Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 67/68 (1916)

Heft: 11

Artikel: Berechnung eines rechteckigen Eisenbeton-Reservoirs auf elastischer Unterlage

Autor: Kasarnowsky, S.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-32977

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: 13.12.2025

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

INHALT: Berechnung eines rechteckigen Eisenbetonreservoirs auf elastischer Unterlage. — Der Waldfriedhof im „Rheinhard", Schaffhausen. — Die Schleusen des Panama-Kanals. — Ueber Windstärke. — Miscellanea: Neue 1-E Güterzugslokomotiven der preussisch-hessischen Staatseisenbahnen. Simplontunnel II. Die deutschen technischen Hochschulen im Winter 1915/16. Zur Erhaltung der Obergrundallee in Luzern. Eidg. Techn. Hochschule. — Konkurrenzen: Kollegienhaus der Universität Basel. Primarschulhaus im Länggass-Quartier Bern. — Literatur: Die L. v. Roll'schen Eisenwerke und die jurassische Eisenindustrie. Die baulichen und wirtschaftlichen Grundlagen der Geschäftsstadt Berlin. Elektrotechnische und mechanische Masseinheiten. Deutsche Heldenhaine. — Vereinsnachrichten: Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein. — G. e. P.: Stellenvermittlung.

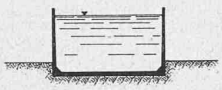
Band 67. Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet. **Nr. 11.**

Berechnung eines rechteckigen Eisenbeton-Reservoirs auf elastischer Unterlage.

Von *S. Kasarnowsky*, Dipl.-Ing. E. T. H, Zürich.

Ein rechteckiges Reservoir oder ein offener Kanal nach Abbildung 1, dessen Sohle den Baugrund auf der ganzen Grundrissfläche belastet, kann als ein Balken auf elastischer Unterlage betrachtet werden. Die Beanspruchung eines durch eine elastische Unterlage stetig unterstützten Stabes wurde zuerst von E. Winkler in seiner „Lehre von der Elastizität und Festigkeit" Prag 1867, untersucht. Später wurde diese Theorie von Zimmermann für die Berechnung des Eisenbahnoberbaues angewendet. Der Vollständigkeit halber soll hier die Differentialgleichung der elastischen Linie eines auf einer elastischen Unterlage liegenden Stabes abgeleitet werden.

Abb. 1



Reservoir oder Kanalquerschnitt

Denkt man sich aus dem Reservoir einen Streifen ausgeschnitten, und bezeichnet mit E den Young'schen Modul, J das Trägheitsmoment, y die Durchbiegung, M das Biegungsmoment und z die Belastung des Stabes pro Längeneinheit (in unserem Falle den Widerstand der Unterlage), so werden:

$$\frac{d^2 y}{d x^2} = -\frac{M}{JE} \quad \text{und} \quad \frac{d^2 M}{d x^2} = z$$

Setzt man ein konstantes Trägheitsmoment voraus, so erhält man durch zweimaliges Differenzieren

$$\frac{d^4 y}{d x^4} = -\frac{d^2 M}{d x^2}\,\frac{1}{JE} = -\frac{z}{JE}$$

Nimmt man an, dass der Widerstand der Unterlage z proportional ist zur Einsenkung y des Stabes, so wird $z = E_o\, y$ (E_o = Bettungsziffer). Die Differentialgleichung unseres Problems lautet jetzt

$$\frac{d^4 y}{d x^4} = -\frac{E_o}{JE}\, y \tag{1}$$

(Siehe: Winkler: Vorträge über Brückenbau; Zimmermann: die Berechnung des Eisenbahnoberbaues; Müller-Breslau: Graphische Statik, Bd. II, zweite Abt.; Föppl: Vorlesungen über technische Mechanik III). In der folgenden Untersuchung beschränken wir uns auf den praktisch wichtigsten Fall einer symmetrischen Belastung.

