

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA



15520

L. inw.

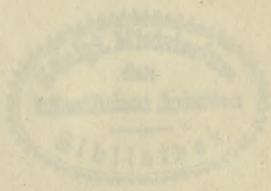
1,04

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000301509

LEHRB. ZUR THEORIE DES WASSERBAUES
UND ZUR BEWERTUNG UND KONSTRUKTION DES
SEGMENTWEHRES
SCHÜTZEN- UND WALZENWEHRES



LEITZIG UND BERLIN
VERLAG VON WILHELM ENGELMANN

x
1.609

BEITRAG ZUR THEORIE DES WASSERDRUCKES
UND ZUR BEWERTUNG UND KONSTRUKTION DES
SEGMENTWEHRES
SCHÜTZEN- UND WALZENWEHRES

VON

Dr. Ing. **HUGO KULKA**

MIT 54 ABBILDUNGEN IM TEXT



LEIPZIG UND BERLIN

VERLAG VON WILHELM ENGELMANN

1913

14/10

37.30597

7.4.1913
12

VON

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW

III 15520



Handwritten number: 2140/49

Akc. Nr. 2140/49

Inhalt.

	Seite
Einleitung	1
I. Abschnitt. Der Wasserdruck auf eine zylindrische Wand	3
A. Einseitiger Wasserdruck	3
B. Ober- und Unterwasser vorhanden	17
II. Abschnitt. Praktisch verwertbare Formen der Stauwand	20
Allgemeine Entwicklung	20
Sonderfälle	23
A. Das Schützenwehr	23
B. Das Walzenwehr	23
a) Die Walze als Stau- und Tragkörper	23
b) Die Walze als Tragkörper mit besonderem Stauschild	24
C. Das Kreissegmentwehr	25
III. Abschnitt. Vergleich des Materialverbrauches und der Kosten	31
A. Der Materialverbrauch	31
a) Der bewegliche Staukörper	31
α) Die Stauwand	31
1. Vergleich zwischen Schützen- und Segmentwehr	31
2. Das Walzenwehr	34
β) Die Zwischenkonstruktion (Die Horizontalriegel)	34
1. Das Segmentwehr	34
2. Das Schützenwehr	35
3. Das Walzenwehr	35
γ) Die Hauptträger	37
1. Das Schützenwehr	37
2. Das Walzenwehr	39
α) Beiderseitiger Antrieb	39
β) Einseitiger Antrieb	43
3. Das Segmentwehr	47
δ) Die Quer- und Längsverbände	48
b) Der Antriebsmechanismus	49
B. Die Herstellungskosten	50
α) Die Materialpreise	50
β) Die Werkstattkosten	50
γ) Die Montagekosten	51
Zusammenfassung	51
IV. Abschnitt. Konstruktion des Kreissegmentwehres	52
A. Die Bleche	52
B. Das Traggerippe. (Die Riegel)	52
C. Die Hauptträger und Endstützen	53
D. Die Drehgelenke	58
a) Die konstruktive Anordnung	65
b) Der Bewegungsvorgang	66
E. Der Antriebsmechanismus	66

Einleitung.

Der Zweck der vorliegenden Arbeit ist ein praktischer. Es soll das Segmentwehr, ein schon lange bekanntes Konstruktionsprinzip, kritisch beleuchtet werden, um jene Punkte zu finden, die beachtet werden müssen, wenn man diese durch so viele Vorzüge ausgezeichnete Konstruktion erfolgreich in der Praxis ausführen will. Das bisherige Anwendungsgebiet der Segmentwehre ist besonders in Europa noch verhältnismäßig klein, wenngleich diese Wehrart wohl geeignet ist, auch weitgehende Anforderungen in technischer und wirtschaftlicher Hinsicht zu erfüllen.

Durch die gestellte Aufgabe ist der Weg und Umfang dieser Arbeit gegeben. Nach Besprechung der Hauptfragen im Vergleiche mit anderen Wehrarten werden die gewonnenen Schlußfolgerungen auf das Segmentwehr übertragen. Dabei sind jene Punkte eingehender erörtert, die nach den Erfahrungen des Verfassers für diese Wehrart ausschlaggebend sind, besonders dort, wo breite Gerinne mit großen Wasserdrücken durch einen einheitlichen, beweglichen Staukörper verschlossen werden sollen.

Die Untersuchungen über den Materialverbrauch dürfen nicht als absolute Werte angesehen werden, sondern haben, wie jedem Praktiker geläufig ist, nur einen Sinn als Vergleichswerte.

Im I. Abschnitte der Arbeit wird wohl zum ersten Male eine einheitliche theoretische Methode entwickelt, die in den Hauptfragen manchen anschaulichen Aufschluß gibt. Die von mir zu diesem Zwecke eingeführte Wasserdrucklinie wurde daher etwas genauer verfolgt, und die Übertragung ihres Begriffes auf andere technische und mechanische Gebiete durch Vorführung einiger Beispiele soll zeigen, wie fruchtbar die Eigenschaften dieser Linie verwertet werden können.

Die für diese Arbeit vorhandenen Literaturquellen sind sehr spärlich.

Eine treffende Studie über das Segmentwehr ist von EGER veröffentlicht¹⁾. Sie behandelt den praktischen Vergleich dieser Wehrart mit dem Walzenwehre an einer versuchsweisen Ausführung im Landwehrkanale in Berlin. Der erwähnte Aufsatz enthält auch einen historischen Überblick, so daß sich dieser wohl hier erübrigt.

Als Zeugnis der großen Entwicklung dieses Gebietes der Technik durch die Fortschritte des Maschinenbaues und der Elektrotechnik sei nur eine Notiz von FRANZIUS erwähnt. Er schreibt in der »Baukunde des Architekten« vom Jahre 1894 über das Segmentwehr u. a.: »... die Konstruktion ist schwerfällig und erfordert starke Winden«.

Unmittelbar vor der Drucklegung der vorliegenden Schrift erschien der II. Band des Handbuches der Ingenieur-Wissenschaften²⁾, in welchem einige ausgeführte Konstruktionen besprochen und dargestellt sind.

Durch die mitgeteilten theoretischen und praktischen Studien hoffe ich, einiges zur Klärung dieses Gebietes beizutragen.

Hannover, Juli 1911—Februar 1912.

¹⁾ Zentralbl. der Bauverwalt. 1907 (Segmentenschütz und Walzenwehr von Geh. Baurat EGER, Berlin).

²⁾ Handbuch der Ing.-Wissenschaften, III. Teil. II. Bd., Stauwerke. W. Engelmann, Leipzig 1912.

I. Abschnitt.

Der Wasserdruck auf eine zylindrische Wand.

A. Einseitiger Wasserdruck.

Um die folgenden Untersuchungen auf ihre allgemeinste Form zurückzuführen, sei der Wasserdruck auf eine beliebige zylindrische Wand untersucht.

In jedem Punkte der Stauwand wirkt ein normal gerichteter Druck dW , dessen Größe für die Flächeneinheit von der Druckhöhe y abhängig ist (Abb. 1a).

Für die Breite »Eins« (normal zur Zeichenebene gemessen) wird

$$dW = ds \cdot y. \quad (1)$$

Zerlegt man dW in eine horizontale und vertikale Seitenkraft, so ist

$$\begin{aligned} dH &= ds \cdot \sin \varphi \cdot y, \\ ds \cdot \sin \varphi &= dy; \end{aligned}$$

$$\text{daher } dH = y \cdot dy, \quad (2)$$

$$\begin{aligned} dA &= ds \cdot \cos \varphi \cdot y, \\ ds \cdot \cos \varphi &= dx; \end{aligned}$$

$$\text{daher } dA = y \cdot dx. \quad (3)$$

Integriert man Gleichung (2) zwischen den Grenzen $y = 0$ und $y = y$, so wird

$$H_0^y = \int_0^y y \cdot dy = \frac{y^2}{2}, \quad (4)$$

ebenso die Gleichung (3) zwischen denselben Grenzen, so wird

$$A_0^y = \int_0^y y \cdot dx, \quad (5)$$

wobei $y = f(x)$ die Gleichung der Wandkurve in dem Achsensysteme (x, y) darstellt.

Die Gleichung (4) ist der bekannte Ausdruck für den Horizontaldruck des Wassers auf eine Wand von der Höhe y . Er ist unabhängig von der Form der Stauwand.

Gleichung (5) ist der Ausdruck für die vertikale Seitenkraft des Wasserdruckes auf die Wand von der Höhe y und der Breite Eins. Dieser Wert entspricht dem

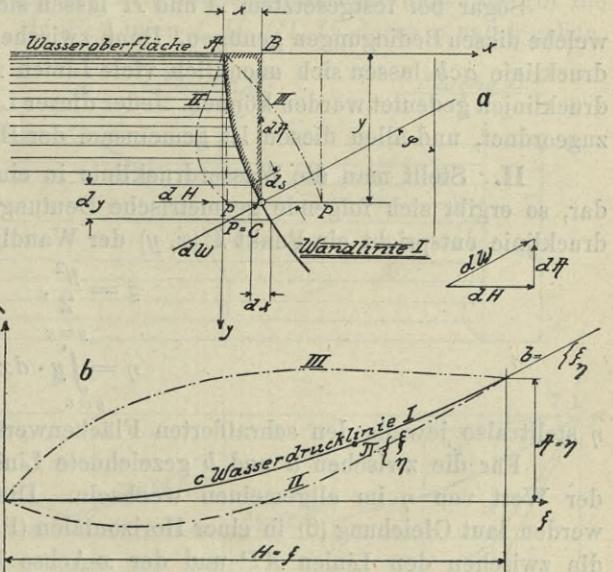


Abb. 1a-b.

Gewichte eines Zylinders mit der Grundfläche ABC und der Höhe »Eins«. Das Gewicht ist dargestellt durch die schraffierte Fläche, ist also wesentlich abhängig von der Gleichung der Wandkurve.

Die Gleichung (5) stellt die allgemeine Form des ARCHIMEDISCHEN Prinzipes dar. In der Folge sei daher

H der Horizontaldruck,
 A der Auftrieb

genannt, den eine Stauwand von dem gestauten Wasser erleidet.

Denkt man die auf die einzelnen Flächenelemente der Stauwand wirkenden, normalen Wasserdrücke zu einem zusammenhängenden Kräftezuge aneinandergesetzt, so stellt die Länge desselben den gesamten, auf die betreffende Wand wirkenden Wasserdruck dar (Abb. 1b). Die Projektion dieses Kräftezuges auf eine horizontale Achse ergibt den Horizontaldruck auf die Wand, die Projektion auf eine lotrechte Achse den Auftrieb.

Der eben gekennzeichnete Kräftezug sei im folgenden die Wasserdrucklinie genannt. Die Betrachtung derselben führt zu einigen bemerkenswerten Eigenschaften.

I. Setzt man eine bestimmte Wassertiefe t voraus, so wird H stets den gleichen Wert beibehalten $H = \frac{t^2}{2}$, wie immer auch die Wand geformt sein mag. Dagegen kann A alle Werte von 0 bis ∞ annehmen, je nach Gestalt der Wand.

Sogar bei festgesetztem A und H lassen sich unendlich viele Wandflächen finden, welche diesen Bedingungen genügen. Denn zwischen den Endpunkten a und b der Wasserdrucklinie acb lassen sich unendlich viele Linien zeichnen, welche sämtlich als Wasserdrucklinien gedeutet werden können. Jeder dieser Linien ist eine ganz bestimmte Wandlinie zugeordnet, und allen diesen ist gemeinsam der Horizontaldruck H und der Auftrieb A .

II. Stellt man die Wasserdrucklinie in einem rechtwinkligen Koordinatensystem dar, so ergibt sich folgende geometrische Deutung. Jedem Punkte $\pi (\xi, \eta)$ der Wasserdrucklinie entspricht ein Punkt $P(x, y)$ der Wandlinie und es bestehen die Beziehungen

$$\xi = \frac{y^2}{2}, \quad (6)$$

$$\eta = \int_{y=0}^{y=y} y \cdot dx, \quad (7)$$

η stellt also jeweils den schraffierten Flächenwert dar.

Für die zwischen a und b gezeichnete Linienschar wird bei festem Werte von ξ der Wert von η im allgemeinen wechseln. Die zugehörigen Punkte der Wandlinie werden laut Gleichung (6) in einer Horizontalen (Parallelen zur x -Achse) liegen, während die zwischen den Linien AP und der x -Achse liegenden Flächenstücke verschiedene Werte besitzen. Für den Punkt b aber, wo alle Linien einmünden, schließen die zugehörigen Wandlinien mit der x -Achse dieselben Flächen ein. (Vgl. auch Abb. 3.)

III. Jeder Wandlinie ist eine ganz bestimmte Wasserdrucklinie angeordnet. Die gegenseitigen Beziehungen dieser Linien gestatten die Lösung folgender planimetrischen Aufgabe:

Es ist der Flächeninhalt zu bestimmen, den eine gegebene Linie C mit der x -Achse einschließt. (Abb. 2a.)

Man zerlege die Linie C in eine Anzahl Teile, die man genau genug als Gerade ansehen kann, 01, 12, 23, 34 . . . Hierauf trage man in einem Achsensysteme (ξ, η) der Reihe nach die Werte $\xi = \frac{h_1^2}{2}, \frac{h_2^2}{2}, \frac{h_3^2}{2} \dots$ auf (Abb. 2b). Zieht man dann die

Geraden $OI \perp O1$, $I'II' \perp 12$, $II'III' \perp 23 \dots$, dann stellt $F_{044'}$ die gesuchte Fläche dar. Dies folgt auch aus rein planimetrischen Beziehungen

$$II' = \frac{h_1^2}{2} \cdot \text{tg } \alpha_1,$$

daher $II' = \text{Fläche } O1'10$,

$$III' = I'II' + I''II' = \frac{h_1^2}{2} \cdot \text{tg } \alpha_1,$$

$$+ \frac{h_2^2 - h_1^2}{2} \text{tg } \alpha_2,$$

daher $III' = \text{Fläche } O1'2'210$,

$$\left[\frac{h_2^2 - h_1^2}{2} \cdot \text{tg } \alpha_2 = \frac{h_2 + h_1}{2} (h_2 - h_1) \text{tg } \alpha_2 \right].$$

Jede Ordinate der Linie C_1 gibt also einen Teil der Fläche an, welche die Linie C mit der x -Achse einschließt. Dem Punkte mit der Ordinate y ist zugeordnet ein Punkt der Linie C_1 mit der Abszisse $\xi = \frac{y^2}{2}$.

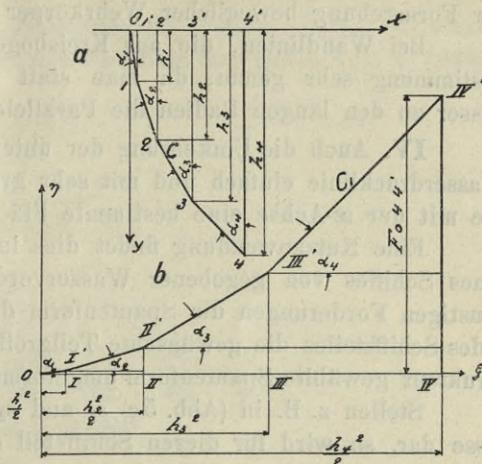


Abb. 2 a-b.

In Abb. (3a-b) ist die Konstruktion für einen Sonderfall durchgeführt. Es gilt die Beziehung: $\Sigma F_1 = \Sigma F_2 = \Sigma F_3 = \Sigma F_4$, da die Linien I, II, III, IV durch a und b gehen.

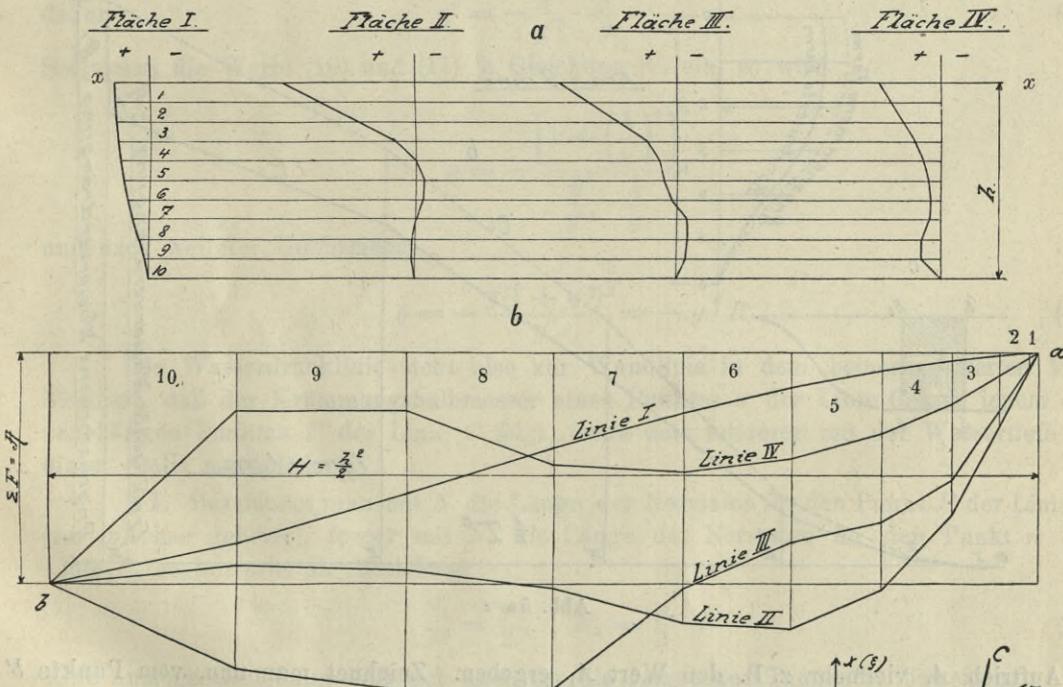


Abb. 3a-b.

1) Die so gekennzeichnete Linie C_1 hat demnach Ähnlichkeit mit der sog. Integralkurve, deren Ordinaten ebenfalls Flächen darstellen. Ein wesentlicher Unterschied liegt aber darin, daß für die Integralkurve die Abszisse ξ übereinstimmt mit jener der zu planimetrierenden Linie C . (Vgl. Abb. 4.)

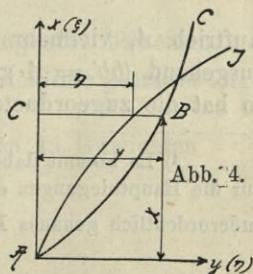


Abb. 4.

Aus dem Verlaufe der Wasserdrucklinie lassen sich wertvolle Schlüsse ziehen auf die Zunahme der Fläche bei veränderlichem Werte von y ; im Schiffbau und bei der Formgebung beweglicher Wehrkörper kommt diese Aufgabe wiederholt vor.

