Meridiankräfte in Richtung der  $y$ -Achse;

$X_1$  desgl. in Richtung d.  $x$ -Achse;

$T_2$  = gesuchte Ringspannungsergebnisse in einem Meridianschnitt (an der Schnittstelle eines bestimmten Parallelkreises mit demselben);

$T_2^{\max}$  = maximale Ringspannungsergebnisse in  $x$ -Meridianschnitt ( $\psi = 90^\circ$ ) (an der Schnittstelle eines bestimmten Parallelkreises);

$\Delta X_2$  = Resultierende der im Längenelement des  $x$ -Meridianschnittes (zwischen den Schnittstellen zweier benachbarter Parallelkreise mit demselben) wirkenden Ringkräfte;

$X_2$  = Resultierende der im  $x$ -Meridianschnitt des Kappenviertels wirkenden Ringkräfte;

$S$  = gesuchte Schubspannungsergebnisse;

$S'$  in einem Parallelkreisschnitt (an der Schnittstelle eines bestimmten Meridianschnittes mit demselben);

$S''$  in einem Meridianschnitt (an der Schnittstelle eines bestimmten Parallelkreises mit ihm);

$S_{\max}$  = maximale Schubspannungsergebnisse;

$S'_{\max}$  in einem Parallelkreisschnitt an der Schnittstelle mit dem  $y$ -Meridianschnitt ( $\psi = 0^\circ$ );

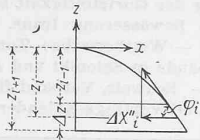
$S''_{\max}$  im  $y$ -Meridianschnitt (an der Schnittstelle eines bestimmten Parallelkreises);

$J'$  = Komponente der Resultierenden der in einem Viertel eines Parallelkreisschnittes wirkenden Schubkräfte in Richtung der  $y$ -Achse;

$X'$  desgl. in Richtung der  $x$ -Achse;

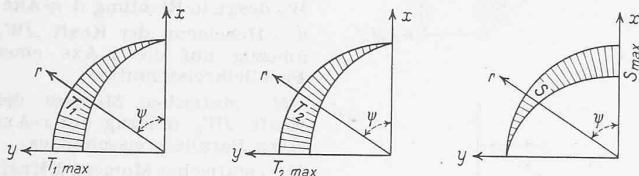
<sup>1)</sup> H. Reissner: «Spannungen in Kugelschalen», Müller-Breslau-Festschrift 1912.

<sup>2)</sup> Fr. Dischinger: «Die antisymmetrisch belasteten Rotationsschalen und Vieleckkuppeln»; vergl. auch: «Handbuch für Eisenbetonbau», 4. Auflage, 6. Band, 1928, S. 194 u. f.



$\Delta X''$  = Komponente der Resultierenden der im Längenelement des  $y$ -Meridianschnittes (zwischen den Schnittstellen zweier benachbarter Parallelkreise mit demselben) wirkenden Schubkräfte in Richtung der  $x$ -Achse;  
 $X''$  = Komponente der Resultierenden der im  $y$ -Meridianschnitt des Kappenviertels wirkenden Schubkräfte in Richtung der  $x$ -Achse.

Es ist:  $T_1 = T_{1\max} \sin \psi$   
 $T_2 = T_{2\max} \sin \psi$   
 $S' = S'' = S_{\max} \cos \psi$ .