Setzt man $s = \sqrt[4]{4\,\frac{E}{E_o}\,J}$ und $\frac{x}{s} = \varphi$, so wird das allgemeine Integral der Gleichung 1

$$y = (A_1\, e^{\varphi} + A_2\, e^{-\varphi}) \cos\varphi + (B_1\, e^{\varphi} + B_2\, e^{-\varphi}) \sin\varphi \tag{2}$$

Wählt man den Koordinatenursprung in der Stabmitte, so werden, weil der Balken AB symmetrisch beansprucht ist:

$$A_1 = A_2 = \frac{A}{2} \quad \text{und} \quad B_1 = -B_2 = \frac{B}{2}$$

Werden nun die Hyperbelfunktionen

$$\operatorname{Cos}\varphi = \frac{e^{+\varphi} + e^{-\varphi}}{2} \quad \text{und} \quad \operatorname{Sin}\varphi = \frac{e^{+\varphi} - e^{-\varphi}}{2}$$

eingeführt, so vereinfacht sich die Gleichung 2 auf

$$y = A \operatorname{Cos}\varphi \cos\varphi + B \operatorname{Sin}\varphi \sin\varphi \tag{3}$$

Das Biegungsmoment des Balkens AB berechnet sich aus der Gleichung

$$\frac{d^2 y}{d x^2} = -\frac{M}{JE}$$

Durch zweimaliges Differenzieren findet man

$$M = \frac{2\,JE}{s^2}\left[A \operatorname{Sin}\varphi \sin\varphi - B \operatorname{Cos}\varphi \cos\varphi\right] \tag{4}$$

Wird berücksichtigt, dass die Querkraft $Q = -\frac{dM}{dx}$ ist, so erhält man durch nochmaliges Differenzieren der Gleichung 3

$$Q = -\frac{2\,JE}{s^3}\Big[A\,(\operatorname{Cos}\varphi \sin\varphi + \operatorname{Sin}\varphi \cos\varphi) + B\,(\operatorname{Cos}\varphi \sin\varphi - \operatorname{Sin}\varphi \cos\varphi)\Big] \tag{5}$$

Die Integrationskonstanten A und B lassen sich wie folgt aus den Randbedingungen bestimmen: Das Moment in A ist $M_a = M_1 + H \cdot h + \frac{\gamma h^3}{6}$, wenn γ das spezifische Gewicht der Füllungsflüssigkeit bedeutet, die Querkraft in A: $Q_a = P$ (siehe Abbildung 2). Der Einfluss des vertikalen Flüssigkeitsdruckes und des Eigengewichts der Bodenplatte wird hier nicht berücksichtigt, weil eine gleichmässig verteilte Belastung des Baugrundes in der Reservoirsohle weder Momente, noch Querkräfte erzeugt. Bezeichnet man mit λ das Verhältnis $\frac{a}{s}$ (a halbe Spannweite) so lauten die Randbedingungen:

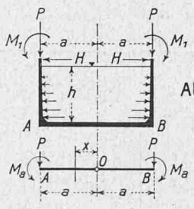


Abb. 2

$$M_a = +\frac{2\,JE}{s^2}\Big[A \operatorname{Sin}\lambda \sin\lambda - B \operatorname{Cos}\lambda \cos\lambda\Big]$$

$$Q_a = -\frac{2\,JE}{s^3}\Big[A\,(\operatorname{Cos}\lambda \sin\lambda + \operatorname{Sin}\lambda \cos\lambda) + B\,(\operatorname{Cos}\lambda \sin\lambda - \operatorname{Sin}\lambda \cos\lambda)\Big]$$

Mit $r = \frac{2\,JE}{s^2}$ ergibt sich die Nennerdeterminante:

$$\Delta_n = -\begin{vmatrix} \operatorname{Sin}\lambda \sin\lambda & -\operatorname{Cos}\lambda \cos\lambda \\ (\operatorname{Cos}\lambda \sin\lambda + \operatorname{Sin}\lambda \cos\lambda) & (\operatorname{Cos}\lambda \sin\lambda - \operatorname{Sin}\lambda \cos\lambda) \end{vmatrix}$$

$$= -\frac{1}{2}\,(\operatorname{Sin} 2\lambda + \sin 2\lambda)$$

und

$$A\, r\, \Delta_n = \begin{vmatrix} M_a & -\operatorname{Cos}\lambda \cos\lambda \\ s \cdot Q_a & -(\operatorname{Cos}\lambda \sin\lambda - \operatorname{Sin}\lambda \cos\lambda) \end{vmatrix}$$

$$= -M_a\,(\operatorname{Cos}\lambda \sin\lambda - \operatorname{Sin}\lambda \cos\lambda) + s\, Q_a \operatorname{Cos}\lambda \cos\lambda$$

$$B\, r\, \Delta_n = \begin{vmatrix} \operatorname{Sin}\lambda \sin\lambda & M_a \\ -(\operatorname{Cos}\lambda \sin\lambda + \operatorname{Sin}\lambda \cos\lambda) & Q_a \cdot s \end{vmatrix}$$

$$= M_a\,(\operatorname{Cos}\lambda \sin\lambda + \operatorname{Sin}\lambda \cos\lambda) + s\, Q_a \operatorname{Sin}\lambda \sin\lambda$$