Bei Wandlinien, die aus Kreisbogen zusammengesetzt sind, wird die Flächenbestimmung sehr genau, da man statt zu den kurzen Wandstücken die Normalen, besser zu den langen Radien die Parallelen ziehen kann. (Vgl. Abb. 3a, Fläche I.)

IV. Auch die Umkehrung der unter III gelösten Aufgabe läßt sich mit Hilfe der Wasserdrucklinie einfach und mit sehr großer Genauigkeit lösen: Eine Kurve zu finden, die mit der x -Achse eine bestimmte Fläche einschließt.

Eine Nutzenanwendung findet dies im Schiffbau bei der Formgebung der Spanten eines Schiffes von gegebener Wasserverdrängung. Dabei muß unter Einhaltung der sonstigen Forderungen die Spantenform derart abgestuft werden, daß das Displacement jedes Schiffsteiles die gewünschte Teilgröße besitzt. Häufig muß die vorläufig vom Konstrukteur gewählte Spantenform umgeformt werden, damit diese Forderung erfüllt wird.

Stellen z. B. in (Abb. 5c) s_1 und s_2 zwei in der Entfernung x liegende Spantenrisse dar, so wird für diesen Schiffsteil der Anordnung der Hauptabmessungen gemäß eine Wasserverdrängung A gewünscht.

Die Planimetrierung der vorläufig angenommenen Spantenform mit Hilfe der Wasserdrucklinie C_1 wird aber für die Tiefe T im allgemeinen nicht den gewünschten

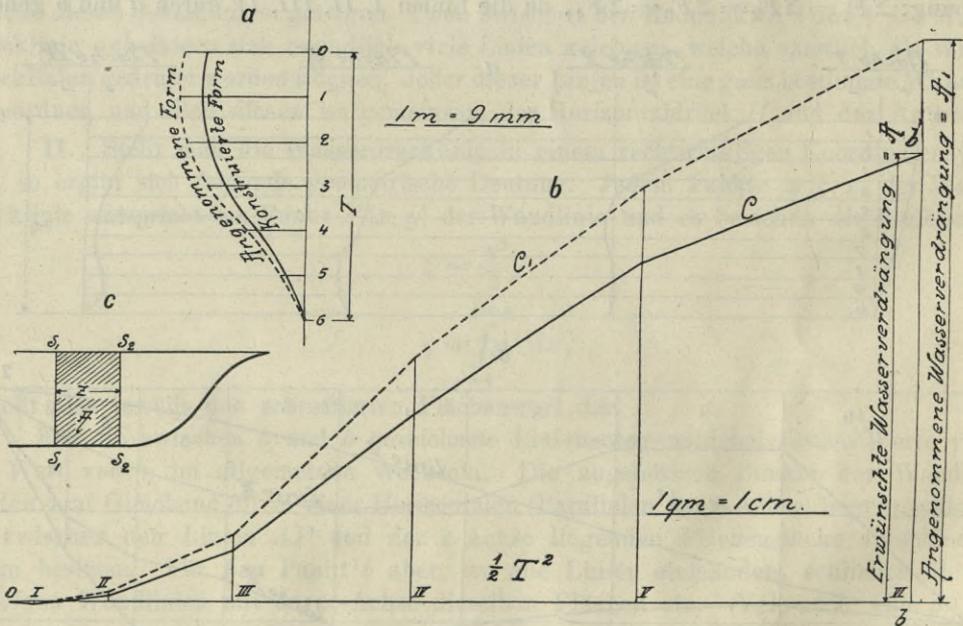


Abb. 5a-c.

Auftrieb A , vielmehr z. B. den Wert A_1 ergeben. Zeichnet man nun, vom Punkte b' ausgehend ($bb' = A$ gegeben) eine zweite Linie C , die sich C_1 möglichst anschmiegt, so hat die zugeordnete Wandlinie die gesuchte Form¹⁾.

¹⁾ Es kommt dabei durchaus nicht darauf an, die Linie C_1 allzugenaue zu zeichnen, da diese nur die Hauptbiegungen enthalten muß. Die Konstruktion der Wandlinie und der Linie C ergibt ein außerordentlich genaues Resultat, da ja $\xi = \frac{y^2}{2}$, $y = \sqrt{2\xi}$.

V. Bedeutet in (Abb. 1a) $R = \frac{(1 + y'^2)^{\frac{3}{2}}}{y''}$ (8)

den Wert des Krümmungshalbmessers der Wandlinie im Punkte $P(x, y)$ so folgt der Wert ρ für den Krümmungshalbmesser der Wasserdrucklinie im Punkte $\pi(\xi, \eta)$ (Abb. 1b)

aus
$$\rho = \frac{(1 + \eta'^2)^{\frac{3}{2}}}{\eta''}$$
 (9)

Setzt man für
$$\xi = \frac{y^2}{2}, \quad \eta = \int_0^x y \cdot dx$$

so folgt
$$\eta' = \frac{1}{y'} = \frac{dx}{dy}$$
 (10)

$$\eta'' = \frac{d\eta'}{d\xi} = \frac{d^2x}{dy^2} \cdot \frac{dy}{d\xi} = \frac{d^2x}{dy^2} \cdot \frac{1}{y'}$$

wobei x als zusammengesetzte Funktion von ξ auftritt.

Nun ist aber
$$\frac{d^2x}{dy^2} = -\frac{\frac{d^2y}{dx^2}}{\left(\frac{dy}{dx}\right)^3} = -\frac{y''}{y'^3}$$

daher
$$\eta'' = -\frac{y''}{y'^3} \cdot \frac{1}{y}$$
 (11)

Setzt man die Werte (10) und (11) in Gleichung (9) ein, so wird

$$\rho = -\frac{\left[1 + \left(\frac{1}{y'}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}}{\frac{y''}{y'^3} \cdot \frac{1}{y}}$$

und nach weiterer Umformung

$$\rho = -\frac{y(1 + y'^2)^{\frac{3}{2}}}{y''} = -y \cdot R$$
 (12)

Die Wasserdrucklinie steht also zur Wandlinie in dem bemerkenswerten Verhältnisse, daß der Krümmungshalbmesser eines Punktes π der Linie C_1 aus jenem des zugehörigen Punktes P der Linie C folgt, wenn man letzteren mit der Wassertiefe an dieser Stelle multipliziert.

VI. Bezeichnet man mit N die Länge der Normalen für den Punkt P der Linie C (zur x -Achse gehörig), ferner mit N_1 die Länge der Normalen für den Punkt π der Linie C_1 so herrscht die Beziehung

$$\frac{N_1}{N} = \frac{y}{2}; \quad N_1 = \frac{y}{2} \cdot N$$
 (13)

Eine analoge Beziehung läßt sich auch für die Länge der Tangenten beweisen.

VII. Die Verwandtschaft zwischen Wand- und Wasserdrucklinie gestattet folgende Deutung der letzteren.

Die Wasserdrucklinie kann als Seileck aufgefaßt werden zu Gewichten

$$G_n = \text{tg } \alpha_n - \text{tg } \alpha_{n-1}$$

gezeichnet mit der Polweite $H = 1$. (Abb. 6a—c.)

Da die Tangente in π normal steht zu der Tangente in P , so bedeuten α_n und α_{n-1} die Neigungswinkel der Kurventangenten in P_n bzw. P_{n-1} mit der y -Achse, aber auch der Kurventangenten in π_n bzw. π_{n-1} mit der ξ -Achse.

Ist $x = f(y)$ die Gleichung der Wandlinie (Abb. 7a), so wird

$$x' = f'(y) = \operatorname{tg} \alpha.$$

Setzt man

$$y_n = y_{n-1} + k,$$

wobei k beliebig klein genommen werden darf, so wird

$$\begin{aligned} G_n &= \operatorname{tg} \alpha_n - \operatorname{tg} \alpha_{n-1} \\ &= f'(y_{n-1} + k) - f'(y_{n-1}). \end{aligned} \quad (14)$$

Löst man bei einer stetig gekrümmten Wandlinie das einer Änderung der Tangente beim Übergange von π_n zu π_{n-1} entsprechende Gewicht G_n in eine gleichförmig verteilte Belastung auf, was ja zulässig ist, da man

das Intervall von π_n zu π_{n-1} beliebig klein wählen kann, so entspricht dem Gewichte G_n eine Belastungsstrecke von

$$\xi_n - \xi_{n-1} = \frac{y_n^2}{2} - \frac{y_{n-1}^2}{2} = \frac{1}{2} (y_n + y_{n-1})(y_n - y_{n-1}).$$

Daher wird die Belastungshöhe

$$\gamma_n = \frac{G_n}{\xi_n - \xi_{n-1}} = \frac{f'(y_{n-1} + k) - f'(y_{n-1})}{(y_n - y_{n-1})(y_n + y_{n-1})} \cdot 2. \quad (15)$$

Setzt man für $y_n = y_{n-1} + k$, so wird

$$\gamma_n = \frac{[f'(y_{n-1} + k) - f'(y_{n-1})] \cdot 2}{(y_{n-1} + k - y_{n-1})(2 \cdot y_{n-1} + k)}.$$

Beim Grenzübergange $\lim k = 0$ wird

$$\gamma_n = \frac{f'(y_{n-1} + k) - f'(y_{n-1})}{k} \cdot \frac{2}{2 \cdot y_{n-1}},$$

$$\lim k = 0.$$

Allgemein ist daher

$$\gamma_n = f''(y_n) \cdot \frac{1}{y_n}. \quad (16)$$

Da $x'' = f''(y)$ ebenfalls eine Funktion von y ist, so kann man die x'' -Linie in dem Koordinatensysteme der C -Linie auftragen und erhält dann die Belastung γ_π , indem man für den zugehörigen Punkt P die Abszisse $x'' = f''(y)$ der x'' -Linie durch die Ordinate y dividiert. (Abb. 7a—b.)

VIII. Bestimmt man (Abb. 7c) das statische Moment der gedachten Gewichte, die vertikal wirken sollen, vom Punkte $\pi_0 (\xi = 0)$ bis $\pi_\xi (\xi = \frac{y^2}{2})$ in bezug auf den Punkt π_ξ mit Hilfe eines Seileckes, so stellt das Produkt aus dem Abschnitte α_ξ der ersten und letzten Seite des Seileckes auf der Vertikalen durch π_ξ und der Polweite H bekanntlich das

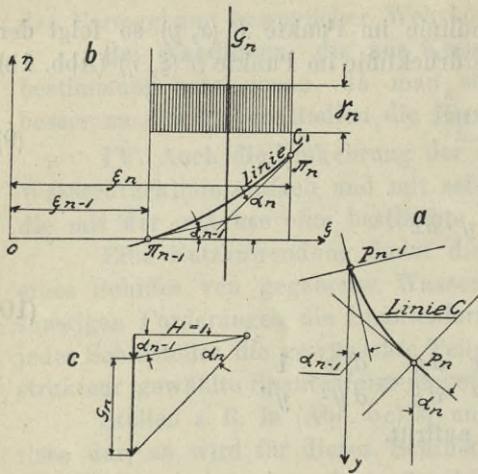


Abb. 6a—c.

gesuchte statische Moment dar. Wählt man $H = 1$, so wird die Wasserdrucklinie zum Seileck und der Abschnitt

$$a_{\xi} = A_y = \sum_0^{\xi} M \gamma_{\xi}. \tag{17}$$

Der Auftrieb auf eine beliebige zylindrische Stauwand kann demnach gedeutet werden als statisches Moment der zu dem Wandteil von dem Wasserspiegel des Oberwassers bis zum Punkte P gebildeten

Gewichte $\gamma = \frac{x''}{y}$ in bezug auf den Punkt π der Wasserdrucklinie.

Beispiel. Es sei die Wandlinie eine Parabel mit dem Scheitel im Ursprunge (also in der Wasseroberfläche) und horizontaler Symmetrieachse.

Die Gleichung lautet

$$y^2 = 2px, \quad x = \frac{y^2}{2p}, \quad x' = \frac{y}{p},$$

$$x'' = \frac{1}{p}.$$

Die Belastungshöhe wird

$$\gamma = \frac{1}{p \cdot y}.$$

Demnach sind die Koordinaten eines Punktes der Belastungskurve bezogen auf das Achsensystem der Wasserdrucklinie ($\xi \eta$)

$$\xi = \frac{y^2}{2}, \quad \eta = \frac{1}{p \cdot y}.$$

Die Belastungskurve berührt also die ξ - und η -Achse im Unendlichen und schließt mit der ξ -Achse die Fläche ein

$$F_{\gamma} = \frac{y}{p}.$$

IX. Während die bisher entwickelten Eigenschaften der Wasserdrucklinie an keine bestimmte Kurvengattung gebunden waren, soll nun ein bemerkenswerter Sonderfall betrachtet werden.

Die quadratische Proportionalität ist ein in der Mechanik häufig wiederkehrendes Naturgesetz. Wird z. B. ein Körper im luftleeren Raume geworfen, so wird er unter dem Einflusse der Schwerkraft eine Bahn beschreiben, die in ihrer vertikalen Projektion dem Gesetze der quadratischen Proportionalität folgt.

Ist (Abb. 8 a) $\xi = \frac{gt^2}{2}$, wobei g die Beschleunigung der Schwere, t die Dauer der Bewegung bis zu dem betreffenden Zeitpunkt bedeutet, und die Anfangsrichtung der Bewegung horizontal, dann entsteht die bekannte parabolische Bahn mit der Gleichung

$$\eta^2 = 2p \cdot \xi,$$

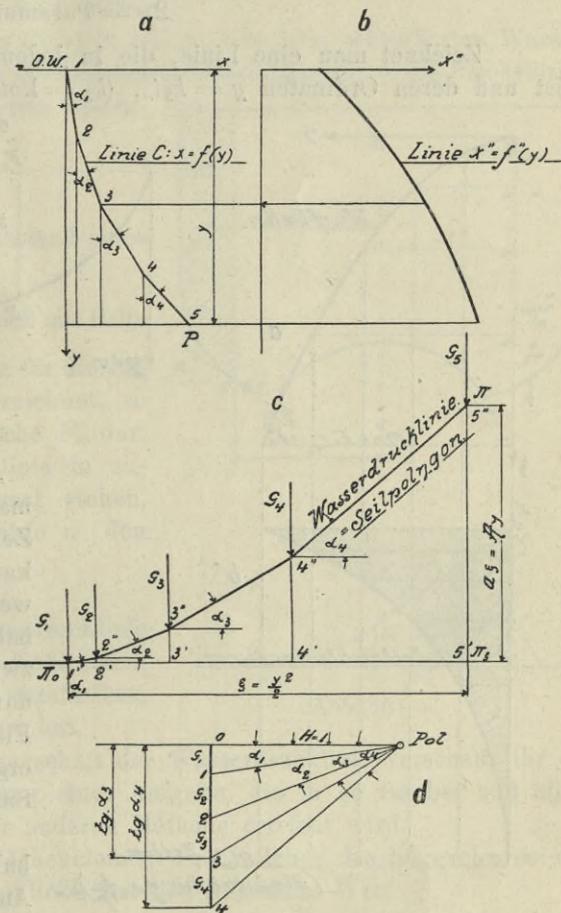


Abb. 7 a-d.

$$\xi = \frac{gt^2}{2},$$

$$\eta = \sqrt{p \cdot g} \cdot t,$$

$$\eta = k_1 t,$$

$$k_1 = \text{konstant} = \sqrt{p \cdot g},$$

$$2p = \text{Parameter der Parabel.}$$

Zeichnet man eine Linie, die in jedem Punkte normal zur Flugbahn gerichtet ist und deren Ordinaten $y = k_2 t_n$, ($k_2 = \text{konstant} = \sqrt{g}$) die Zeit darstellen, — die

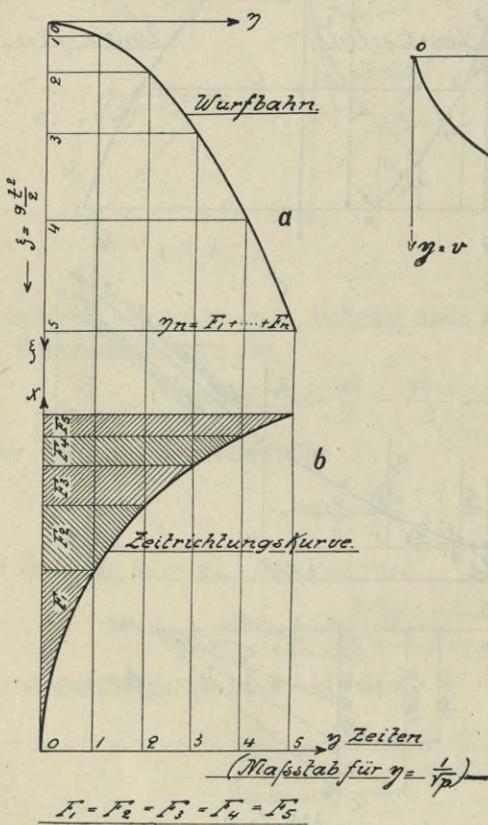


Abb. 8a-b.

X. Eine weitere Deutung erhält die Wasserdrucklinie in den phoronomischen Grundgleichungen.

Die Linie OP_1P_2 in (Abb. 9a) stelle die sog. Zeitgeschwindigkeitskurve dar. Die Koordinaten eines Punktes (π_1) der zugehörigen Wasserdrucklinie sind ξ_1 und η_1 .

$$\xi_1 = \frac{v_{P_1}^2}{2}, \quad \eta_1 = \int_0^{t_1} v \cdot dt = s_1,$$

wobei s_1 den zurückgelegten Weg bedeutet. ξ_1 kann als Zunahme der lebendigen Kraft (Arbeit) für die Masse $m = 1$ gedeutet werden.

Die Wasserdrucklinie gibt demnach für jeden Punkt der Bewegung den zurückgelegten Weg und die geleistete Arbeit an.

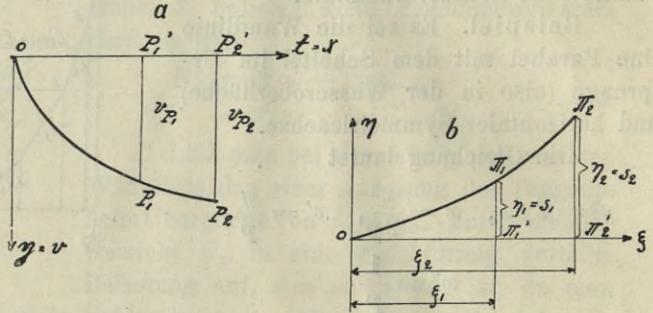


Abb. 9a-b.

man also analog zur sog. Zeitwegkurve als Zeitrichtungskurve bezeichnen könnte, — so kann diese Kurve als Wandlinie aufgefaßt werden, deren Wasserdrucklinie die Wurfbahn ist. Es stellt demnach η_n die Fläche zwischen Zeitrichtungskurve und x -Achse dar. Da aber $\eta_n = k_1 t_n$, so ist auch die Fläche proportional der Zeit t_n . Daraus ergibt sich der folgende, bemerkenswerte Satz:

Die Zeitrichtungskurve der Wurfbahn im luftleeren Raume (bei horizontaler Anfangsgeschwindigkeit) schließt für gleiche Zeitabschnitte mit der x -Achse gleiche Flächen ein. $F_1 = F_2 = F_3 = F_4 = F_5$ (Abb. 8b).