Gang der Berechnung:<sup>3)</sup>

$$dW_y = \int_{\psi=0}^{\psi=\frac{\pi}{2}} (w_0 \sin \varphi \sin \psi) \left( r d\psi \frac{dz}{\sin \varphi} \right) (\sin \varphi \sin \psi) = \frac{\pi}{4} r w_0 \sin \varphi dz$$

bezw.  $\Delta W_{yi} = \frac{\pi}{4} r_i w_0 \sin \varphi_i \Delta z$

$$dW_x = \int_{\psi=0}^{\psi=\frac{\pi}{2}} (w_0 \sin \varphi \sin \psi) \left( r d\psi \frac{dz}{\sin \varphi} \right) (\sin \varphi \cos \psi) = \frac{1}{2} r w_0 \sin \varphi dz$$

bezw.  $\Delta W_{xi} = \frac{1}{2} r_i w_0 \sin \varphi_i \Delta z$

$$W_y = \sum \Delta W_y \quad W_x = \sum \Delta W_x$$

$$d_{in} = z_i + r_i \operatorname{ctg} \varphi_i - z_n$$

$$\Delta M_{in} = \Delta W_{yi} d_{in} \quad M = \sum \Delta M$$

Aus der Gleichgewichtsbedingung  $\sum M = 0$  folgt:

$$T_{1\max} = \frac{M}{\frac{\pi r_n^2}{4}} \quad (4)$$

$$T_{1\max}^y = T_{1\max} \operatorname{ctg} \varphi_n$$

$$T_{1\max} = \frac{T_{1\max}^y}{\sin \varphi_n}$$

$$J_1 = \int_0^{\frac{\pi}{2}} (T_{1\max} \sin \psi r_n d\psi) \sin \psi = \frac{\pi}{4} r_n T_{1\max}$$

$$X_1 = \int_0^{\frac{\pi}{2}} (T_{1\max} \sin \psi r_n d\psi) \cos \psi = \frac{1}{2} r_n T_{1\max}$$

Aus der Gleichgewichtsbedingung  $\sum J = 0$  folgt:

$$J' = W_y + J_1$$

es ist aber

$$J' = \int_0^{\frac{\pi}{2}} (S_{\max} \cos \psi r_n d\psi) \cos \psi = \frac{\pi}{4} r_n S_{\max}$$

also  $S_{\max} = \frac{J'}{\frac{\pi r_n}{4}}$

$$X' = \int_0^{\frac{\pi}{2}} (S_{\max} \cos \psi r_n d\psi) \sin \psi = \frac{1}{2} r_n S_{\max}$$

$$\Delta X''_i = \left( S_{\max i} \frac{\Delta z}{\sin \varphi_i} \right) \cos \varphi_i = \frac{S_{\max i-1} + S_{\max i+1}}{2} \operatorname{ctg} \varphi_i \Delta z$$

$$X'' = \sum \Delta X''$$

Aus der Gleichgewichtsbedingung  $\sum X = 0$  folgt:

$$X_2 = W_x + X_1 + X' + X''$$

$$\Delta X_{2n} = X_{2n+1} - X_{2n-1}$$

$$T_{2\max} = \frac{\Delta X_{2n}}{\Delta z / \sin \varphi_n}$$

<sup>3)</sup> Vergl. hierzu: Fr. Dischinger in «Handbuch für Eisenbeton», 4. Auflage, 6. Band, Seiten 204 bis 208.

Nr.	$z : R$	$r : R$	$\Delta r : R$	$\operatorname{ctg} \varphi^{5)}$	$\varphi$	$\sin \varphi$	$\Delta W_y : w_0 R^2$	$\Delta W_x : w_0 R^2$	$W_y : w_0 R^2$	$W_x : w_0 R^2$	$M : w_0 R^3$	$T_{1\max} : w_0 R$	$T_{2\max} : w_0 R$	$T_{1\max} : w_0 R$
0	0	0	0	$\infty$	$0^\circ$	0	0,030	0,019	0	0	0	0	0	0
1	0,1	0,435	0,600	2,10	$25 \frac{1}{2}^\circ$	0,43								
2	0,2	0,600	0,280	1,40	$35 \frac{1}{2}^\circ$	0,58			0,030	0,019	0,024	0,086	0,120	0,148
3	0,3	0,715	0,200	1,00	$45^\circ$	0,71	0,079	0,051						
4	0,4	0,800	0,150	0,75	$53^\circ$	0,80			0,109	0,070	0,067	0,134	0,100	0,168

usw.