Werden die beiden letzten Gleichungen mit $\frac{1}{\operatorname{Cos}\lambda \cos\lambda}$ multipliziert, und schreibt man $\varepsilon = \frac{2 \operatorname{Cos}\lambda \cos\lambda}{\operatorname{Sin} 2\lambda + \sin 2\lambda}$, so findet man für die gesuchten Integrationskonstanten:

$$A = \frac{\varepsilon}{r}\Big[M_a\,(\operatorname{tg}\lambda - \operatorname{Tg}\lambda) - s\, Q_a\Big]$$

$$B = -\frac{\varepsilon}{r}\Big[M_a\,(\operatorname{tg}\lambda + \operatorname{Tg}\lambda) + s\, Q_a \operatorname{Tg}\lambda \operatorname{tg}\lambda\Big] \tag{6}$$

Diese Werte für A und B in die Gleichungen 3 und 4 eingesetzt ergeben:

$$y = \frac{\varepsilon}{r}\Big\{\Big[M_a\,(\operatorname{tg}\lambda - \operatorname{Tg}\lambda) - s\, Q_a\Big] \operatorname{Cos}\varphi \cos\varphi - \Big[M_a\,(\operatorname{tg}\lambda + \operatorname{Tg}\lambda) + s\, Q_a \operatorname{Tg}\lambda \operatorname{tg}\lambda\Big] \operatorname{Sin}\varphi \sin\varphi\Big\} \tag{7}$$

und

$$M = \varepsilon\Big\{\Big[M_a\,(\operatorname{tg}\lambda - \operatorname{Tg}\lambda) - s\, Q_a\Big] \operatorname{Sin}\varphi \sin\varphi + \Big[M_a\,(\operatorname{tg}\lambda + \operatorname{Tg}\lambda) + s\, Q_a \operatorname{Tg}\lambda \operatorname{tg}\lambda\Big] \operatorname{Cos}\varphi \cos\varphi\Big\} \tag{8}$$

Es empfiehlt sich, das Moment M in zwei Teile zu zerlegen $M = M' + M''$, worin M' das Moment im Punkte P infolge M_a und M'' das Moment im Punkte P infolge Q_a bedeuten. Man erhält dann aus Gleichung 8

$$M' = \varepsilon\,[(\operatorname{tg}\lambda - \operatorname{Tg}\lambda) \operatorname{Sin}\varphi \sin\varphi + (\operatorname{tg}\lambda + \operatorname{Tg}\lambda) \operatorname{Cos}\varphi \cos\varphi]\, M_a \tag{9}$$

$$M'' = \varepsilon\,[\;-\operatorname{Sin}\varphi \sin\varphi + \operatorname{Tg}\lambda \operatorname{tg}\lambda \operatorname{Cos}\varphi \cos\varphi]\, s\, Q_a \tag{10}$$

Aus den vorliegenden Formeln findet man das Moment M_0 in Balkenmitte, wenn $\varphi = 0$ gesetzt wird. Es folgen $\operatorname{Sin} 0 = 0$; $\operatorname{Cos} 0 = 1$; $\cos\varphi = 1$ und

$$M_0' = \varepsilon\,(\operatorname{tg}\lambda + \operatorname{Tg}\lambda)\, M_a \tag{11}$$

$$M_0'' = \varepsilon\, \operatorname{tg}\lambda \cdot \operatorname{Tg}\lambda\; s \cdot Q_a \tag{12}$$

Die nachstehend gegebene Tabelle der Produkte $(\mathrm{Sin}\,\varphi \cdot \sin\varphi)$ und $(\mathrm{Cos}\,\varphi \cdot \cos\varphi)$ erleichtert die Zahlenrechnung. Für $\varphi > 5{,}0$ benützt man die beiden Gleichungen

$$(\mathrm{Sin}\,2\varphi \cdot \sin 2\varphi) = 4\,(\mathrm{Sin}\,\varphi \sin\varphi)\,(\mathrm{Cos}\,\varphi \cos\varphi) \text{ und}$$

$$(\mathrm{Cos}\,2\varphi \cdot \cos 2\varphi) = 2\,(\mathrm{Cos}\,\varphi \cos\varphi)^2 - 2\,(\mathrm{Sin}\,\varphi \sin\varphi)^2 - 1.$$

Die Funktionen $(\mathrm{Sin}\,\varphi \cdot \sin\varphi)$ und $(\mathrm{Cos}\,\varphi \cos\varphi)$ treten auch bei der Berechnung der kreisförmigen Reservoire auf.