XI. Ein Beispiel für die Anwendung der Wasserdrucklinie soll an der Berechnung eines Hochbehälters gezeigt werden.

Bei Wasserbehältern (Bauart INTZE) mit gekrümmtem Boden bildet die Bestimmung der Beanspruchungen des Bleches in Richtung der Gefällslinien eine langwierige Arbeit. Es kommt dabei auf die Berechnung des Ausdruckes an

$$\sigma = \frac{G}{2 \pi x \cdot \delta \sin \alpha}.$$

Darin bedeuten: $G = F^2 2 \pi \rho$ das Gewicht des in (Abb. 10a) schraffierten Wasser- teiles, σ die Beanspruchung des Bleches in Richtung der Gefällslinien, δ die Blechstärke, ρ den Schwerpunktsradius der schraffierten Fläche, α und x die bezeichneten Größen.

$$\text{Dann wird } \sigma = \frac{F \cdot \rho}{x \cdot \delta \sin \alpha},$$

ρ kann genau genug als Schwerpunktsabstand eines Trapezes gefunden werden.

Der Ausdruck $\frac{F}{\sin \alpha}$ läßt sich schnell mit Hilfe der Wasserdrucklinie finden. Wird diese für die Begrenzungslinie des Wasserbehälters gezeichnet, so stellt jeweils die Ordinate $\pi \pi'$ die Fläche F_n dar. Da aber Wasserdrucklinie und Wandlinie in zugeordneten Punkten aufeinander normal stehen, so gibt die Normale in jedem Punkte π den Wert an $\frac{F_n}{\sin \alpha}$. (Abb. 10b.)

Man kann auch mit Hilfe der Wasserdrucklinie die zeitraubende Versuchsarbeit wesentlich abkürzen, die Begrenzungslinie des Behälters so abzuändern, daß das Volumen einen verlangten Wert hat.

XII. Eine bemerkenswerte Eigenschaft der Wasserdrucklinie verschafft ihr ein weites Anwendungsgebiet bei der Lösung einer Aufgabe, die in so rascher und übersichtlicher Weise wohl kaum von einer anderen Methode erreicht wird.

Das in (Abb. 11b) schraffierte Flächenelement $d\varphi$, welches das Bogenelement der Wasserdrucklinie mit der η -Achse einschließt, hat den folgenden Wert

$$d\varphi = \xi \cdot d\eta = \frac{y^2}{2} \cdot dF,$$

$$dF = dxy \quad (\text{Abb. 11a}),$$

$$\text{daher} \quad d\varphi = dx \frac{y^3}{2} = dF \cdot \frac{y^2}{2}. \quad (18)$$

$d\varphi$ stellt also bis auf einen konstanten Faktor das Trägheitsmoment des Flächenelementes dF in bezug auf die Achse x dar.

Es stellt demnach die Fläche $OII'O$ bis auf einen konstanten Faktor k das Trägheitsmoment der Fläche $O11'O$ in bezug auf die Achse x dar.

$$F_{OII'O} = k \cdot J_{O11'O}^x, \quad (19)$$

$$k = \text{konstant} = \frac{3}{2}.$$

$$\text{Da das Element des Trägheitsmomentes } dJ = dx \cdot \frac{y^3}{3} = dF \cdot \frac{y^2}{3},$$

so wird

$$J_{O11'O}^x = \frac{2}{3} \cdot F_{OII'O}. \quad (19')$$

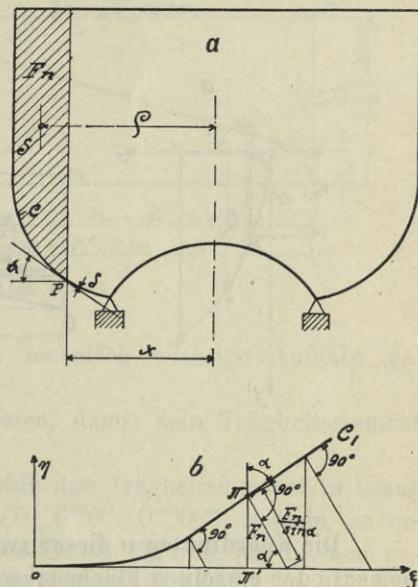


Abb. 10a-b.

Nun kann man aber die Planimetrierung der Fläche $OII'O$ wieder mit Hilfe der Wasserdrucklinie ausführen und erhält dann die in (Abb. 11c) dargestellte zweite Wasserdrucklinie, wobei der konstante Faktor k berücksichtigt werden kann, indem man statt

$$u_n = \frac{\xi_n^2}{2} \text{ den Wert aufträgt}$$

$$u_n = \frac{2}{3} \frac{\xi_n^2}{2} = \frac{2}{3} \cdot \frac{y_n^4}{8},$$

$$u_n = \frac{y_n^4}{12}.$$

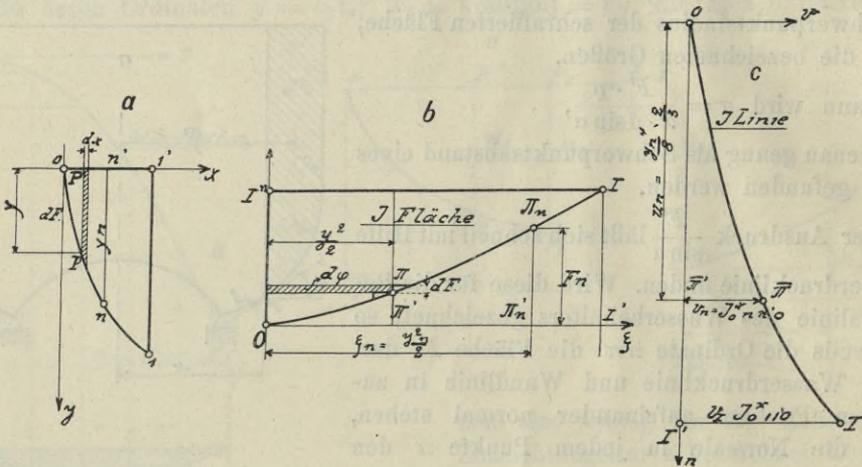


Abb. 11a-c.

Die Koordinaten v dieser zweiten Wasserdrucklinie stellen jeweils die Trägheitsmomente der einzelnen Flächenabschnitte in (Abb. 11a) in bezug auf die Achse xx dar.

$$\text{Z. B. } v_n = J_{0n'n'o}, \quad v_I = J_{011'o}. \quad (20)$$

Bei der praktischen Ausführung der Konstruktion kann die Zwischenfigur (Abb. 11b) fortgelassen werden und die J -Linie unmittelbar aus der gegebenen Linie konstruiert werden.

Man mache $u_n = \frac{y_n^4}{12}$; ferner jedes Linienelement der J -Linie parallel zu dem entsprechenden der gegebenen Linie. Z. B. das Linienelement in $\bar{\pi}$ parallel zu jenem in P . Die J -Linie ist dann gewissermaßen eine Parallelkurve zur Linie $O1$, deren Abszissen entsprechend verzerrt sind.

Wie einfach und genau die Methode in einem Sonderfalle wird, zeigt (Abb. 12).

Es soll das Trägheitsmoment des unregelmäßigen Viereckes $O123$ in bezug auf die Achse xx gesucht werden.

Man mache in (Abb. 12b).

$$O'I' = u_I = \frac{1}{12} \cdot 2^4 = \frac{4}{3} \text{ cm},$$

$$O'II' = u_{II} = \frac{1}{12} \cdot 3^4 = 6,75 \text{ cm}.$$

Die Werte sind im Maßstabe 1:2 aufgetragen, also

$$u_I = 0,666 \text{ cm},$$

$$u_{II} = 3,37 \text{ cm},$$

$$u_{III} = 0,0 \text{ cm}.$$

XIII. Die unter II entwickelte Eigenschaft der W-Linie.

$$\xi = \frac{y^2}{2}, \quad \eta = \int_0^y y \cdot dx$$

gestattet eine Nutzenanwendung in der Theorie der Einflußlinie.

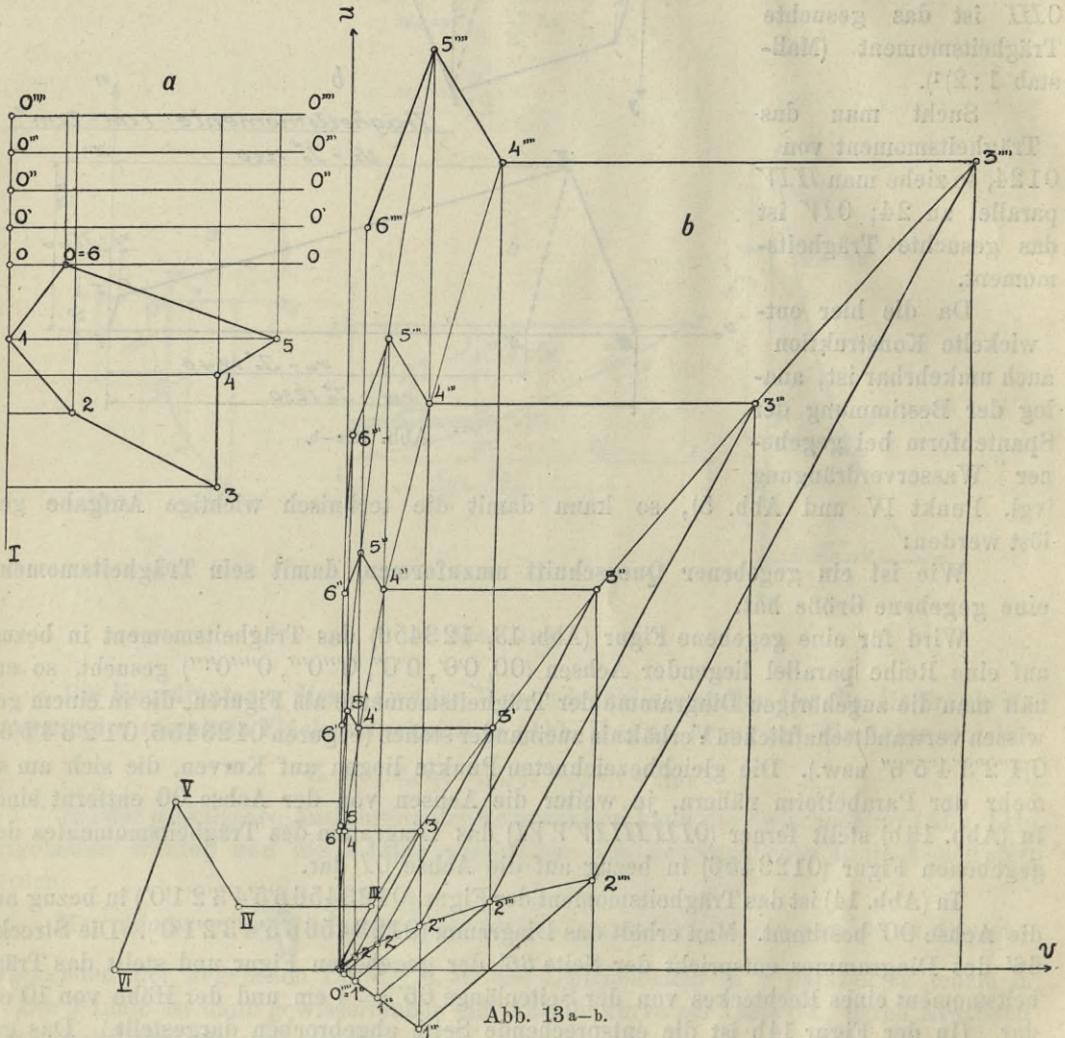


Abb. 13 a-b.

Die extremen Werte einer mit Hilfe von Einflußlinien gesuchten Funktion folgen aus dem Satze $+S_{\max} = +F \cdot p$, $-S_{\max} = -F \cdot p$, wobei gleichförmig verteilte Belastung vorausgesetzt sei und $+F$, $-F$, die positive, bzw. negative Einflußfläche, $+S_{\max}$, $-S_{\max}$ das positive bzw. negative Extrem der gesuchten Funktion bedeuten. Besteht z. B. bei einem statisch unbestimmten Tragwerke die Einflußlinie für die gesuchte Funktion aus einer Kurve und geraden Linienstücken, so ergibt sich das folgende in (Abb. 15 a-b) dargestellte Verfahren zur Gewinnung der Extremwerte.

Man trage zur Einflußlinie (X-Linie) (Abb. 15 a) der statisch nicht bestimmbar Größe X die W-Linie auf (Abb. 15 b). Sodann mache man

$$\xi_n = \frac{y_n^2}{2}, \quad \xi_m = \frac{y_m^2}{2}$$

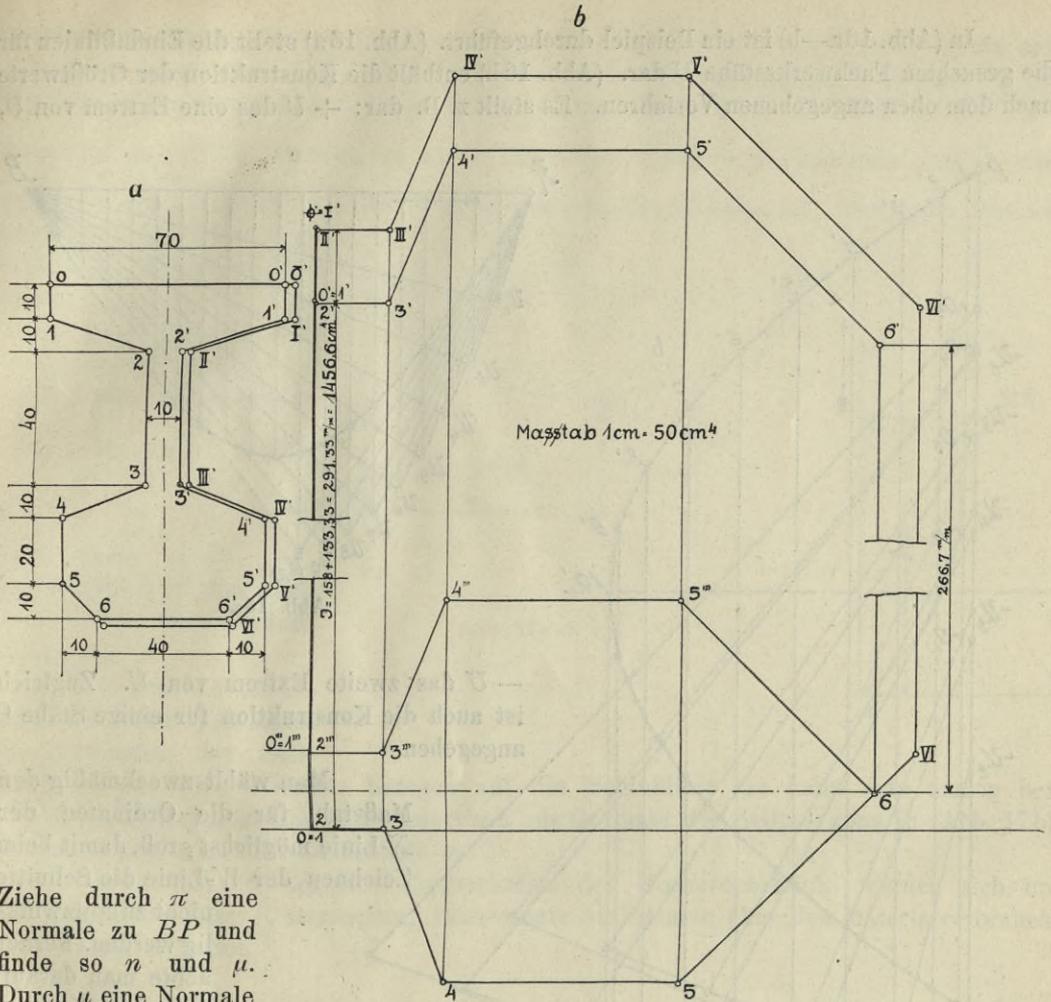


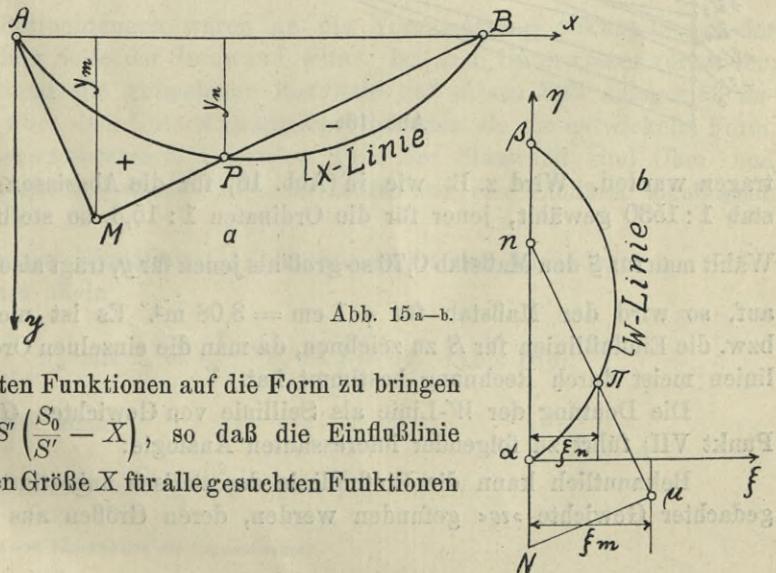
Abb. 14 a-b.