Nr.	$J_1 : w_0 R^2$	$X_1 : w_0 R^2$	$J' : w_0 R^2$	$S_{\max} : w_0 R^2$	$X' : w_0 R^2$	$\Delta X'' : w_0 R^2$	$X'' : w_0 R^2$	$X_2 : w_0 R^2$	$\Delta X_2 : w_0 R^2$	$T_{2\max} : w_0 R$
0	0	0	0	0	0		0	0		
1						0,038			0,148	0,318
2	0,056	0,036	0,086	0,183	0,055		0,038	0,148		
3						0,046			0,155	0,551
4	0,063	0,040	0,172	0,273	0,109		0,084	0,303		

usw.

**Beispiel.** Um eine Kontrolle der Genauigkeit der mit Hilfe dieser Näherungsrechnung gewonnenen Resultate zu erhalten, soll die Rechnung nicht für eine «beliebige» Rotationsschale durchgeführt werden, sondern für eine Kugelschale, für die die strenge Lösung bekannt ist; jedoch werden wir die Berechnung der Kugelschale so durchführen, als ob diese Schale eine «beliebige», also analytisch nicht erfassbare Rotationsschale sei. Wir zerlegen die Rotationsschale durch vier Parallelkreisschnitte (2, 4, 6, 8) in fünf Zonen laut Abbildung nebenan. Es ist  $z_{\max} : R = 1$ ;  $\Delta z : R = 0,2$ .

Die Längen  $r$  greifen wir in der Zeichnung ab ( $r : R = 0,435, 0,600, 0,715, 0,800, 0,865, 0,915, 0,955, 0,980, 0,995, 1$ ) und führen die Rechnung in Tabellenform nach obenstehendem Schema durch.

Neben den nach dem Näherungsverfahren errechneten Werten sind untenstehend die genaueren Werte der strengen Lösung<sup>6)</sup> angeschrieben und der Fehler in % der genauen Werte.

Nr.	$T_{1\max} : w_0 R$			$T_{2\max} : w_0 R$			$S_{\max} : w_0 R$		
	errechnet	genauer	Fehler	errechnet	genauer	Fehler	errechnet	genauer	Fehler
0	0	0	—	0	0	—	0	0	—
1				0,318	0,328	−3,05%			
2	0,148	0,138	+7,3%				0,183	0,173	+5,8%
3				0,551	0,558	−1,25%			
4	0,168	0,163	+3,1%				0,273	0,271	+0,7%
5				0,722	0,705	+2,4%			
6	0,153	0,150	+2,0%				0,378	0,374	+1,1%
7				0,822	0,824	−0,25%			
8	0,104	0,100	+4,0%				0,502	0,498	+0,8%
9				0,936	0,939	−0,3%			
10	0,004	0	—		1		0,670	0,667	+0,45%

Die nach dem Näherungsverfahren errechneten Werte, insbesondere die Grösstwerte, können als durchaus befriedigend angesehen werden.

<sup>4)</sup>  $\frac{\pi r_n^2}{4}$  ist das Widerstandsmoment des Viertel-Parallelkreises in bezug auf die  $x$ -Achse des Parallelkreisschnittes.

<sup>5)</sup>  $\operatorname{ctg} \varphi_i = \frac{\Delta r_i}{\Delta z}$ ; für Meridiankurven, die, wie hier, im Scheitelpunkt eine horizontale Tangente haben, empfiehlt es sich (um zu genaueren Resultaten zu kommen)  $\operatorname{ctg} \varphi_1$  um rd. 30% zu verkleinern.

<sup>6)</sup> Vergl. hierzu Fr. Dischinger in «Handbuch für Eisenbeton», 4. Aufl., 6. Band, S. 202 bis 03; in die benutzten Formeln sind selbstverständlich die trigonometrischen Funktionen nicht der näherungsweise errechneten, sondern der genaueren Winkel eingesetzt.