Bei Berechnung der Konstanten (vergl. Müller-Breslau: Graphische Statik, Bd. II, 2. Abt., S. 252, auch T. Pöschl und K. v. Terzaghi: Berechnungen von Behältern, S. 45, sowie Handbuch für Eisenbetonbau, Bd. V, S. 342) wird z. B. im letztgenannten Werk die Nennerdeterminante mit

$$\Delta = \begin{vmatrix} \mathrm{Cos}\,n \cos n & \sin n\,\mathrm{Cos}\,n + \cos n\,\mathrm{Sin}\,n \\ \cos n\,\mathrm{Sin}\,n - \sin n \cos n & 2\,\mathrm{Cos}\,n \cos n \end{vmatrix}$$

angegeben. Ausgerechnet ergibt sich

$$\Delta = (\mathrm{Cos}\,n \cdot \cos n)^2 - (\mathrm{Sin}\,n \sin n)^2 + 1$$

Bei Benutzung der zweiten Form kann mittels der folgenden Tabelle die umständliche Rechnung vermieden werden.

φ	$\mathrm{Sin}\,\varphi \cdot \sin\varphi$	$\mathrm{Cos}\,\varphi \cdot \cos\varphi$	φ	$\mathrm{Sin}\,\varphi \cdot \sin\varphi$	$\mathrm{Cos}\,\varphi \cdot \cos\varphi$
0,0	0,000	1,000	2,5	3,622	— 4,952
0,1	0,010	0,999	2,6	3,451	— 5,800
0,2	0,040	0,999	2,7	3,165	— 6,756
0,3	0,090	0,999	2,8	2,744	— 7,776
0,4	0,160	0,996	2,9	2,177	— 8,849
0,5	0,247	0,990	3,0	1,414	— 9,967
0,6	0,360	0,978	3,1	0,420	— 11,137
0,7	0.489	0,960	3,2	— 0,715	— 12 265
0,8	0,637	0,932	3,3	— 2,136	— 13,405
0,9	0,804	0,891	3,4	— 3,824	— 14,501
1,0	0,989	0,834	3,5	— 5,803	— 15,520
1,1	1,190	0,757	3,6	— 8,092	— 16,422
1,2	1,407	0,656	3,7	— 10,708	— 17,162
1,3	1,636	0,527	3,8	— 13,668	— 17,688
1,4	1,877	0,366	3,9	— 16,982	— 17,939
1,5	2,123	0,166	4,0	— 20,653	— 17,850
1,6	2,375	— 0,075	4,1	— 24,681	— 17,349
1,7	2,623	— 0,364	4,2	— 29,054	— 16,351
1,8	2,865	— 0,706	4,3	— 33,747	— 14,738
1,9	3,093	— 1,105	4,4	— 38,781	— 12,474
2,0	3,298	— 1,565	4,5	— 43,992	— 9,488
2,1	3,472	— 2,092	4,6	— 49,536	— 5,587
2,2	3,604	— 2,688	4,7	— 54,965	— 0,680
2,3	3,682	— 3,356	4,8	— 60,518	5,360
2,4	3,692	— 4,097	4,9	— 65,963	12,528
2,5	3,622	— 4,952	5,0	— 71,155	21,055

Liegt λ in der Nähe von $\frac{\pi}{2}$, so müssen die Formeln 7 bis 10 umgeformt werden, denn $\mathrm{tg}\,\frac{\pi}{2}$ wird ∞ und $\varepsilon = \frac{2\,\mathrm{Cos}\,\lambda \cos\lambda}{\mathrm{Sin}\,2\lambda + \sin 2\lambda} = 0$. Für Werte von λ, die von $\frac{\pi}{2}$ wenig verschieden sind, wird $\sin 2\lambda = 0$, also $\varepsilon = \frac{\mathrm{Cos}\,\lambda \cos\lambda}{\mathrm{Sin}\,\lambda\,\mathrm{Cos}\,\lambda} = \frac{\cos\lambda}{\mathrm{Sin}\,\lambda}$. Für alle Werte von $\lambda > \frac{\pi}{2}$ können mit genügender Genauigkeit $\sin 2\lambda$ gegenüber $\mathrm{Sin}\,2\lambda$ vernachlässigt werden und die Momente $M'\,M''$ statt aus den Formeln 9 und 10 aus den nachstehend gegebenen 13 und 14 berechnet werden. Es werden nämlich dann