Ziehe durch π eine Normale zu BP und finde so n und μ . Durch μ eine Normale auf AM gibt N . $n\beta$ stellt dann den Wert

$$-\frac{S_{\max}}{p} \text{ dar, ferner } N\alpha \text{ den Wert } +\frac{S_{\max}}{p}$$

(p = Belastung für das lfd. m). Man kann auf diese Weise für alle Stäbe die Werte $\pm S_{\max}$ in einer Figur auf raschem Wege finden. Es ist daher zweckmäßig, die gesuchten Funktionen auf die Form zu bringen

$$S = S_0 - S'X; \quad S = S' \left(\frac{S_0}{S'} - X \right), \text{ so daß die Einflußlinie der statisch unbestimmten Größe } X \text{ für alle gesuchten Funktionen unverändert bleibt.}$$



In (Abb. 16a—b) ist ein Beispiel durchgeführt. (Abb. 16a) stellt die Einflußlinien für die gesuchten Fachwerksstäbe U dar. (Abb. 16b) enthält die Konstruktion der Größtwerte nach dem oben angegebenen Verfahren. Es stellt z. B. dar: $+U$ das eine Extrem von U ,

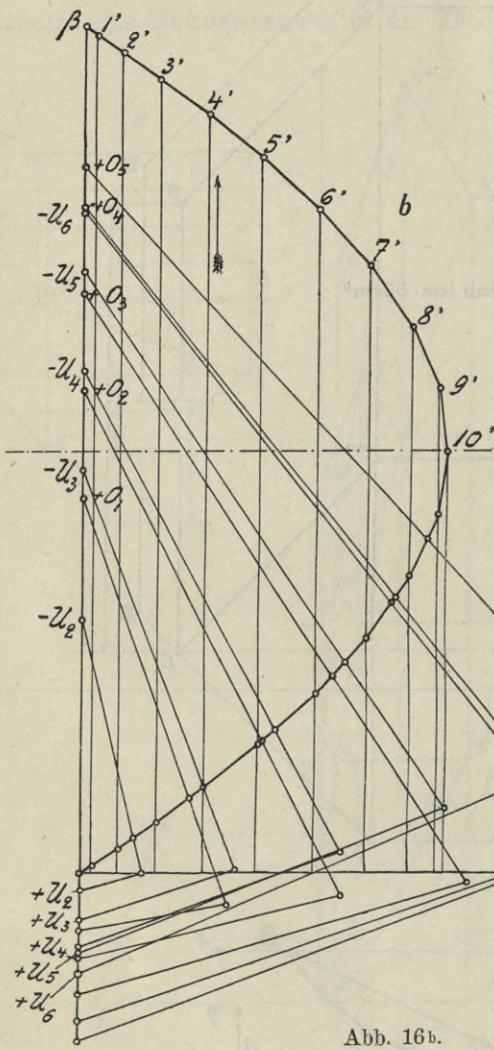


Abb. 16b.

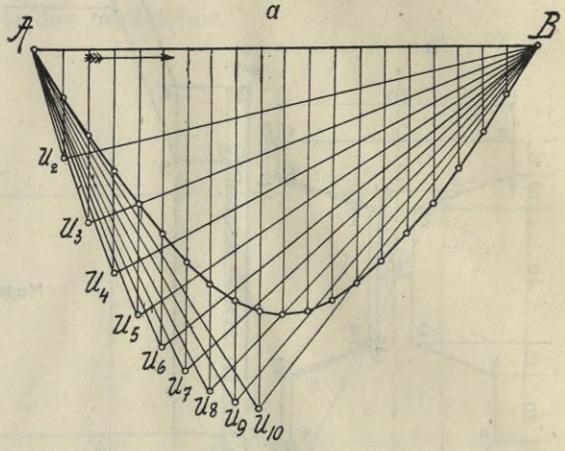


Abb. 16a.

— U das zweite Extrem von U . Zugleich ist auch die Konstruktion für einige Stäbe 0 angegeben.

Man wählt zweckmäßig den Maßstab für die Ordinaten der X -Linie möglichst groß, damit beim Zeichnen der W -Linie die Schnitte nicht zu spitzwinklig werden. Ferner achte man darauf, daß die Werte η der W -Linie Flächen darstellen und sich in demselben Maßstabe ergeben, in welchem die Ordinaten aufgetragen wurden.

Wird z. B. wie in (Abb. 16) für die Abszissen der X -Linie der Maßstab 1 : 1530 gewählt, jener für die Ordinaten 1 : 15,3, so stellt $1 \text{ cm}^2 = 2,34 \text{ m}^2$ dar. Wählt man für ξ den Maßstab 0,76 so groß als jenen für y , trägt also statt $\frac{y^2}{2}$ den Wert $\frac{y^2}{2,63}$ auf, so wird der Maßstab für η $1 \text{ cm} = 3,08 \text{ m}^2$. Es ist nicht nötig, die X -Linie bzw. die Einflußlinien für S zu zeichnen, da man die einzelnen Ordinaten, bzw. Richtungslinien meist durch Rechnung bestimmt hat.

Die Deutung der W -Linie als Seillinie von Gewichten $G_n = \text{tg } \alpha_n - \text{tg } \alpha_{n-1}$ (vgl. Punkt VII) führt zu folgender interessanten Analogie:

Bekanntlich kann die Einflußlinie der statisch unbestimmten Größe als Seillinie gedachter Gewichte »w« gefunden werden, deren Größen aus der Formänderung des

Tragsystems folgen. Da nun zugeordnete Linienelemente der X -Linie und W -Linie aufeinander normal stehen, so stimmen die in Punkt VII entwickelten Gewichte G mit den » w «-Gewichten überein. Die W -Linie kann daher auch als Seillinie der » w «-Gewichte angesehen werden, die aber (Abb. 17a–b) immer im Abstände $\xi = \frac{y^2}{2}$ vom

Punkte α angreifen, wenn y ihr Abstand von A in der X -Linie ist. Man kann nämlich statt auf dem eben entwickelten Wege die Extremwerte von S auch auf folgende Weise finden. Man betrachte die Linie AB als y -Achse, und mache in

(Abb. 17b) $\xi = \frac{y^2}{2}$; speziell

$$\xi_n = \frac{y_n^2}{2}; \quad \xi_m = \frac{y_m^2}{2}.$$

Zieht man ferner $\alpha\pi'' \perp AP$, dann stellt $\pi\pi''$ den positiven Teil der Einflußfläche dar.

Wurden bei der X -Linie die Werte X gedeutet als Ordinaten des Seilpolygons der » w «-Gewichte bezogen auf die Schlußlinie, so kann man analog bei der W -Linie den gesuchten Extremwert $\pi\pi''$ als Ordinate des Seilpolygons in (Abb. 17b) deuten, bezogen auf die Schlußlinie $\alpha\pi''$.

Neben den entwickelten Eigenschaften der Wasserdrucklinie werden sich im III. Abschnitte dieser Untersuchung interessante Aufschlüsse über den Materialverbrauch von Wehren ergeben.

B. Ober- und Unterwasser vorhanden.

Die bisherigen Betrachtungen waren an die Voraussetzung geknüpft, daß der Wasserdruck nur auf einer Seite der Stauwand wirkt. Ist auch Unterwasser vorhanden, so lassen sich selbstredend die gefundenen Resultate auf diesen Fall sinngemäß anwenden. In dem Teile über dem Unterwasserspiegel behalten sie die entwickelte Form. In dem unter dem Unterwasserspiegel liegenden Teile der Stauwand sind Ober- und Unterwasser in ihrer Wirkung getrennt zu untersuchen und ihre Einflüsse algebraisch zu addieren.

Für den Punkt P der Wandlinie C (Abb. 18a) ergibt sich folgendes:
Wirkung des Oberwassers allein

$$\pi_0 \text{ mit } \xi_0 = \frac{y^2}{2}; \quad \eta_0 = \int_0^x y \cdot dx \quad (\text{Abb. 18b});$$

Wirkung des Unterwassers allein

$$\pi_u \text{ mit } \xi_u = \frac{(y-d)^2}{2}; \quad \eta_u = \int_e^x (y-d) \cdot dx.$$

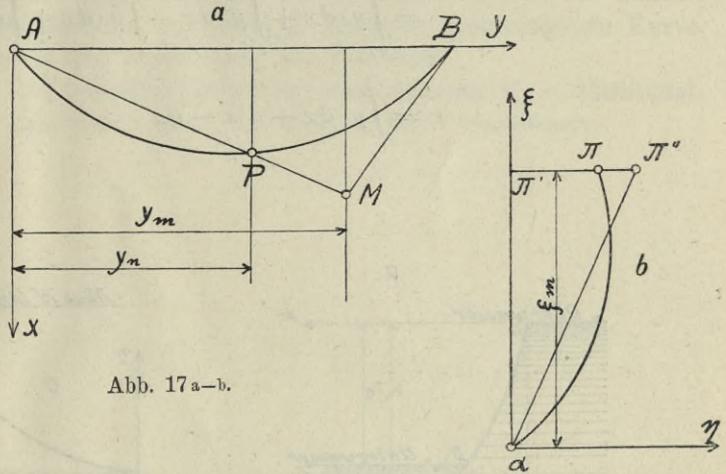


Abb. 17 a–b.

Daher bei gleichzeitiger Wirkung des Ober- und Unterwassers

$$\pi \text{ mit } \eta = \eta_0 - \eta_u$$

$$= \int_0^x y \cdot dx - \int_e^x (y - d) \cdot dx$$

$$= \int_0^e y \cdot dx + \int_e^x y \cdot dx - \int_e^x y \cdot dx + \int_e^x d \cdot dx$$

$$\eta = \int_0^e y \cdot dx + d(x - e). \quad (21)$$

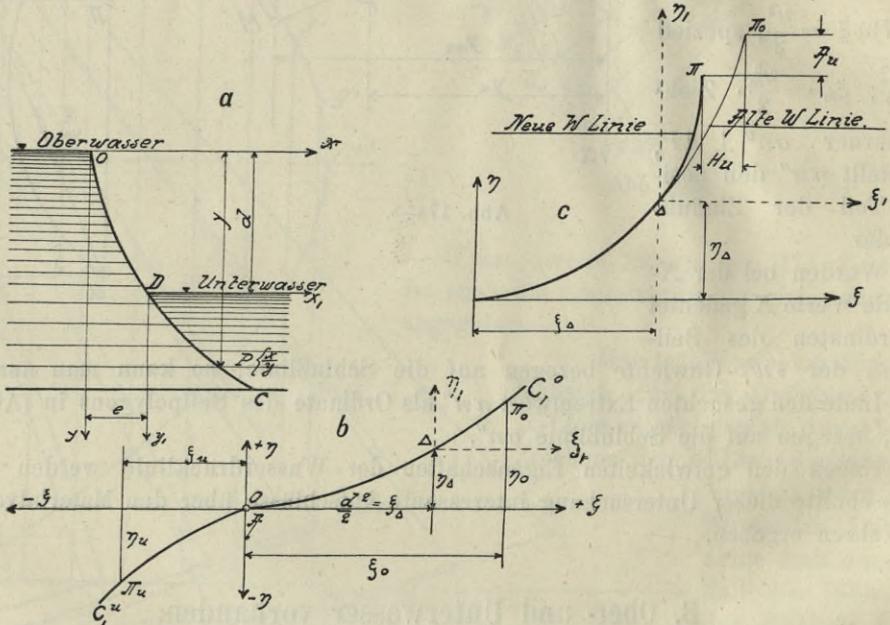


Abb. 18a-c.

Bezeichnet man mit Δ den Punkt der Wasserdrucklinie, der D zugeordnet ist, so werden die Koordinaten eines Punktes der im Unterwasserbereiche liegenden Wasserdrucklinie (Abb. 18c)

$$\eta = \eta_{\Delta} + d(x - e). \quad (22)$$

$$\xi = \frac{y^2}{2} - \frac{(y - d)^2}{2}$$

$$= \frac{1}{2}(y^2 - y^2 + 2dy - d^2)$$

$$\xi = \xi_{\Delta} + d(y - d). \quad (23)$$

Transformiert man das Koordinatensystem der Wandlinie so, daß der neue Ursprung nach D kommt, ferner jener der Wasserdrucklinie nach Δ , so wird die Gleichung der Wandlinie

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= (x - e) \\ y_1 &= (y - d) \end{aligned} \right\} \quad (24)$$

jene der Wasserdrucklinie

$$\left. \begin{aligned} \xi_1 &= d(y - d) = d \cdot y_1 \\ \eta_1 &= d(x - e) = \bar{d} \cdot x_1 \end{aligned} \right\} \quad (25)$$

Die Koordinaten der Wasserdrucklinie stimmen also bis auf den konstanten Faktor d und die Vertauschung von Ordinate und Abszisse mit jenen der Wandlinie überein.

Für den unter dem Unterwasser liegenden Teil der Stauwand ist die Wasserdrucklinie eine der Wandlinie ähnliche, im d -fachen Maßstabe aufzutragende Kurve, deren Elemente normal stehen zu den zugehörigen der Wandlinie.

Der Endpunkt π (Abb. 18c) verschiebt sich daher nach links um $H_u =$ Horizontaldruck des Unterwassers und nach unten um $A_u =$ Auftrieb des Unterwassers.

II. Abschnitt.

Praktisch verwertbare Formen der Stauwand.

Allgemeine Entwicklung.

Wie bereits in der Einleitung erwähnt wurde, sollen im folgenden 3 Wehrarten untersucht werden: das Schützen-, Walzen- und Segmentwehr, die eine gewisse Verwandtschaft aufweisen und in neuerer Zeit häufig miteinander in Wettbewerb treten, wenn es sich darum handelt, große Öffnungen von Gerinnen durch einen einzigen Verschlusskörper rasch und sicher zu verschließen und wieder freizulegen. Dabei sind außer den theoretischen Erwägungen vornehmlich wasserbauliche und wirtschaftliche Gesichtspunkte zu berücksichtigen.

Die Forderungen, welche die Praxis in verschiedenen Fällen an einen beweglichen Staukörper stellt, sind so reichhaltig und oft durch ganz bestimmte, dem Sonderfalle eigentümliche Verhältnisse bedingt, daß eine erschöpfende allgemeine Formulierung derselben kaum möglich sein dürfte. Stets wird aber von einem beweglichen Wehre gefordert, daß es den Stau in möglichst vollkommener Weise hält, und daß die Betriebssicherheit unter allen Umständen gewahrt bleibt. Erstere Forderung hängt wesentlich ab von der Art der Konstruktion und der Dichtung.

Die Forderung der Betriebssicherheit läßt in mancher Beziehung einen Vergleich der drei Wehrarten zu. Im wesentlichen hängt die Betriebssicherheit von der Art der Beweglichkeit und den dazu erforderlichen konstruktiven Anordnungen ab. In einem gegebenen Falle wird bereits die Form der Stauwand und die damit auftretenden Kräfte für die Art der Beweglichkeit maßgebend sein.

Um allgemeine Gesichtspunkte zu entwickeln, werden die beim Heben bzw. Senken des Staukörpers auftretenden Bewegungen auf Drehungen um einen momentanen Drehpunkt zurückgeführt.

Dabei sind folgende Fälle zu unterscheiden:

1. Der Drehpunkt liegt im Unendlichen (Schützenwehr).
2. Er liegt im Endlichen und verändert seine Lage im Verlaufe der Bewegung (Walzenwehr).
3. Er liegt im Endlichen und behält seine Lage im Verlaufe der Bewegung bei (Segmentwehr).

Die jeweilige Bewegungsart ist durch den Grundsatz bedingt, die gewünschte Lage des Staukörpers mit möglichst geringem Kraftaufwande und so rasch als möglich zu erreichen.

Wird für H der Wert eingesetzt, so wird

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{2t_0}{3} - \frac{t_u^2}{3(t_0 + t_u)}, \\ h &= \eta + c = \frac{2}{3}t_0 - \frac{t_u^2}{3(t_0 + t_u)} + c, \\ M_H &= \frac{t_0^2 - t_u^2}{2} \left(\frac{2}{3}t_0 + c \right) - \frac{t_u^2(t_0 - t_u)}{6}. \end{aligned} \quad (5)$$

Das Integral (Gl. 3) ist aber eine Funktion der Form der Stauwand und kann bei gegebener Gleichung derselben auf rechnerischem Wege ermittelt werden. Liegt eine unregelmäßig geformte Stauwand vor, so kann der Wert des Integrales auf graphischem Wege ermittelt werden (Abb. 20a—b).

Man zerlege die Wand durch genügend nahe aneinanderliegende Schnitte in ebene Flächen und konstruiere die Wasserdrucklinie. Durch Projektion der einzelnen Elemente der Wasserdrucklinie auf eine vertikale Achse ergeben sich die elementaren Auftriebswerte ΔA . Mit Hilfe eines Seil-

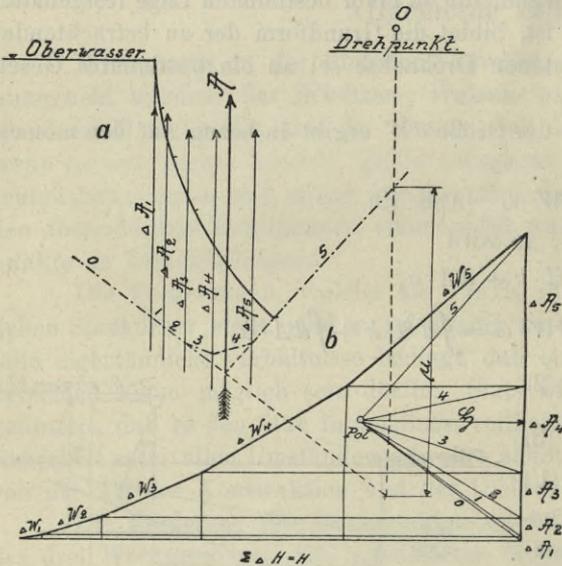


Abb. 20a—b.

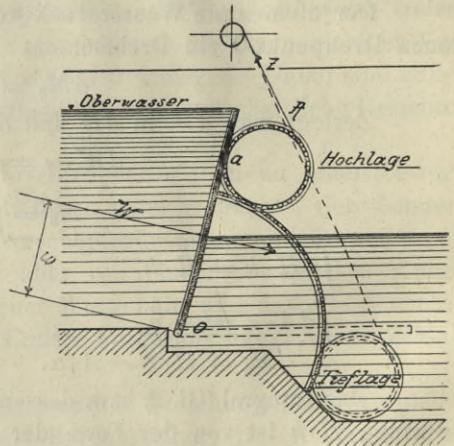


Abb. 21.

polygones können diese bekanntlich zu einer Resultierenden vereinigt werden und das Produkt $\bar{S} \cdot \mu$ ergibt das gesuchte Moment

$$\int dA \cdot \alpha \cong \bar{S} \cdot \mu. \quad (6)$$

In den weitaus meisten Fällen der Praxis sind die Stauwände eben oder nach Kreisbogen gekrümmt. Dann vereinfacht sich die Bestimmung des Momentes M_0 sehr, da die Resultierende für jeden ebenen und kreisförmig gekrümmten Wandteil leicht rechnerisch der Lage und Größe nach festgelegt werden kann.

Das Moment M_0 bildet ein wesentliches Kennzeichen eines Wehres und spielt besonders bei großen Wasserdrücken eine wichtige Rolle. Es muß nach Tunlichkeit getrachtet werden, dieses Moment für den Antriebsmechanismus auszuschalten, oder sogar zur Entlastung desselben in gewissen Grenzen zu benutzen. Jedenfalls muß es aber als verfehlt bezeichnet werden, wenn durch M_0 der Antriebsmechanismus belastet wird.

Letzteres tritt ein bei der in (Abb. 21) skizzierten Art des Klappenwehres. Das Moment M_0 , das hier die Klappe um den Punkt O zu drehen trachtet, ist $M_0 = W \cdot \omega$.

Um die Klappe zu heben, die im Punkte a auf dem walzenförmigen Tragkörper A aufliegt, muß der Körper A , der zugleich die Haupttragkonstruktion bildet, gegen den Wasserdruck gehoben werden. Dazu ist ein Zug Z erforderlich. Stauhöhe und Wehrrbreite dürfen nicht allzu groß sein, da sonst dieser Staukörper unwirtschaftlich wird.

Sonderfälle.

Wie gestalten sich diese Verhältnisse bei den zu betrachtenden Wehrarten?

A. Das Schützenwehr.

Wie bereits eingangs erwähnt wurde, liegt der momentane Drehpunkt im Unendlichen. Der Wasserdruck ist bei genauer vertikaler Lage der Stauwand und bei Verwendung von ebenen Blechen wagerecht gerichtet, geht daher durch den unendlich fernen Drehpunkt. Demnach ist das Moment

$$M_0 = 0.$$

Die Zugkraft Z hat also keinen Wasserdruck zu überwinden, vielmehr nur die Reibungswiderstände und das Gewicht des Staukörpers. Die Reibungswiderstände erreichen bei der tiefsten Lage des Staukörpers ihr Maximum. Bei größeren Anlagen muß auf möglichste Reduktion der Reibung gesehen werden, was durch bewegliche Rollen oder besser durch Rollenwagen geschieht.

Die Reibung spielt hier eine größere Rolle als bei den später zu besprechenden Wehrarten, da sie nahezu in derselben Ebene wirkt wie die Zugkraft Z , demnach zur Überwindung derselben keine Hebelübersetzung zur Verfügung steht. Die Reibung beeinflusst daher in hohem Maße die Dimensionen der bei großen Anlagen kostspieligen Zugorgane (GALLSche Ketten, Drahtseile usw.).

Außer den Reibungswiderständen wirkt noch das Gewicht des Schützes dem Zuge entgegen, ferner die Widerstände, herrührend von der Eisbildung in den Nischen und an der Wehrsohle, von treibenden Blöcken, etwa abgelagerten Schwimmkörpern usw. Gerade im ersten Augenblick der Bewegung, wo auch die Reibung ihren Größtwert hat, können diese unvorhergesehenen Widerstände voll zur Wirkung kommen, so daß dieser Zustand für die Dimensionierung des Antriebsmechanismus maßgebend ist.

So groß auch die Vorteile des Schützenwehres bei kleineren Gerinnebreiten sind, so ist bei großen Breiten und Wasserdrücken auf den Umstand Rücksicht zu nehmen, daß für den Fall des Anhubes, wo für nie ganz zu übersehende Zwischenfälle ein Überschuß an Antriebskraft vorhanden sein sollte, diese durch die normalen Widerstände erschöpft ist.

B. Das Walzenwehr.

Dabei sind zwei Fälle zu unterscheiden:

- a) Die Walze wird zugleich als Stau- und Tragkörper ausgebildet.
- b) Die Walze bildet nur den Tragkörper und zur Haltung des Stauens wird ein besonderes Schild vorgesetzt.

Fall a.

Dieser Fall umfaßt die Mehrzahl der ausgeführten Walzenwehre und kam auch bei der ersten Anlage in Schweinfurt zur Anwendung¹⁾.

¹⁾ M. CARSTANJEN, Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-V. 1903.

Infolge der kreiszylindrischen Form der Stauwand geht der resultierende Wasserdruck durch den Mittelpunkt der Walze und erzeugt in bezug auf den momentanen Drehpunkt (Rollbahn) ein Moment $M_0 = W \cdot \omega$ (Abb. 22).

Ist dieses Moment positiv (im Sinne des Uhrzeigers drehend), dann entsteht eine Entlastung des Zugorganes. Das Entgegengesetzte träte bei negativem M_0 ein, ein Fall, der durch entsprechende Ausbildung der Wälzbahn leicht vermieden werden kann. Das Gewicht G der Walze lenkt die Kraft W nach der Richtung der Resultierenden R ab. Von dem Vorzeichen des so entstehenden Momentes $M_0 = R \cdot r$ hängt es ab, ob Maßnahmen getroffen werden müssen, um ein selbsttätiges Aufdrehen des Staukörpers durch den Wasserdruck zu verhindern.

In dem Grenzfall $M_0 = 0$, wenn R durch O geht, genügt theoretisch die Kraft $Z = 0$, um den Staukörper in Bewegung zu bringen. Die Änderung des Momentes M_0 auf eine wünschenswerte Größe kann erfolgen durch Änderung von R (Ausbildung von Wasserballasträumen) oder von r (entsprechende Krümmung der Walzbahn).

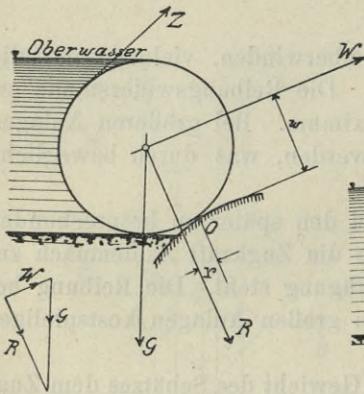


Abb. 22.

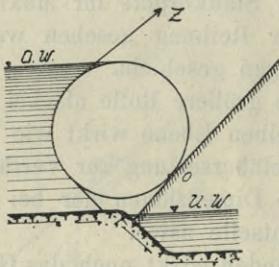


Abb. 24.

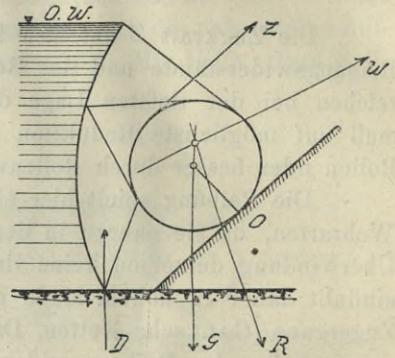


Abb. 23.

Das Moment M_0 gleich Null zu machen, wäre ja theoretisch wünschenswert, da für den Augenblick des Anhebens der große Überschuß an Antriebskraft für unvorhergesehene Fälle zur Verfügung stände. Indes ist dies praktisch unausführbar im Interesse einer guten Dichtung an der Wehrsohle und zur Verhütung schwingender Bewegungen des Staukörpers in dieser indifferenten Gleichgewichtslage.

Fall b.

Durch entsprechende Formgebung des vorgesetzten Stauschildes (Abb. 23) ist es möglich, dem resultierenden Wasserdruck W jene Größe und Richtung zu geben, welche zur Erzeugung eines gewissen Dichtungsdruckes bei D , zugleich aber einer entsprechenden Entlastung des Zugorganes Z im ersten Teile der Bewegung, wünschenswert erscheint. Diese Ausführungsform wurde z. B. bei der Wehranlage bei Kissingen angewendet.¹⁾

Schießlich sei noch der Fall erwähnt, wo zur Ablenkung des resultierenden Wasserdruckes nach abwärts nur der unterste Teil der Walze schildförmig ausgebildet ist (Abb. 24). (Ausführung bei Eusokoski in Finnland und beim Neckarwestheimer Wehr.)

Wie vorteilhaft das Moment M_0 für den Antrieb sein kann, beweisen die Angaben des oben erwähnten Aufsatzes. Beim Neckarwestheimer Wehr ist das Windwerk

¹⁾ NEUFFER, Das Walzenwehr und die Wasserkraftanlage des Württembergischen Portlandzementwerkes Lauffen. Zeitschr. d. V. d. Ing. 1908. Nr. 47.

für einen Kettenzug von 24 t berechnet. Zum Anheben der Walze aus ihrer untersten Lage ist ein Zug von nur 8,6 t nötig, der weiter auf 24 t steigt. Zum ersten Anheben der Walze sind somit $24 - 8,6 = 15,4$ t überschüssige Kraft für unvorhergesehene Fälle zur Verfügung. Bei dem Walzenwehr im Hauptarm des Maines zu Schweinfurt wächst der Seilzug bei normalem Oberwasser von 14 t auf 31 t.

C. Das Kreissegmentwehr.

Die gewonnenen Grundsätze sollen nun auf das Segmentwehr übertragen werden, um die Gesichtspunkte zu entwickeln, die bei Anwendung dieser Wehrart bei großen Breiten und Stauhöhen zu beachten sind.

Beim Segmentwehre verschwindet das Moment M_0 (herrührend vom Wasserdrucke) für jede Lage des Staukörpers. Der Grund hierfür liegt in der kreiszylindrischen Form der Stauwand und in der Ausbildung des Krümmungsmittelpunktes zum Drehpunkte.

Die praktische Ausführung wird aber manchmal eine Abweichung von der theoretischen Form erfordern.

1. Beispiel.

Das Kreiszyylinder-Segmentwehr erhält einen exzentrischen Aufsatz.

Der Wasserdruck R_1 (Abb. 25a) auf die Wand bc geht durch den Krümmungsmittelpunkt O_1 der Stauwand. Der Wasserdruck R_2 auf die Eisklappe ab geht durch den zugehörigen Krümmungsmittelpunkt O_2 . Durch diese Anordnung wird die Resultierende von R_1 und R_2 (Kraft R) vom Drehpunkte O_1 abgelenkt und es entsteht ein Drehmoment $M_0 = R_2 \cdot r_2$, das dem Öffnen entgegenwirkt.

Indes hat man ein einfaches Mittel, dieses Moment M_0 unschädlich zu machen. Wird der Drehpunkt des Wehres in O statt in O_1 angenommen (O liegt auf der Resultierenden von R_1 und R_2), dann ist das Moment $M_0 = 0$; nachdem der Aufsatz über Wasser gehoben ist, wird die ablenkende Wirkung nicht mehr ausgeübt und es entsteht sogar ein positives Moment M_0 .

Ist e das Maß der Exzentrizität, so wird

$$R \cdot e = R_2 \cdot r_2$$

$$e = \frac{R_2 \cdot r_2}{R}$$

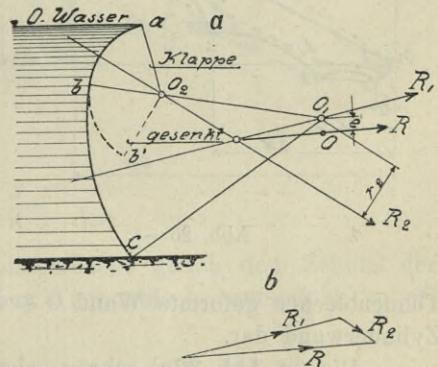


Abb. 25a—b.

Da meist R im Vergleiche zu R_2 sehr groß ist, fällt e nur sehr klein aus.

Die Anordnung eines exzentrischen Drehpunktes kann auch dazu benutzt werden, die Aufzugsketten beim Anheben zu entlasten.¹⁾

2. Beispiel.

Es kommen für die Stauwand Tonnenbleche statt einheitlich in einer Zylinderfläche liegende zur Verwendung.

Es entsteht dann eine aus mehreren Kreiszyylinderflächen (01, 12, 23, 34) zusammengesetzte Wand (Abb. 26a); für jeden Teil derselben geht die Resultierende durch den zugehörigen Krümmungsmittelpunkt.

¹⁾ Vgl. TAINTOR-Schützen im Roch-River (Illinois-Mississippi-Kanal) (Handb. d. Ing.-Wissenschaften, III. Teil, II. Bd., S. 329).

Dadurch entsteht

$$M_0^1 = R_1 \cdot r_1, \quad M_0^2 = R_2 \cdot r_2 \dots$$

$$M_0 = \Sigma M_0^n = \Sigma R \cdot r = R_1 \cdot r_1 + R_2 \cdot r_2 + \dots$$

Zeichnet man (in Abb. 26b) zu der aus Tonnenblechen gebildeten Stauwand die Wasserdrucklinie, so zeigt diese folgendes: Jedem Teile der Stauwand (01, 12 ... voll ausgezogen) entspricht eine (voll ausgezogene) Wasserdrucklinie (0I', I'II' ...). Die geraden Strecken 0I', I'II' ... geben nach Größe und Richtung die resultierenden Wasserdrücke auf die Wandteile 01, 12 ... an. Da-

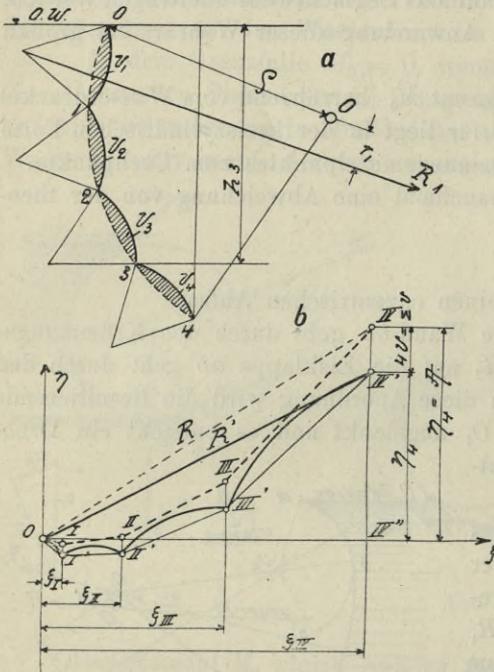


Abb. 26a-b.

gegen stellen die gekrümmten (voll ausgezogenen) Verbindungslinien der Punkte 0I', I'II' ..., die gesamten auf die zugehörigen Tonnenbleche wirkenden Wasserkräfte dar.

Würden statt der Tonnenbleche einheitlich nach der Zylinderfläche geformte Bleche verwendet werden (punktierte Wandlinie), dann würde die (punktierte) kontinuierliche Wasserdrucklinie entstehen (Linie 0I'II'III'IV').

Vergleicht man die Wasserdrucklinie 0I'II'III'IV' mit der Linie 0I'II'III'IV', so findet man folgende Beziehungen.

Die Werte $\xi_I, \xi_{II}, \xi_{III} \dots$ müssen für die Punkte I und I', II und II', III und III', IV und IV' übereinstimmen, da $\xi_n = \frac{h_n^2}{2}$ unabhängig ist von der Form der Stauwand.

Dagegen werden die Werte von A für I und I', II und II', III und III', IV und IV' voneinander abweichen. So stellt z. B. $\eta'_4 = IV''IV'$ den Auftrieb für die aus

Tonnenblechen geformte Wand 0-4, $\eta_4 = IV''IV$ dagegen den Auftrieb für die reine Zylinderwand dar.

Die (in Abb. 26a) schräg schraffierte Fläche muß diesen Unterschied darstellen

$$\eta_4 - \eta'_4 = v_1 + v_2 + v_3 + v_4.$$

Im allgemeinen wird aus Ausführungsgründen

$$v_1 = v_2 = v_3 = v_4 = v,$$

daher

$$\eta_4 - \eta'_4 = 4v,$$

$$\eta_3 - \eta'_3 = 3v,$$

$$\eta_2 - \eta'_2 = 2v,$$

$$\eta_1 - \eta'_1 = v.$$

Bei der Verwendung von Tonnenblechen entsteht also ein Auftrieb $A - 4v$ und eine Resultierende

$$R' = \sqrt{(A - 4v)^2 + H^2},$$

bei der reinen Zylinderwand

$$R = \sqrt{A^2 + H^2}.$$

Die Resultierende wird also um den Auftriebswert $4v$ von ihrer ursprünglichen Lage abgelenkt.

Nimmt man mit genügender Genauigkeit die Schwerpunkte der Volumina v im Abstände R vom Mittelpunkte O an, so wird der Unterschied der Momente M^0 für das n^{te} Blech (Abb. 27)

$$M_n^0 - M_n^{0'} = v \cdot R \cdot \cos \left[\gamma + (2n - 1) \frac{\alpha}{2} \right].$$

In dieser Gleichung bedeutet M_n^0 das Moment des n^{ten} Bleches bei genau zylindrischer Form, $M_n^{0'}$ bei Anwendung von Tonnenblechen.

Beim Kreiszyylindersegmentwehre ist

$$M_n^0 = 0,$$

daher wird

$$M_n^{0'} = v \cdot R \cdot \cos \left[\gamma + (2n - 1) \frac{\alpha}{2} \right].$$

Das gesamte Moment wird

$$\Sigma M_n^{0'} = v \cdot R \cdot \Sigma \cos \left[\gamma + (2n - 1) \frac{\alpha}{2} \right].$$

Der Wert von v ergibt sich aus einer einfachen geometrischen Beziehung

$$\begin{aligned} v &= v_1 + v_2 \\ &= \frac{R^2 \cdot \alpha}{2} - 2 \frac{R^2}{2} \sin \frac{\alpha}{2} \cdot \cos \frac{\alpha}{2} + \frac{\beta \cdot \varrho^2}{2} - 2 \cdot \frac{1}{2} \varrho^2 \sin \frac{\beta}{2} \cdot \cos \frac{\beta}{2} \\ &= \frac{R^2}{2} (\alpha - \sin \alpha) + \frac{\varrho^2}{2} (\beta - \sin \beta). \end{aligned}$$

Ferner gilt die Beziehung

$$R \cdot \sin \frac{\alpha}{2} = \varrho \cdot \sin \frac{\beta}{2}.$$

Setzt man den Pfeil der Krümmung der Tonnenbleche gleich dem Zehntel der Blechbreite, was dem Mittelwerte der gebräuchlichen Tonnenbleche entspricht, so erhält man

$$\varrho = \frac{13}{5} R \cdot \sin \frac{\alpha}{2}$$

und

$$\sin \frac{\beta}{2} = \frac{5}{13}; \quad \beta \cong 45^\circ 20'.$$

Im Bogenmaß ausgedrückt, wird

$$\beta = 0,711, \quad \beta - \sin \beta = 0,082.$$

Der Wert von v geht dann über in

$$v = \frac{R^2}{2} \left[\alpha - \sin \alpha + 0,553 \sin^2 \frac{\alpha}{2} \right].$$

Daß der Wert $\Sigma M_n^{0'}$ mitunter eine erhebliche Größe erreichen kann, und für den Antriebsmechanismus berücksichtigt werden muß, soll das folgende Zahlenbeispiel zeigen.

Zahlenbeispiel.

$R = 10,00 \text{ m}$; $\gamma = -20^\circ$; $\alpha = 10^\circ$; $n = 4$; Wehrbreite = $30,0 \text{ m}$. (Vgl. Abb. 27.)