$$\varepsilon\,(\mathrm{tg}\,\lambda - \mathrm{Tg}\,\lambda) = \frac{\sin\lambda}{\mathrm{Sin}\,\lambda} - \frac{\cos\lambda}{\mathrm{Cos}\,\lambda}\;;\quad \varepsilon\,(\mathrm{tg}\,\lambda + \mathrm{Tg}\,\lambda) = \frac{\sin\lambda}{\mathrm{Sin}\,\lambda} + \frac{\cos\lambda}{\mathrm{Cos}\,\lambda}$$

und

$$\varepsilon\,\mathrm{tg}\,\lambda \cdot \mathrm{Tg}\,\lambda = \frac{\sin\lambda}{\mathrm{Cos}\,\lambda},$$

sodass die Gleichungen 9 und 10 übergehen in (13)

$$M' = \left[\left(\frac{\sin\lambda}{\mathrm{Sin}\,\lambda} - \frac{\cos\lambda}{\mathrm{Cos}\,\lambda}\right)\mathrm{Sin}\,\varphi \sin\varphi + \left(\frac{\sin\lambda}{\mathrm{Sin}\,\lambda} + \frac{\cos\lambda}{\mathrm{Cos}\,\lambda}\right)\mathrm{Cos}\,\varphi \cdot \cos\varphi\right] M_a$$

$$M'' = \left[-\frac{\cos\lambda}{\mathrm{Sin}\,\lambda}\,\mathrm{Sin}\,\varphi \sin\varphi + \frac{\sin\lambda}{\mathrm{Cos}\,\lambda}\,\mathrm{Cos}\,\varphi \cos\varphi\right] s \cdot Q_a \qquad (14)$$

für $\lambda = \frac{\pi}{2}$ wird

$$M' = \frac{1}{2{,}293}\left(\mathrm{Sin}\,\varphi \sin\varphi + \mathrm{Cos}\,\varphi \cos\varphi\right) M_a \qquad M_0' = \frac{M_a}{2{,}293}$$

$$M'' = \frac{1}{2{,}5073}\,\mathrm{Cos}\,\varphi \cos\varphi \cdot s \cdot Q_a \qquad M_0'' = \frac{s \cdot Q_a}{2{,}5072}$$

Es sollen nun zwei *Zahlenbeispiele* den Gang der Berechnung erläutern:

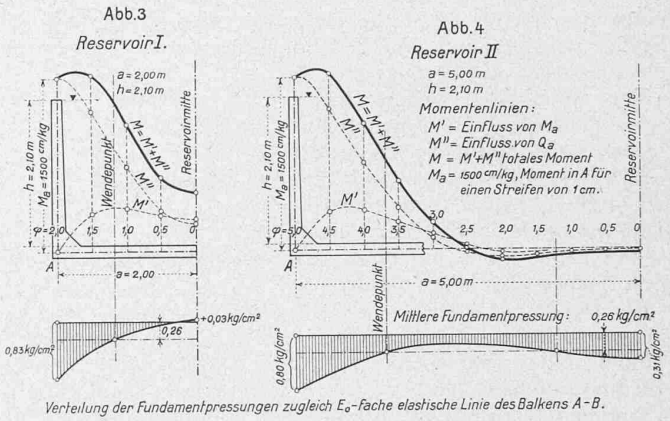
1. *Rechteckiges Eisenbetonreservoir nach Abbildung 3.* $a = 2{,}0\ m$, $h = 2{,}1\ m$, Bodenstärke $d = 20\ cm$; $E = 180\,000\ kg/cm^2$, $E_0 = 5\ kg/cm^2$.

Für einen Streifen von der Breite 1 *cm* wird

$$J = \frac{1}{12} \times 20^3 = 667\ cm^4;\ s = \sqrt[4]{\frac{4 \times 667 \times 180000}{5}} = 100\ cm;$$

$$\lambda = \frac{a}{s} = 2{,}0 \quad \varepsilon = \frac{2\,\mathrm{Cos}\,2{,}0 \cdot \cos 2{,}0}{\mathrm{Sin}\,4{,}0 + \sin 4{,}0} = \frac{-2 \times 1{,}565}{27{,}29 - 0{,}77} = -0{,}118;$$

es sind ferner: $\mathrm{tg}\,2{,}0 = -2{,}185$; $\mathrm{Tg}\,2{,}0 = +0{,}9640$; $\mathrm{tg}\,2{,}0 + \mathrm{Tg}\,2{,}0 = -1{,}221$; $\mathrm{tg}\,2{,}0 - \mathrm{Tg}\,2{,}0 = -3{,}149$ und $\mathrm{tg}\,2{,}0 \cdot \mathrm{Tg}\,2{,}0 = -2{,}110$.