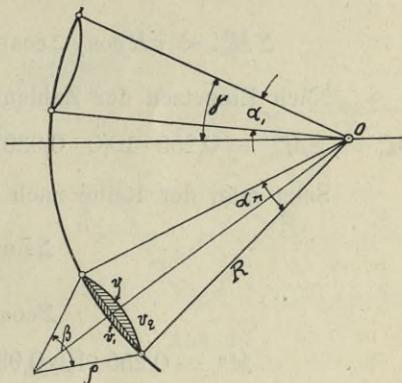


Abb. 27.

$$\begin{aligned} \text{arc } \alpha &= 0,1745 \\ \sin \alpha &= 0,1736 \\ \text{arc } \alpha - \sin \alpha &= 0,0009. \end{aligned}$$

$$\sin^2 \frac{\alpha}{2} = 0,007597,$$

$$v = \frac{10,0^2}{2} [0,0009 + 0,007597 \cdot 0,553],$$

$$v = 0,255 \text{ m}^3 \text{ pro lfdm. Wehrbreite.}$$

$$\Sigma M_n^{0'} = v R \cos \gamma \Sigma \cos(2n-1) \frac{\alpha}{2} - v \cdot R \cdot \sin \gamma \Sigma \sin(2n-1) \frac{\alpha}{2}.$$

Nach Einsetzen der Zahlenwerte erhält man

$$M_n^{0'} = \Sigma M_n^{0'} = 0,255 \cdot 10,0 \cdot 0,9397 \Sigma \cos(2n-1) \frac{\alpha}{2} - 0,255 \cdot 10 \cdot 0,342 \Sigma \sin(2n-1) \frac{\alpha}{2}.$$

Setzt man der Reihe nach für $n = 1, 2, 3, 4 \dots$, so wird

$$\Sigma \sin(2n-1) \frac{\alpha}{2} = 1,34218,$$

$$\Sigma \cos(2n-1) \frac{\alpha}{2} = 3,68758.$$

$$M^0 = 0,255 \cdot 10 \cdot 0,9397 \cdot 3,68758 + 0,255 \cdot 10 \cdot 0,342 \cdot 1,34218,$$

$$M^0 = 10,0 \text{ tm pro lfdm. Wehrbreite.}$$

Bei 30,0 m Wehrbreite

$$M^0 = 30,0 \cdot 10,0 = 300,0 \text{ tm.}$$

Wenn die Antriebskette tangentiell angreift, so beträgt die Zugkraft

$$Z = \frac{300,0}{10,0} = 30,0 \text{ t} = 30000 \text{ kg.}$$

Erwägt man ferner, daß das Gewicht eines Segmentwehres von den angegebenen Dimensionen schätzungsweise rd. 100000 kg beträgt, so wird der zum Heben des Staukörpers erforderliche Zug bei einem Schwerpunktsabstande des Wehrkörpers von 8,00 m vom Drehpunkte

$$\text{ohne Tonnenbleche } Z = \frac{100,0 \cdot 8,0}{10,0} = 80,0 \text{ t,}$$

$$\text{mit Tonnenblechen } Z = 80,0 + 30,0 = 110 \text{ t.}$$

Der ungünstige Einfluß der Tonnenbleche beträgt also in diesem Beispiel $\sim 37,5\%$.

Bisher ist nur Oberwasser vorausgesetzt. Wie stellen sich die Verhältnisse bei gleichzeitiger Wirkung von Unterwasser?

Für den unter dem Unterwasserspiegel liegenden Wandteil ist der Wasserdruck auf die Flächeneinheit konstant. Daher halbiert die Resultierende des Wasserdruckes auf ein Tonnenblech den zugehörigen Zentriwinkel und geht durch den Drehpunkt. Daraus folgt: Die unter dem Unterwasserspiegel liegenden Tonnenbleche erzeugen kein Drehmoment M^0 .

Um das durch Verwendung von Tonnenblechen erzeugte Drehmoment M^0 auszuschalten, ist es zweckmäßig, den Drehpunkt des Staukörpers zu verlegen. Dabei ist zu berücksichtigen, daß sich beim Heben des Staukörpers die Resultierende der Lage und Größe nach ändert.

Im allgemeinen genügt eine verhältnismäßig kleine Exzentrizität, um das Moment $M^0 = 0$ zu machen.

In dem obigen Zahlenbeispiele wird bei $M^0 = 300 \text{ tm}$,

$$\text{Wasserdruck } W \cong 700 \text{ t,}$$

$$e = \frac{300}{700} \cong 0,43 \text{ m}$$

bei einem Radius von 10,00 m.

Der Vollständigkeit halber sollen an einem Zahlenbeispiel für verschiedene Stellungen des Staukörpers die Werte für den Horizontal- und Vertikaldruck gegenübergestellt werden.

Zahlenbeispiel. Es werden folgende Zahlenwerte vorausgesetzt (Abb. 28)

$$\frac{f}{b} = \frac{1}{10}, \text{ daraus } \sin \frac{\beta}{2} = \frac{5}{13}$$

$$\beta = 45^\circ 14' 24'',$$

$$\gamma = -12^\circ 42' 23'',$$

$$\alpha = 5^\circ 11' 2'',$$

$$R = 10,0 \text{ m,}$$

$$v = \frac{R^2}{2}(\alpha - \sin \alpha) + \frac{e^2}{2}(\beta - \sin \beta),$$

$$e = \frac{13}{5} \cdot R \cdot \sin \frac{\alpha}{2}.$$

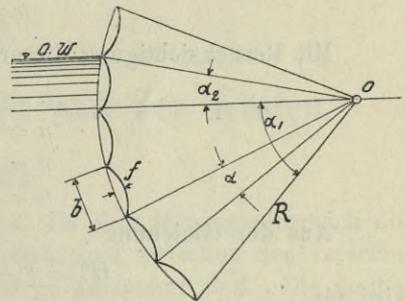


Abb. 28.

Setzt man die besonderen Werte ein, dann wird

$$v = 0,05425 \text{ m}^3 \text{ pro lfdm.},$$

$$e = 1,1757 \text{ m.}$$

1. Reine Zylinderform.

Der Auftrieb wird aus der Gleichung bestimmt

$$A^0 = \frac{R^2}{2}(\alpha_1 - \alpha_2) - \frac{R^2}{4}(\sin 2\alpha_1 - \sin 2\alpha_2) + R^2 \sin \alpha_2 (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2).$$

Der Winkel α_2 ist konstant, da er nur vom Radius des Segmentes, der Höhe des Oberwassers und der Lage des Drehpunktes abhängt. Der Winkel α_1 ist veränderlich je nach der Stellung des Staukörpers beim Aufwärtsdrehen. Er wird durch den tiefsten Punkt der Stauwand bestimmt. Alle Winkel werden nach oben negativ, nach unten positiv gezählt.

$$\alpha_2 = -12^\circ 42' 33'' \dots \text{konstant,}$$

$$\alpha_1 = \alpha_2 + n \cdot \alpha.$$

Daher wird

$$A = R^2 \sin \alpha_2 [\cos(\alpha_2 + n\alpha) - \cos \alpha_2] - \frac{R^2}{4} [\sin 2(\alpha_2 + n\alpha) - \sin 2\alpha_2] + \frac{R^2}{2} n \cdot \alpha.$$

Setzt man die Zahlenwerte ein, dann wird

$$A = -100 \cdot 0,220 [\cos(-12^\circ 42' 33'' + n\alpha) - 0,97550] \\ - 25,0 [\sin 2(-12^\circ 42' 33'' + n\alpha) + 0,42922] + 50,0 \cdot n\alpha.$$

Für $n = 1, 2, 3, 4$ wird

$$\cos(-12^\circ 42' 33'' + n\alpha) - 0,97550,$$

$$n = 1 \dots + 0,01589,$$

$$n = 2 \dots + 0,02366,$$

$$n = 3 \dots + 0,02327,$$

$$n = 4 \dots + 0,01470;$$

ferner

$$\sin 2(\alpha_2 + n\alpha) + 0,42922,$$

$$n = 1 \dots + 0,16955,$$

$$n = 2 \dots + 0,34758,$$

$$n = 3 \dots + 0,52828,$$

$$n = 4 \dots + 0,70574;$$

ferner $n\alpha$

$$n = 1 \dots 0,090476,$$

$$n = 2 \dots 0,180952,$$

$$n = 3 \dots 0,271428,$$

$$n = 4 \dots 0,361904.$$

Mit Berücksichtigung dieser Werte wird A^0 für

$$n = 1, \quad A^0 = -0,0645 \text{ t/lfdm.},$$

$$n = 2, \quad A^0 = -0,1624 \quad \text{»}$$

$$n = 3, \quad A^0 = -0,1475 \quad \text{»}$$

$$n = 4, \quad A^0 = +0,1263 \quad \text{»}$$

Aus der Gleichung

wird für

$$H^0 = \frac{1}{2}[-R \sin \alpha_2 + R \sin(\alpha_2 + n\alpha)]^2$$

$$n = 1, \quad H^0 = 0,3964 \text{ t/lfdm.},$$

$$n = 2, \quad H^0 = 1,6040 \quad \text{»}$$

$$n = 3, \quad H^0 = 3,6342 \quad \text{»}$$

$$n = 4, \quad H^0 = 6,4655 \quad \text{«}$$

2. Tonnenbleche.

Bei Verwendung von Tonnenblechen gehen die Werte von A^0 über in A' ; deren Größe beträgt für

$$n = 1, \quad A' = -0,0645 - 0,0543 = -0,1188 \text{ t/lfdm.},$$

$$n = 2, \quad A' = -0,1624 - 2 \cdot 0,0543 = -0,2710 \quad \text{»}$$

$$n = 3, \quad A' = -0,1475 - 3 \cdot 0,0543 = -0,3104 \quad \text{»}$$

$$n = 4, \quad A' = +0,1283 - 4 \cdot 0,0543 = -0,0889 \quad \text{»}$$

Die Werte von H' stimmen mit jenen von H^0 überein.

III. Abschnitt.

Vergleich des Materialverbrauches und der Kosten.

A. Materialverbrauch.

Die folgenden Untersuchungen bezwecken nicht, für den Materialverbrauch absolute Werte und Formeln zu entwickeln, sondern Beziehungen zwischen den verschiedenen Wehrrarten aufzustellen, die auf gleicher Grundlage aufgebaut sind. Die mathematischen Ausdrücke für den Materialverbrauch gelten daher zum Teil nicht als unmittelbar praktisch verwertbare Formeln, sind vielmehr als Vergleichsgrößen anzusehen.

Für eine vergleichende Betrachtung kommen in Frage:

- a) Der bewegliche Verschlusskörper.
- b) Der Antriebsmechanismus.
- c) Die Pfeiler.

Ein allgemeiner Vergleich kann nur für a) in mathematische Form gebracht werden, während für b) und c) Vergleiche nach ausgeführten oder projektierten Anlagen möglich sind.

a) Der bewegliche Verschlusskörper.

Derselbe besteht im allgemeinen aus vier Hauptteilen:

- α) Der Stauwand, welche die angreifenden Wasserdrücke aufnimmt.
- β) Dem Traggerippe der Stauwand, im folgenden auch Zwischenkonstruktion genannt.
- γ) Den Hauptträgern.
- δ) Dem Systeme der Quer- und Längsverbände.

α) Die Stauwand.

1. Vergleich zwischen Schützen- und Segmentwehr.

Für die Dimensionierung der ebenen Bleche werden die von C. BACH gefundenen Formeln benutzt.

Die in den Formeln vorkommenden Koeffizienten spielen in dieser Betrachtung keine Rolle, weil sie durch die Voraussetzung gleicher Verhältnisse für Schützen- und Segmentwehr eliminiert werden.

Der Einfachheit halber sei ferner vorausgesetzt, daß der Wasserdruck gleichmäßig über das betreffende Blech verteilt ist, was ja bei größeren Wassertiefen ohne erheblichen Fehler zulässig ist. Für kleinere Wassertiefen hat ein Vergleich keinen Wert, da die Blechstärken aus praktischen Gründen nicht unter einem Minimalwert gewählt werden können.

Für die erforderliche Blechstärke wird die Gleichung benutzt

$$\sigma_{\max} = 0,5 \varphi \frac{a^2 \cdot b^2}{a^2 + b^2} \cdot \frac{p}{\delta^2} \quad (1)$$

Hierin bedeuten

φ einen durch Versuche festgestellten Wert, der die Auflagerungsart kennzeichnet.

a, b die Seitenlängen der Platte.

p die Belastung auf die Flächeneinheit.

δ die erforderliche Blechstärke.

1. Voraussetzung: Es ist kein Unterwasser vorhanden.

Bezeichnet

W_0 den Wasserdruck auf das Blech beim Schützenwehre,

W_R den Wasserdruck für den entsprechenden Teil des Segmentwehres,

b die Breite des Bleches in der Gefällslinie gemessen,

a die Entfernung der Querriegel (Länge des Bleches),

so wird (Abb. 29)

$$W_0 = \frac{y_u - y_0}{2} (y_u + y_0) \cdot a \quad (2)$$

$$W_R \cong \frac{y_u + y_0}{2} \cdot R (\alpha_1 - \alpha_2) \cdot a. \quad (3)$$

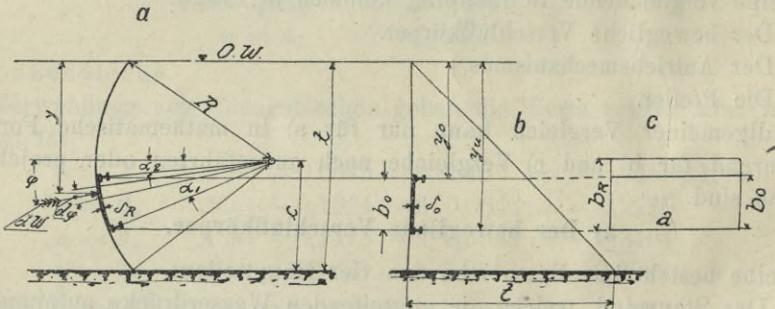


Abb. 29a-c.

[Der genaue Wert von W_R folgt aus der Integration der Gleichung

$$dW_R = (t - c) R \cdot d\varphi + R^2 \sin \varphi \cdot d\varphi$$

für die Länge a wird

$$W_R = a (t - c) \cdot R (\alpha_1 - \alpha_2) + 2R^2 \sin \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} \sin \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{2} \cdot a.$$

Dieser Wert weicht nur wenig von dem angenäherten ab.]

Die Werte von W_0 und W_R beziehen sich auf Blechstreifen, die in gleichen Höhen liegen.

Das Volumen des Bleches für die Länge $a = 1$ beträgt

$$\text{beim Schützenwehre } V_0 = \delta_0 (y_u - y_0),$$

$$\text{beim Segmentwehre } V_R = \delta_R R \cdot (\alpha_1 - \alpha_2).$$

Die Blechstärken ergeben sich

$$\text{beim Schützenwehre } \delta_0 = \sqrt{\frac{0,5 \varphi \cdot a b_0 \cdot W_0}{(a^2 + b_0^2) \sigma_{\max}}}, \quad (4)$$

$$\text{beim Segmentwehre } \delta_R = \sqrt{\frac{0,5 \varphi \cdot a b_R \cdot W_R}{(\alpha^2 + b_R^2) \cdot \sigma_{\max}}} \quad (5)$$

Setzt man $b_0 = y_u - y_0$ und $b_R = R(\alpha_1 - \alpha_2)$, dann wird

$$\delta_0 = \sqrt{\frac{0,5 \varphi \cdot a (y_u - y_0) W_0}{(a^2 + b_0^2) \sigma_{\max}}} \quad (4')$$

$$\delta_R = \sqrt{\frac{0,5 \varphi \cdot a (\alpha_1 - \alpha_2) R W_R}{(a^2 + b_R^2) \cdot \sigma_{\max}}} \quad (5')$$

Mit diesen Werten wird

$$V_0 = (y_u - y_0) \sqrt{\frac{0,5 \varphi \cdot a (y_u - y_0) W_0}{[a^2 + (y_u - y_0)^2] \sigma_{\max}}} \quad (6)$$

$$V_R = R(\alpha_1 - \alpha_2) \sqrt{\frac{0,5 \varphi \cdot a (\alpha_1 - \alpha_2) R \cdot W_R}{[a^2 + R(\alpha_1 - \alpha_2)^2] \sigma_{\max}}} \quad (7)$$

Nun ist

$$W_R = W_0 \cdot R \cdot \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{y_u - y_0} \quad (8)$$

(folgt aus 2 und 3); mit diesem Werte wird

$$V_R = R^2(\alpha_1 - \alpha_2)^2 \sqrt{\frac{0,5 \varphi \cdot a W_0}{[a^2 + R^2(\alpha_1 - \alpha_2)^2] (y_u - y_0) \sigma_{\max}}} \quad (9)$$

Bildet man das Verhältnis

$$\frac{V_R}{V_0} = \frac{R^2(\alpha_1 - \alpha_2)^2}{(y_u - y_0)^2} \sqrt{\frac{a^2 + (y_u - y_0)^2}{a^2 + R^2(\alpha_1 - \alpha_2)^2}} \quad (10)$$

$$\frac{V_R}{V_0} = \frac{b_R^2}{b_0^2} \sqrt{\frac{a^2 + b_0^2}{a^2 + b_R^2}} \quad (10')$$

Darin bedeutet (Abb. 29c)

b_0 die Blechbreite beim Schützenwehre,
 b_R die Blechbreite beim Segmentwehre.

Setzt man

$$a^2 + b_0^2 = d_0^2, \quad (11)$$

$$a^2 + b_R^2 = d_R^2, \quad (12)$$

wobei d_0 bzw. d_R die Diagonalen der Bleche sind beim Schützenwehre bzw. Segmentwehre, dann erhält man die einfache Beziehung

$$\frac{V_R}{V_0} = \frac{b_R^2}{b_0^2} \cdot \frac{d_0}{d_R} \quad (13)$$

Dieser Ausdruck läßt sich wie folgt deuten.

$b_R^2 \cdot d_0$ ist der Inhalt eines quadratischen Prismas mit der Blechbreite des Segmentwehres als Basisseite und der Diagonale des Bleches beim Schützenwehre als Höhe.

Eine analoge Deutung läßt $b_0^2 \cdot d_R$ zu.

Bezeichnet man die Inhalte dieser Prismen mit

$$b_R^2 \cdot d_0 = v_1, \quad (14)$$

$$b_0^2 \cdot d_R = v_2, \quad (15)$$

dann wird

$$\frac{V_R}{V_0} = \frac{v_1}{v_2} \quad (16)$$

2. Voraussetzung: Es ist Unterwasser vorhanden.

Für den Teil der Stauwand, der unter gleichzeitiger Wirkung des Ober- und Unterwassers steht, wird genau

$$W_R = (t_0 - t_u) \cdot R (\alpha_1 - \alpha_2) \cdot a, \quad (17)$$

$$W_0 = (t_0 - t_u) (y_u - y_0) \cdot a, \quad (18)$$

$$\frac{W_R}{W_0} = R \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{y_u - y_0}. \quad (19)$$

Daher gilt die Beziehung

$$\frac{V_R}{V_0} = \frac{v_1}{v_2}. \quad (20)$$

Da der Wert W_R die genaue Größe des Wasserdruckes darstellt, so gibt die Gleichung (20) genauere Werte als die Gleichung (16).

Zu den entwickelten Beziehungen ist zu bemerken, daß ihre praktische Richtigkeit dort beginnt, wo die Blechstärken ein gewisses ausführbares Minimum überschreiten. Dies trifft bei großen Wasserdrücken und Bleichbreiten zu. Im übrigen bleiben die Formeln an die Giltigkeit der BACHSchen Formeln gebunden.

2. Das Walzenwehr.

Beim Walzenwehre ist zu unterscheiden, ob die Walze unmittelbar als Staukörper ausgebildet ist, oder ob derselben ein Stauschild vorgesetzt ist.

Für den ersten Fall wird der Materialverbrauch bei der Untersuchung der Haupttragkonstruktion erledigt.

Für den zweiten Fall stimmt des Resultat mit demjenigen überein, das für das Segmentwehr gefunden wurde.

β) Die Zwischenkonstruktion. (Die Horizontalriegel).

1. Das Segmentwehr.

Die Ermittlung der angreifenden Kräfte für die einzelnen Riegel kann auf analytischem Wege erfolgen. Indes gibt ein Annäherungsweg mit Hilfe der Wasserdrucklinie eine bessere Übersicht über den Materialverbrauch.

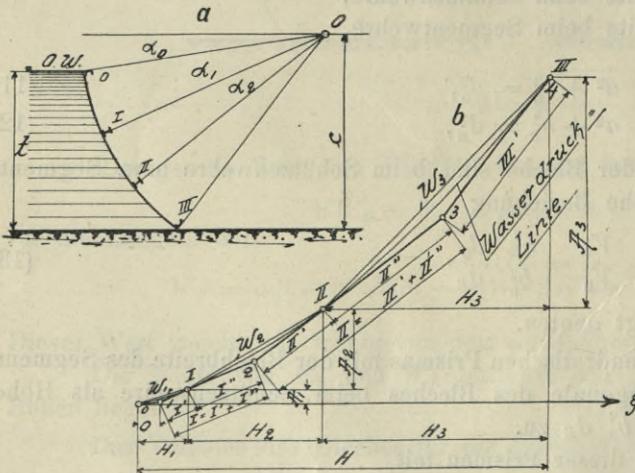


Abb. 30a—b.

In (Abb. 30a—b) stellen die Kurvenstücke $0I, III, II, III \dots$ die gesamten auf die Bleche $0I, II, III \dots$ wirkenden Wasserdrücke, die geraden Verbindungslinien $0I, III, IIII \dots$ die resultierenden Wasserdrücke der einzelnen Bleche dar. Bezeichnet man diese Kräfte mit $W_1, W_2, W_3 \dots$ und zerlegt sie in die Richtungen der Riegeltragebenen, so ergeben sich die Wasserdrücke für die einzelnen Riegel. Dadurch entsteht ein der Wasserdrucklinie umschriebener

Vieleckzug 01234 , der sie in den Punkten $0, I, II, III$ berührt.

Werden die Riegel als frei aufliegende Träger berechnet, so ist das größte Biegemoment

$$M = \frac{1}{8} \cdot p_n \cdot a^2. \quad (21)$$

Darin bedeuten

a die Stützweite,

p_n den auf den betreffenden Riegel entfallenden Wasserdruck für das lfdm.

Das gesamte erforderliche Widerstandsmoment beträgt demnach

$$K_R = \Sigma \frac{1}{8} \cdot \frac{a^2}{\sigma} \cdot p_n, \quad (22)$$

oder

$$K_R = \frac{1}{8} \cdot \frac{a^2}{\sigma} \Sigma p_n. \quad (22')$$

Σp_n ist die Länge des Vieleckzuges 0, 1, 2, 3, 4, welcher der Wasserdrucklinie umschrieben wurde.

Nach der Beziehung $\rho = y \cdot R$ (I. Abschnitt, Gl. 12) ist der Krümmungshalbmesser besonders für große Wassertiefen sehr groß, so daß statt der Länge des umschriebenen Polygonzuges die Länge der Wasserdrucklinie gesetzt werden kann. Bezeichnet man diese mit L_w für das lfdm. Wehrbreite, so wird

$$K_R = \frac{1}{8} \cdot \frac{a^2}{\sigma} L_w. \quad (23)$$

2. Das Schützenwehr.

Hier tritt statt L_w der Horizontaldruck H in die Gleichung (23)

$$K_0 = \frac{1}{8} \cdot \frac{a^2}{\sigma} \cdot H. \quad (24)$$

Ferner wird

$$\frac{K_R}{K_0} = \frac{L_w}{H}. \quad (25)$$

Daraus ergibt sich folgende Deutung der Wasserdrucklinie: Das erforderliche Widerstandsmoment für die Horizontalriegel beim Segmentwehre verhält sich zu jenem beim Schützenwehre, wie die Länge der Wasserdrucklinie zu ihrer horizontalen Projektion.

Unter gewissen Bedingungen läßt sich vom Widerstandsmomente auf die Fläche schließen.

Selbstredend wird die Abweichung des tatsächlich vorhandenen Widerstandsmomentes von dem theoretisch erforderlichen um so kleiner, je größer der Wasserdruck ist.

3. Das Walzenwehr.

Wenn der Staukörper als reine Walze ausgebildet ist, dann ergibt sich folgendes.

Der Wasserdruck auf ein Zylindersegment wurde gefunden zu

$$W = R(t - c)(\alpha_1 - \alpha_2) + R^2(\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1).$$

Setzt man

$$\alpha_1 - \alpha_2 = \pi,$$

$$\cos \alpha_2 = \cos \alpha_1 = \cos \frac{\pi}{2} = 0,$$

$$t = 2R,$$

$$c = R, \text{ dann wird}$$

$$W_w = R^2 \pi. \quad (26)$$

Das gleichhohe Schützenwehr hat

$$W_0 = \frac{(2R)^2}{2} = 2R^2. \quad (27)$$

Daher wird

$$\frac{W_w}{W_0} = \frac{\pi}{2} = \sim 1,57. \quad (28)$$

Die erforderlichen Widerstandsmomente stehen in demselben konstanten Verhältniss

Damit ist aber nur der Fall des gesenkten Staukörpers erledigt. Beim Heben der Walze aus ihrer tiefsten Lage werden der Reihe nach die dem Unterwasser zugekehrten Walzenteile in das Wasser eintauchen und sind so dem Überdrucke ausgesetzt. Nimmt man an, daß der Wasserspiegel des Oberwassers beim Heben der Walze nicht fällt, so ergibt sich das Folgende.

Beim Lüften der Walze von ihrer Anlagestelle an der Wehrsohle strömt das Wasser unter dem Überdrucke des Oberwassers unter der Walze durch und drückt gegen den (in Abb. 31) angedeuteten Teil. Sobald also die gegen die Unterwasserseite liegenden Riegel in die Tiefstlage kommen, tritt ihre Größbeanspruchung ein. Z. B. für Riegel Z in der Lage Z' .

Dann hat die Walze den Weg s_1 zurückgelegt und ist um die Höhe h_1 gehoben worden.

Beträgt die Anzahl der Riegelfelder n , so wird

$$s_1 = \frac{2\pi R}{n}, \quad (29)$$

$$h_1 = \frac{2\pi R}{n} \cdot \sin\beta. \quad (30)$$

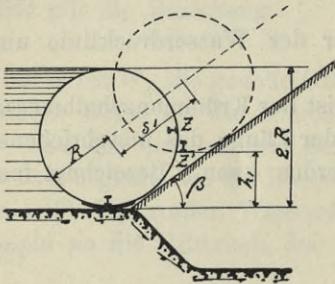


Abb. 31.

Der Wasserdruck an dieser Stelle beträgt noch

$$\omega = 2R - h_1 = 2R \left(1 - \frac{\pi}{n} \sin\beta\right), \quad (31)$$

wobei nur der hydrostatische Druck der Dimensionierung zugrunde gelegt ist. In Wirklichkeit treten auch hydrodynamische Wirkungen auf, die den Materialaufwand noch vermehren.

Der Druck auf einen Längsriegel in dessen Tiefstlage ergibt sich genau genug mit

$$\omega \cdot \frac{2\pi R}{n} = \frac{2\pi R}{n} \cdot 2R \left[1 - \frac{\pi}{n} \cdot \sin\beta\right]. \quad (32)$$

Daher werden die Werte der Wasserdrücke für die einzelnen Riegel

$$\begin{aligned} r_1 &= \frac{4\pi R^2}{n} \left[1 - \frac{\pi}{n} \cdot \sin\beta\right], \\ r_2 &= \frac{4\pi R^2}{n} \left[1 - \frac{2\pi}{n} \cdot \sin\beta\right], \\ &\dots \\ r_k &= \frac{4\pi R^2}{n} \left[1 - \frac{k \cdot \pi}{n} \cdot \sin\beta\right] \\ \sum_1^k r_i &= \frac{4\pi R^2}{n} \sum_1^k \left[1 - i \frac{\pi}{n} \cdot \sin\beta\right] \end{aligned} \quad (33)$$

Dabei ist $k = \frac{n}{\pi \sin\beta}$ naturgemäß nur eine ganze Zahl ($k = \frac{2R}{\sin\beta} : \frac{2\pi R}{n}$).

Führt man die Summation auf der rechten Seite von (Gl. 33) aus, so erhält man

$$\begin{aligned} \sum_1^k r_i &= \frac{4\pi R^2}{n} \left[k - \frac{\pi}{n} \cdot \sin\beta (1 + 2 + \dots + k)\right]. \\ 1 + 2 + \dots + k &= \frac{k(k+1)}{2} \\ \sum_1^k r_i &= \frac{4\pi R^2}{n} \left[k - \frac{\pi}{n} \cdot \sin\beta \frac{k(k+1)}{2}\right]. \end{aligned}$$

Setzt man für k den Wert ein, so wird

$$\sum_1^k r_i = \frac{2\pi R^2}{n} \left[\frac{n}{\pi \sin \beta} - 1 \right]. \quad (34)$$

Unberücksichtigt blieb nur die Druckvergrößerung für den untersten Riegel im Augenblicke des Anhebens. Diese beträgt genau genug

$$r_0 = \frac{2\pi R}{2n} \cdot 2R = \frac{2\pi R^2}{n}, \quad (35)$$

$$r_0 + \sum_1^k r_i = \frac{2R^2}{\sin \beta}. \quad (36)$$

Der gesamte für die Dimensionierung der Riegel in Frage kommende Druck beträgt demnach

$$W_w + r_0 + \sum_1^k r_i = R^2 \pi + \frac{2R^2}{\sin \beta}. \quad (37)$$

Daher wird

$$\frac{\text{Erforderl. Widerstandsmoment (Walze)}}{\text{Erforderl. Widerstandsmoment (Schütz)}} = \frac{\pi}{2} + \frac{1}{\sin \beta}. \quad (38)$$

Zahlenbeispiel.

$$\begin{aligned} R &= 1,50 \text{ m}; \quad \beta = 60^\circ \\ \frac{\text{Erf. W. walze}}{\text{Erf. W. Schütz}} &= 1,57 + \frac{1}{0,866} \\ &= 2,725. \end{aligned}$$

Die Betrachtungen zeigen, daß für die Riegel beim Schützenwehre die geringste Eisenmenge, beim Walzenwehre die weitaus größte Eisenmenge erforderlich ist.

Durch entsprechende Wahl des Radius und des Drehpunktes läßt sich beim Segmentwehre der Materialverbrauch für die Riegel nahezu auf jenen beim Schützenwehre bringen. Die Länge der Wasserdrucklinie stimmt dann nahezu mit ihrer horizontalen Projektion überein.

Beim Walzenwehre wird durch die große Angriffsfläche der Materialverbrauch für das gesenkte Wehr schon sehr groß. Wesentlich vergrößert wird er aber dadurch, daß die Teile des Staukörpers, die dem unmittelbaren Wasserdrucke bei geschlossenem Wehre ausgesetzt sind, beim Öffnen ins Wasser eintauchen. In dem Zahlenbeispiele gibt der zweite Summand diesen Einfluß an.

γ) Die Hauptträger.

Den Hauptträgern fällt die Aufgabe zu, die von dem Traggerippe aufgenommenen Wasserdrücke auf die festen Einbauten (Pfeiler) zu übertragen.

1. Das Schützenwehr.

Bei großen Staubreiten, die besonders in neuerer Zeit zur Anwendung kommen, wird man bei Wahrung der Wirtschaftlichkeit mit genieteten Blechträgern nicht mehr auskommen. Bei der Anlage in Chèvres ist man bereits bei 11,25 m Schützenbreite zu Fachwerkträgern übergegangen.

Bei kleinen Wehbreiten kann man die Zwischenkonstruktion ausschalten und eine größere Zahl von Hauptträgern anordnen, bei größeren Wehbreiten ist es wirtschaftlich, die Zahl der Hauptträger möglichst zu verringern. Die Wahl zweier Hauptträger ergibt eine billige und klare Konstruktion.

Nach Erfahrung des Verfassers läßt sich dabei mitunter eine nicht unwesentliche Gewichtersparnis, stets aber eine Verminderung des Einheitspreises der Konstruktion erzielen¹⁾.

Wenn angängig, sind die Hauptträger so anzuordnen, daß sie gleich große Kräfte bekommen, wobei die Durchbiegungen gleich groß werden und die Herstellung billiger wird. Die gleichen Durchbiegungen vermeiden die schädlichen Verdrehungen des Wehrkörpers.

Die Hauptträger haben den gesamten Wasserdruck aufzunehmen. Beträgt derselbe H^t pro lfdm., und l die Stützweite in Metern, so kann der Materialaufwand genau genug nach der vom Verfasser vielfach erprobten Beziehung gesetzt werden

$$G = \frac{Hl^2}{\sigma} \cdot c \text{ kg.} \quad (39)$$

σ bedeutet die Beanspruchung des Materiales in t/cm^2 , c einen Faktor, der zwischen 2,5—2,9 schwankt; bei großen Wasserdrücken und Wehrbreiten nähert sich c dem Werte 2,5, bei kleinen dem Werte 2,9.

Die Formel gibt für vergleichende Berechnungen genügend genaue Werte. Der Fehler, der bei der Wahl von c begangen werden kann, beeinflußt das Gewicht der Hauptträger höchstens um 10%, was für den ganzen Verschlußkörper kaum 5% beträgt.

Der Weg zur Auffindung der Gleichung (39) ist folgender.

Das Moment des einfachen Balkens von der Stützweite l Meter und der Belastung H^t pro lfdm. beträgt

$$M = \frac{1}{8} \cdot Hl^2.$$

Bei einer Trägerhöhe h erhält man die größte Gurtkraft

$$U, O_{\max} = \frac{M}{h} = \frac{1}{8} \cdot \frac{Hl^2}{h}. \quad (40)$$

Wählt man $h = \frac{l}{8}$, so wird

$$U, O_{\max} = \frac{1}{8} \cdot \frac{Hl^2}{l} \cdot 8 = H \cdot l. \quad (41)$$

Bei einer zulässigen Beanspruchung von σ t/cm^2 wird die größte Gurtfläche

$$F_{\max} = \frac{Hl}{\sigma} \text{ cm}^2. \quad (42)$$

Erwägt man nun, daß der Konstruktionskoeffizient für die Hauptträger, bedingt durch die Berücksichtigung der Nietschwächung von Zugstäben, die Verwendung von Knotenblechen, Aussteifungsmaterial usw. rd. 25—30% beträgt, daß ferner das Gewicht der Diagonalen und Vertikalen zusammen 50—70% jenes einer Gurtung ausmacht, so kann man das Gewicht einer Gurtung pro lfdm. der Anzahl der erforderlichen cm^2 gleichsetzen (spezifisches Gewicht des Flußeisens $\gamma = 7,85 t/m^3$; dazu rd. 22% gibt $\sim 10,0 t/m^3$) und den Koeffizienten $c = 2,5—2,9$.

Das Gewicht für die Länge l wird daher wie oben (Gl. 39)

$$G = c \frac{Hl^2}{\sigma} \text{ kg}^2).$$

¹⁾ Angewendet wurde diese Konstruktion z. B. beim Wehre bei Augst-Wyhlen und dem Themse-Wehr bei Richmond.

²⁾ In ähnlicher Fassung ist die Formel vom Verfasser beim Entwerfen vieler Straßen- und Eisenbahnbrücken mit den verschiedensten Belastungszügen angewendet worden, und sie lieferte mit

2. Das Walzenwehr.

1. Fall. Die Walze ist zugleich Stau- und Tragkörper.

Dabei gibt es zwei Ausführungsformen

- a) die Walze erhält beiderseitigen Antrieb,
- β) die Walze wird einseitig angetrieben.

α) Beiderseitiger Antrieb.

Der Materialaufwand für den Staukörper ist wohl für diese Bauart geringer, die mechanischen Einrichtungen werden aber unwirtschaftlich, da sie, wenn auch in halber Stärke, auf beiden Seiten vorgesehen werden müssen.

Der beiderseitige Antrieb ist daher, soweit es dem Verfasser bekannt ist, nur einmal ausgeführt worden (Grundablaß in Schweinfurt 1902).

Für die Walze treten nur solche Kräfte auf, die durch die Schwerachse der Walze gehen.

1. Bei fehlendem Unterwasser ist der Horizontaldruck auf die Walze

$$H = \frac{(2R)^2}{2} = 2R^2, \quad (43)$$

der genauen Gewichtsberechnung sehr gut übereinstimmende Werte, auch dort, wo die üblichen Formeln versagen.

Die Trägerhöhe h beeinflußt das Gewicht nur wenig, wenn $\frac{l}{h}$ nicht allzusehr von der Zahl 8 abweicht, was ja fast immer zutrifft.

Zum Vergleiche sei die Formel (39) benutzt zur Ermittlung der Hauptträgergewichte eingleisiger Eisenbahnbrücken nach den Vorschriften für das Entwerfen der Brücken mit eisernem Überbau (preuß. Ministerialerlaß vom 1. Mai 1903).

Die Ermittlung der erforderlichen Gurtfläche erfolgt aus dem in den Tabellen angegebenen Werten für das Maximalmoment aus mobiler Last + dem berechneten aus ständiger Last. Aus den nach den »Hilfswerten« von DIRCKSEN ermittelten Gewichten wurde das c der Formel (39) berechnet.

Stützweite Meter	1 Moment M_{\max} tm ständig	2 Moment M_{\max} tm mobil	3 Gesamt- moment tm	4 Träger- höhe Meter	5 Erforderl. Gurt- fläche $F = \text{cm}^2$	6a. Gewicht und nach DIRCKSEN mit Verband kg/lfdm.	6b. Hauptträger ohne Verband kg/lfdm.	7 $c =$ Spalte 6b Spalte 5
30,0	300	832	1132	3,75	355	1350*)	1200	3,37
34,0	400	1050	1450	4,25	400	1460	1310	3,28
36,0	455	1165	1620	4,50	424	1512	1362	3,22
40,0	585	1416	2001	5,00	445	1620	1470**)	3,30
44,0	770	1689	2459	5,50	497	1870	1580	3,18
50,0	1045	2123	3168	6,25	562	2030	1740	3,10
54,0	1260	2423	3683	6,75	606	2140	1850	3,06
60,0	1625	2900	4525	7,50	670	2300	2010	3,00
70,0	2370	3751	6121	8,75	778	2570	2280	2,94

*) Die Gewichte sind einschließlich Verbände und Auflager angegeben. Für den unteren Verband + Auflager sind 150 kg/lfdm. gerechnet.