Verteilung der Fundamentpressungen zugleich E_0-fache elastische Linie des Balkens A-B.

Werden die gefundenen Zahlenwerte in die Gleichungen 9 und 10 eingesetzt, so erhält man die Momentenlinien

$$M' = 0{,}118\,[3{,}149 \cdot \mathrm{Sin}\,\varphi \sin\varphi + 1{,}221\,\mathrm{Cos}\,\varphi \cos\varphi]\,M_a$$

$$M'' = 0{,}118\,[\quad + \mathrm{Sin}\,\varphi \sin\varphi + 2{,}110\,\mathrm{Cos}\,\varphi \cos\varphi]\,100\,Q_a$$

M_a ist in diesem Falle $= \frac{h^3}{6}\gamma = \frac{2{,}1^3 \times 1{,}0}{6} = 1{,}50\ mt/m = 1500\ cmkg/cm$. Bei einer mittleren Wandstärke von 21 *cm* wird $Q_a = 2{,}10 \times 0{,}21 \times 2{,}5 = 1{,}12\ t/m = 11{,}20\ kg/cm$. Das Biegungsmoment M_0 in Reservoirmitte berechnet sich aus den Gleichungen 11 und 12 zu:

$$M_0' = +0{,}118 \times 1{,}221 \times 1500 = +215\ cmkg$$

$$M_0'' = +0{,}118 \times 2{,}110 \times 1120 = +280\ cmkg$$

Die Ordinaten der Momentenlinien M' sind nun ausgerechnet:

für $\varphi = 0{,}5$ $\quad M' = 0{,}118 \times 1500\,(3{,}149 \times 0{,}247 + 1{,}221 \times 0{,}990) = +350\ cmkg$

$\varphi = 1{,}0$ $\quad M' = 0{,}118 \times 1500\,(3{,}149 \times 0{,}989 + 1{,}221 \times 0{,}834) = +730\ cmkg$

$\varphi = 1{,}5$ $\quad M' = 0{,}118 \times 1500\,(3{,}149 \times 2{,}120 + 1{,}221 \times 0{,}167) = +1210\ cmkg$

(Probe) $\varphi = 2{,}0$ $\quad M' = 0{,}118 \times 1500\,(3{,}149 \times 3{,}298 - 1{,}221 \times 1{,}565) = +1500\ cmkg$

Analog berechnen sich die Ordinaten der M''-Linie zu:

für $\varphi = 0{,}5$ $\quad M'' = 0{,}118 \times 1120\,(0{,}247 + 2{,}110 \times 0{,}990) = 310\ cmkg$

$\varphi = 1{,}0$ $\quad M'' = 0{,}118 \times 1120\,(0{,}989 + 2{,}110 \times 0{,}834) = 365\ cmkg$

$\varphi = 1{,}5$ $\quad M'' = 0{,}118 \times 1120\,(2{,}120 + 2{,}110 \times 0{,}167) = 327\ cmkg$

(Probe) $\varphi = 2{,}0$ $\quad M'' = 0{,}118 \times 1120\,(3{,}298 - 2{,}110 \times 1{,}565) = 000\ cmkg$

Die maximalen Durchbiegungen und Fundamentpressungen werden ermittelt aus der Gleichung 7. Auch hier werden der Uebersichtlichkeit halber die Einflüsse von M_a und Q_a getrennt berechnet. Setzt man $y = y' + y''$, so ergibt sich aus Gleichung 7

$$y' = \frac{\varepsilon}{r} M_a \left[(\mathrm{tg}\,\lambda - \mathrm{Tg}\,\lambda)\,\mathrm{Cos}\,\varphi \cos\varphi - (\mathrm{tg}\,\lambda + \mathrm{Tg}\,\lambda)\,\mathrm{Sin}\,\varphi \sin\varphi\right] \quad (15)$$

$$y'' = \frac{\varepsilon}{r}\, s \cdot Q_a \left[\quad - \mathrm{Cos}\,\varphi \cos\varphi - \mathrm{Tg}\,\lambda \cdot \mathrm{tg}\,\lambda\,\mathrm{Sin}\,\varphi \sin\varphi\right] \quad (16)$$

Die Ordinaten der elastischen Linie in Reservoirmitte (y_0', y_0'') und im Punkt A (y_a', y_a'') werden, wenn in 15 und 16 $\varphi = 0$ und $\varphi = \lambda$ eingesetzt (negativ nach unten)

$$\text{mit } r = \frac{2JE}{s^2} = \frac{2 \times 667 \times 180\,000}{100 \times 100} = 24\,000 \; kg$$

$$y_0' = \frac{\varepsilon}{r} M_0 \, (\operatorname{tg} \lambda - \operatorname{Tg} \lambda) = \frac{-0{,}118}{24000} \times (-3{,}149) \times 1500 = 2{,}34 \times 10^{-2} \; cm$$

$$y_0'' = -\frac{\varepsilon}{r} s \cdot Q_a = \frac{+0{,}118}{24000} \times (100 \times 11{,}2) = 0{,}55 \times 10^{-2} \; cm$$

$$y_a' = \frac{-0{,}118}{24000} \, 1500 \, (3{,}149 \times 1{,}565 + 1{,}221 \times 3{,}298) = -6{,}60 \times 10^{-2} \; cm$$

$$y_a'' = \frac{-0{,}118}{24000} \times 1120 \, (1{,}565 + 2{,}110 \times 3{,}298) = -4{,}67 \times 10^{-2} \; cm$$

Der grösste Fundamentdruck entsteht in A und beträgt

$$z = E_0 \cdot y_a = -5 \, (6{,}60 + 4{,}67) \times 10^{-2} = -0{,}57 \; kg/cm^2 \text{ (Druck)}$$

Addiert man dazu den Fundamentdruck ($p + g$) (vertikaler Wasserdruck + Eigengewicht der Bodenplatte), so wird

$$z_{max} = -0{,}57 + 0{,}26 = -0{,}83 \; kg/cm^2 \text{ (Druck)}$$

In Reservoirmitte ist

$$z = +(2{,}34 + 0{,}55) \times 5 \times 10^{-2} = +0{,}29 \; kg/cm^2 \text{ (Zug)}$$

Die totale Fundamentpressung wird hier

$$+z - (p + g) = +0{,}29 - 0{,}26 = +0{,}03 \; kg/cm^2 \text{ (Zug)}$$

Die Verteilung der Fundamentpressungen ist in Abbildung 3 dargestellt.

II. Rechteckiges Eisenbetonreservoir nach Abbildung 4.

$a = 5{,}0 \; m$, $h = 2{,}1 \; m$, Bodenstärke $d = 20 \; cm$.

Dieses Beispiel unterscheidet sich vom ersten nur durch die Grösse a, $s = 100 \; cm$, $\lambda = \frac{5{,}0}{1{,}0} = 5{,}0$. Es sollen hier nur die Resultate der Rechnung, die nichts neues bietet, angegeben werden.

$$M' = -0{,}00383 \, M_a \, [4{,}337 \operatorname{Sin} \varphi \sin \varphi + 2{,}337 \operatorname{Cos} \varphi \cos \varphi]; \quad M_a = 1500 \; cmkg$$

$$M'' = -0{,}00383 \, s \cdot Q_a \, [\operatorname{Sin} \varphi \sin \varphi + 3{,}376 \operatorname{Cos} \varphi \cos \varphi]; \quad s \cdot Q_a = 1120 \; cmkg$$

für $\varphi = 0{,}0$ werden	$M' = -13{,}5$ *cmkg*	$M'' = -14{,}4$ *cmkg*
0,5	−19,4 „	−15,5 „
1,0	−35,8 „	−16,4 „
1,5	−55,0 „	−11,5 „
2,0	−60,0 „	+9,9 „
2,5	−24,0 „	+60,0 „
3,0	+99,0 „	+138,5 „
3,5	+354,0 „	+250,0 „
4,0	+752,0 „	+347,0 „
4,5	+1215,0 „	+325,0 „
(Probe) 5,0	+1500,0 „	+000,0 „

Die Momentenlinien M' M'', sowie die Verteilung der Fundamentpressungen sind in Abbildung 4 dargestellt.

Die Zahlenrechnungen sind mit einem 25 *cm* langen Rechenschieber durchgeführt. Tabellen der Hyperbelfunktionen findet man u. a. in dem bekannten Taschenbuch der Hütte, in dem Taschenbuche der Mathematik von Dr. W. Ligowski und in dem Lehrbuch der Differenzialrechnung von Kiepert.

In der Zeitschrift „Beton und Eisen", Heft XV u. XVI 1912, veröffentlichte Dr. Ing. R. Bortsch einen Aufsatz über das gleiche Thema. Die Aufgabe wird auf die Berechnung eines Trägers auf drei oder vier Stützen zurückgeführt. Dabei wird die willkürliche Annahme gemacht, dass die Mittelstützen gleich hoch sind wie die Endstützen. Diese Annahme trifft zu bei einer nicht elastischen Unterlage ($E_0 = \infty$). Diese Berechnungsart kann demnach als ein Spezialfall unserer Rechnung betrachtet werden. (Siehe auch die diesbezüglichen Zuschriften von Dr. phil. Ing. Sachsel, in Heft II 1912 und von Ing. A. Strassner, in Heft XI 1913 der genannten Zeitschrift).

Der Waldfriedhof im „Rheinhard", Schaffhausen

Nach Mitteilungen von Stadtrat *H. Schlatter*, Baureferent, Schaffhausen.

(Mit Tafeln 15 bis 18.)

Die beiden Friedhöfe der Stadt Schaffhausen näherten sich gegen das Jahr 1908 dem Ende ihrer Aufnahmefähigkeit, sodass die Frage der Schaffung neuer Begräbnisstätten von den städtischen Behörden geprüft werden musste. Die ersten Studien wurden noch von dem seither verstorbenen Stadtingenieur Max Stocker gemacht, auf dessen statistischen Unterlagen später der gegenwärtige Baureferent weiter arbeitete. Wie immer in solchen Fällen war dabei zuerst abzuklären, ob man einen Zentralfriedhof oder Quartierfriedhöfe erstellen wolle. Auf Grund der Vorarbeiten des Herrn Stocker entschied sich der Stadtrat schon früher für einen Zentralfriedhof und zwar hielt er damals das vor dem jetzigen Waldfriedhof gelegene, im Eigentum der Stadt stehende Niklausenfeld für geeignet.

Abb. 2. Herbstbild aus dem Schaffhauser Waldfriedhof.

Mittlerweile war — im Jahre 1907 — der Münchner Waldfriedhof eröffnet worden, der sich wegen seiner schönen Gestaltung des gesamten Begräbniswesens sofort eines besondern Rufes erfreute und weit herum anregend wirkte. Seine Besichtigung veranlasste auch den Baureferenten der Stadt Schaffhausen, beim Stadtrat die Idee der Schaffung eines Waldfriedhofes zu vertreten, wo sie Anklang fand. Am 8. Mai 1910 beschloss die Einwohnergemeindeversammlung ohne Opposition die Anlage eines neuen Friedhofes im Rheinhard und bewilligte dafür einen Kredit von 180 000 Fr. Der Stadtrat ging aber nicht ohne weiteres an die Ausführung des Projektes, weil er die grundsätzliche Frage, ob ein Waldfriedhof zu errichten sei, nach allen Seiten gründlich abklären wollte. Zuerst mussten die forstlichen Bedenken erörtert werden, zu welchem Behufe man die Herren Professor Felber in Zürich, Forstmeister Steinegger und Oberförster Gujer in Schaffhausen um ein Gutachten ersuchte. Dieses fiel für die Idee eines Waldfriedhofes günstig aus; daraufhin beschloss der Stadtrat, Herrn Prof. Dr. Ing. *Hans Grässel*, Stadtbaurat von München, ebenfalls noch um ein Gutachten und um ein generelles Projekt zu bitten. Herr Dr. Grässel sprach sich nach einem Augenschein sehr günstig über das in Aussicht genommene Terrain aus, sodass nach weitern Studien und Berichten des Baureferenten der Stadtrat am 22. August 1912 zwei schaffhauserische Architekten mit der Ausarbeitung von Projekten für die Friedhofgebäude beauftragte. Ende September und anfangs Oktober des gleichen Jahres gingen diese Arbeiten ein und auf den Rat Grässels erteilte der Stadtrat 1913 an Architekt *C. Werner* in Schaffhausen den Auftrag zur Ausarbeitung des definitiven Bauprojektes und zwar sollte gleich eine umfassende Anlage mit allem Zubehör und mit einer Leichen-Verbrennungsanlage geschaffen werden, nachdem die Einwohnergemeinde durch das Budget 1915 hierfür einen besondern Kredit von 80 000 Fr. erteilt hatte.