***) Von 40,0 m Stützweite an ist auch ein oberer Verband vorgesehen, der mit 140 kg/lfdm. eingesetzt ist.

Für Eisenbahnbrücken nach den preußischen Vorschriften ändert sich unter Zugrundelegung der DIRCKSENSCHEN Eigengewichtsformel der Wert c geradlinig.

Die Gerade ist in der (Abb. 32) aufgetragen.

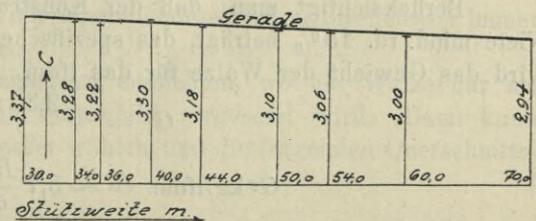


Abb. 32.

der Auftrieb

$$A = \frac{R^2 \pi}{2} = 1,571 R^2, \quad (44)$$

die Resultierende

$$e = \sqrt{H^2 + A^2} = 2,54 R^2. \quad (45)$$

Beim gleich hohen Schützenwehr wird

$$e_0 = H = 2 R^2. \quad (46)$$

Daher ergibt sich

$$\frac{e}{e_0} = 1,27. \quad (47)$$

Es sind also die angreifenden Wasserkräfte beim Walzenwehr schon 1,27mal so groß als beim Schützenwehre.

Der Wasserdruck ist durch die Walze aufzunehmen.

Bedeutet l die Stützweite der Walze,

s die Blechstärke,

w das Widerstandsmoment,

σ die zulässige Beanspruchung des Eisens,

dann wird

$$w = 3,14 R^2 s \quad (48)$$

und

$$\frac{1}{8} \cdot 2,54 R^2 l^2 = 3,14 R^2 \cdot s \cdot \sigma.$$

Dabei sind R , s , l in Metern, σ in t/cm² eingeführt.

Wählt man Meter und Kilogramm als Einheiten, so wird

$$\frac{1}{8} \cdot 2,54 R^2 l^2 \cdot 100000 = 3,14 R^2 s \cdot \sigma \cdot 1000000.$$

$$s^m = \sim 0,01 \frac{l^2}{\sigma},$$

$$s^{cm} = \frac{l^2}{\sigma}, \quad (49)$$

l in Metern, σ in kg/cm².

Die theoretische Blechstärke der gewichtslosen Walze ist daher unabhängig von der Höhe der Walze, vielmehr nur von ihrer Stützweite und dem Materiale.

Vergleicht man den gefundenen Wert mit jenem beim Schützenwehre, so ergibt sich folgendes:

Ein Schützenwehr von derselben Höhe erhält einen Wasserdruck von $2 R^2$ t/lfdm.

Das Maximalmoment beträgt $M_{\max} = \frac{1}{8} \cdot l^2 \cdot 2 R^2$; setzt man wie früher $h = \frac{l}{8}$, so wird das Gewicht für das lfdm.

$$G^0 = c \cdot 0,2 \frac{R^2 \cdot l}{\sigma}, \quad (50)$$

($c = 2,5 - 2,9$, R in cm, l in m, σ in kg/cm²).

Das Walzenwehr hat eine Querschnittsfläche von

$$F = 2 \pi R \cdot s = 2 \pi R \frac{l^2}{\sigma}. \quad (51)$$

Berücksichtigt man, daß der Konstruktionskoeffizient der Walze einschließlich Niete mind. rd. 15% beträgt, das spezifische Gewicht des Flußeisens $\gamma = 7,85$ t/m³, so wird das Gewicht der Walze für das lfdm.

$$G^w = \sim \frac{2,30 \pi}{\sigma'} R l^2 \cdot 0,785,$$

$$G^w \text{ kg/lfdm.} = \sim 5,7 \frac{R l^2}{\sigma'}, \quad (51)$$

R in cm, l in m, σ in kg/cm².

Es wird dann

$$\frac{G^{10}}{G^0} = \frac{5,7 \cdot R l^2 \cdot \sigma}{0,2cR^2 \cdot l\sigma'}$$

bei R in m

$$\frac{G^{10}}{G^0} = \frac{0,285}{c} \cdot \frac{l}{R} \cdot \frac{\sigma}{\sigma'} \quad (52)$$

wegen $\sigma' \leq \sigma$ (siehe folgendes) $\frac{G^{10}}{G^0}$ daher mindestens $= \frac{0,285}{c} \cdot \frac{l}{R}$.

Bei einem Mittelwerte $c = 2,7$ ergibt sich

$$\min \frac{G^{10}}{G^0} = \sim 0,106 \frac{l}{R} \quad (53)$$

Soll $G^{10} = G^0$, so muß $R = 0,106l$ sein.

Vergleicht man die Abmessungen der in folgender Zusammenstellung angegebenen Ausführungen von Walzenwehren, so findet man, daß bei größeren Wehrcbreiten R meist weit unter dem Werte $0,106l$ bleibt.

Die folgende Tabelle gibt einige Daten an¹⁾.

Nr.	Name und Ort	$\left(\frac{R = n \cdot l}{n}\right)$	$\frac{G^{10}}{G^0}$	Walzenlänge m	Walzen-durchmesser
1	Hauptwehr Schweinfurt . . .	0,0265	3,98	37,65	1,00
2	Kolbermoor	0,0266	—	31,836	0,85
3	Brahnau bei Bromberg . . .	0,052	2,03	23,958	1,25
4	Poppenweiler (Württemberg) .	0,0602	1,76	29,86	1,80
5	St. Michael (Frankreich) . .	0,0455	2,33	33,0	1,50
6	Trollhättan (Schweden) . . .	0,0822	—	21,80	1,80
7	Dejefors (Schweden)	0,051	2,08	34,3	1,75

Für l ist in vorstehender Tabelle die Walzenlänge eingesetzt. (Die Tabelle zeigt, daß der Wert von n , besonders bei den größeren Anlagen, sehr weit unter $0,106$ bleibt.)

Für alle diese Anlagen ist also der Materialaufwand für die Walze bedeutend größer als für das Schützenwehr.

Der Eisenaufwand für das Walzenwehr ist in der Praxis größer als obige Zahlen angeben. Denn die Berechnung ist unter folgenden Voraussetzungen aufgestellt:

1. Daß die theoretisch ermittelte Blechstärke der Walze auch ausführbar ist, was oft infolge des zu kleinen Wertes nicht möglich ist.

2. Daß der als biegungsfest vorausgesetzte Walzenquerschnitt auch tatsächlich einen starren Zylinder bildet, so daß der Querschnitt einheitlich wirkt. Darum muß derselbe sehr solid ausgesteift werden, was mit zunehmendem Walzendurchmesser immer schwieriger wird und viel Material erfordert.

In solchen Fällen ist die zweite Bauart zu empfehlen, wo die Walze nur als Tragkonstruktion wirkt und ein besonderes Stauschild vorgesetzt wird. Dann kann man für die Walze einen kleineren Durchmesser wählen und die tragenden Querschnittsmassen mehr konzentrieren.

¹⁾ Die Werte sind berechnet aus Daten in der Z. d. V. d. I. 1908, S. 1862.

Beispiele letzterer Art sind in folgender Tabelle genannt.

Name	Ort	Walzenlänge m	Stauhöhe m	Walzen- durchmesser m
Grundablaß	Schweinfurt	20,4	4,136	2,00
Walzenwehr	Kissingen	11,076	2,65	0,80
Walzenwehr	Nienburg b. Magdeburg .	11,35	2,65	1,20
Walzenwehr	Neugattersleben	19,193	2,95	1,20

Es ist selbstredend, daß der theoretische Materialverbrauch (ohne Konstruktionskoeffizient) bei kleinerem Durchmesser größer ist als bei größerem.

Zu den Beanspruchungen ist folgendes zu bemerken:

Es ist nicht empfehlenswert, bei den Walzenwehren die Beanspruchung so hoch zu wählen wie bei den Schützenwehren. Während bei den letzteren die tragenden Massen der Hauptträger in den Gurtungen konzentriert sind und mit einer einheitlichen Beanspruchung der Querschnitte gerechnet werden kann, ist dies beim Walzenwehr nicht der Fall. Dazu kommt, daß die Blechwand der Walze auch dem unmittelbaren Wasserdruck ausgesetzt ist, wodurch sie Biegebungsbeanspruchungen erhält, welche die oben errechneten Hauptbeanspruchungen vergrößern. Ferner ist darauf Rücksicht zu nehmen, daß bei beiderseitigem Antrieb bei ungenauer Ausführung der Ketten oder ungleichartigen Längen derselben in der Walze Torsionsmomente auftreten.

2. Bei vorhandenem Unterwasser.

Zum Vergleich sei das Segmentwehr herangezogen.

Zeichnet man die Wasserdrucklinie, so wird beim Walzenwehre (Abb. 33a—b) an der Stelle π_u , welche dem Punkte P_u entspricht, die Tangente vertikal und gemeinschaftlich für die Kurvenäste, die zu $P_o P_u$ und $P_u P'_o$ gehören.

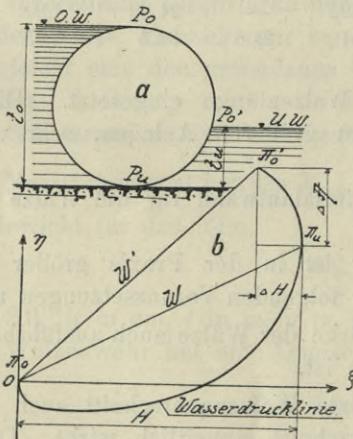


Abb. 33a—b.

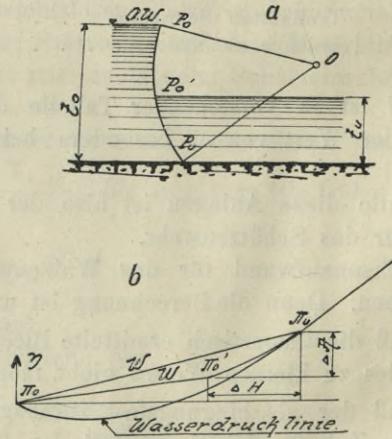


Abb. 34a—b.

Beim Segmentwehre (Abb. 34a—b) ist die Tangente in π_u auch gemeinschaftlich für die beiden Kurvenäste. Während aber beim Walzenwehr der Umfangungssinn beim Überschreiten des Punktes π_u stetig bleibt, kehrt er sich beim Segmentwehre um. (Die Tangente in π_u ist parallel zu dem Radius $P_u O$.)

Daraus lassen sich folgende Schlüsse ziehen:

Beim Walzenwehr werden die Ordinaten η des Punktes π'_o beim Überschreiten von π_u größer, die Abszissen kleiner. Beim Segmentwehre werden sowohl Ordinaten

als auch Abszissen kleiner, d. h. die für die Dimensionierung der Hauptträger maßgebende Länge der Resultierenden wird beim Segmentwehr kleiner.

Beim Walzenwehr läßt sich beweisen, daß die Resultierende bei steigendem Unterwasser größer wird und ihren Größtwert erreicht bei $t_o = t_u$.

Dann wird sie $R^2\pi = 3,14R^2$.

Um dies zu vermeiden, kann man die Walze mit Öffnungen versehen, die dem Unterwasser zugekehrt sind, so daß die Walze im Innern stets unter dem Druck des Unterwassers bleibt, wodurch letzteres entlastend wirkt.

β) Einseitiger Antrieb.

Während sich die Biegungsbeanspruchungen der Walze bei einseitigem Antrieb nicht von jenen bei beiderseitigen unterscheiden, treten bei ersterem noch Torsionsbeanspruchungen auf, die sich auf folgende Weise einfach ermitteln lassen¹⁾.

Denkt man sich (in Abb. 35a—b) die Walze durch einen Schnitt tt in zwei Teile zerlegt und die resultierenden angreifenden Kräfte zur Hälfte auf das Walzenende A , zur Hälfte auf das Walzenende B verteilt, so bildet B eine runde, in a gestützte, daher labile Scheibe. Um dieselbe stabil zu machen, ist nur nötig, das Moment $\frac{\varrho}{2}r$ durch ein Gegenmoment aufzuheben. Da aber auf die Scheibe außer dem Auflagerdrucke bei a keine äußeren Kräfte mehr wirken, so ist dieses Moment durch innere Kräfte (die Schubkräfte im Schnitte tt) aufzuheben.

Demnach beträgt das Torsionsmoment

$$M_T = \frac{\varrho}{2} \cdot r. \quad (54)$$

δ ist die Resultierende der angreifenden Kräfte.

Es ist völlig unabhängig davon, in welcher Weise die Einspannung der Scheibe bei A geschieht.

Die Dimensionierung der Walze gestaltet sich daher wie folgt:

$$M_T = T \cdot R \quad (\text{Abb. 36a}),$$

$$T = \frac{\varrho}{2} \cdot \sin \gamma,$$

$$M_T = \frac{\varrho}{2} \cdot R \cdot \sin \gamma \quad (55)$$

$$\varrho = \sqrt{H^2 + (G - A)^2},$$

H = Horizontaldruck,

A = Auftrieb,

G = Gewicht der Walze,

$$M_T = W_T \cdot \sigma_T \quad (56)$$

W_T = Widerstandsmoment gegen Verdrehung,

σ_T = Drehbeanspruchung,

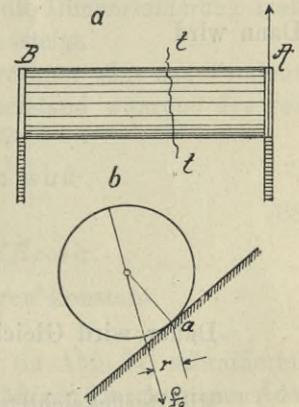


Abb. 35 a—b.

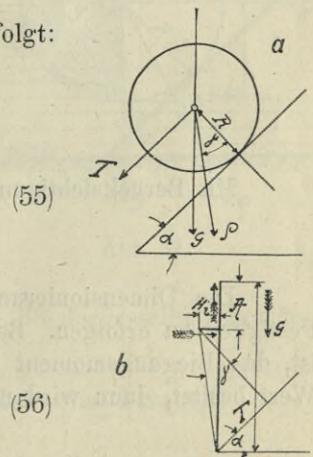


Abb. 36 a—b.

¹⁾ Die Torsionsmomente sind auch in der Abhandlung von M. CARSTANJEN, Zeitschr. Öst. Ing.- u. Arch.-Ver. 1909 auf etwas anderem Wege abgeleitet.

$$W_T = \frac{J_p}{e} \quad (57)$$

J_p = Polares Trägheitsmoment,

e = Abstand der äußersten Querschnittsfaser vom Schwerpunkt.

$$J_p = \frac{\pi}{64} \cdot (D^4 - d^4) \quad (58)$$

D = Äußerer Durchmesser,

d = innerer Durchmesser der Walze.

Da $D - d = 2\delta$ sehr klein ist im Vergleich zum Walzendurchmesser, so kann man setzen

$$D - d = 2s; \quad D + d = 2D$$

$$D^2 + d^2 = 2D^2; \quad s = \text{Blechstärke.}$$

Dann wird

$$J_x = \frac{\pi}{64} \cdot (D^2 + d^2) (D^2 - d^2)$$

$$= \frac{\pi}{64} \cdot (D^2 + d^2) (D + d) (D - d)$$

$$= \frac{\pi}{64} \cdot 2D^2 \cdot 2 \cdot D \cdot 2s$$

$$J_x = \frac{\pi}{8} D^3 s; \quad D = 2R$$

$$J_p = 2\pi R^3 \cdot s. \quad (59)$$

Daher wird Gleichung (57)

$$W_T = 2\pi R^2 \cdot s. \quad (57')$$

Mit Berücksichtigung von Gleichung (55) und (57') geht (56) über in

$$\frac{q}{2} \cdot R \sin \gamma = 2\pi R^2 s \cdot \sigma_T$$

$$\sigma_T = \frac{q \cdot \sin \gamma}{4\pi R \cdot s}. \quad (60)$$

Für die reine Biegebungsbeanspruchung ist das Moment maßgebend

$$M_B = \frac{1}{8} \cdot q \cdot l \quad (61)$$

$$M_B = W_B \cdot \sigma_B \quad (62)$$

$$W_B = \frac{J_x}{e} \quad (63)$$

$$W_B = \pi R^2 \cdot s \quad (64)$$

Mit Berücksichtigung von Gleichung (61) und (64) geht (62) über in

$$\sigma_B = \frac{q \cdot l}{8\pi \cdot R^2 \cdot s}. \quad (65)$$

Die Dimensionierung der Walze hat nach der Theorie der zusammengesetzten Festigkeit zu erfolgen. Berücksichtigt man, daß für die Walzenmitte die Querkraft Null ist, das Biegemoment den Maximalwert, das Torsionsmoment den eben errechneten Wert besitzt, dann wird mit Benutzung der ideellen Hauptspannungen

$$k_I = \frac{1}{3} \cdot \sigma_B + \frac{2}{3} \sqrt{\sigma_B^2 + 4\sigma_T^2} \quad (66a)$$

$$k_{II} = \frac{1}{3} \cdot \sigma_B - \frac{2}{3} \sqrt{\sigma_B^2 + 4\sigma_T^2} \quad (66b)$$

k_I, k_{II} sind die ideellen Hauptspannungen, deren Deformationswert gleichkommt demjenigen, der bei Berücksichtigung der Normal- und Schubspannungen entsteht.

σ_B folgt aus Gleichung (65),

σ_T aus Gleichung (60).

Dann wird

$$4\sigma_T^2 = \frac{\rho^2 \cdot \sin^2 \gamma}{4\pi^2 \cdot R^2 \cdot s^2}$$

$$\sigma_B^2 = \frac{\rho^2 \cdot l^2}{64 \cdot \pi^2 \cdot R^4 s^2}$$

$$k_I = \frac{\rho \cdot l}{24\pi R^2 s} + \frac{2}{3} \frac{\rho}{\pi R \cdot s} \sqrt{\frac{\sin^2 \gamma}{4} + \frac{l^2}{64 R^2}} \quad (67a)$$

$$k_{II} = \frac{\rho \cdot l}{24\pi R^2 s} - \frac{2}{3} \frac{\rho}{\pi R s} \sqrt{\frac{\sin^2 \gamma}{4} + \frac{l^2}{64 R^2}} \quad (67b)$$

Im allgemeinen ist wohl die Tiefstlage der Walze für die Dimensionierung maßgebend, falls das Oberwasser nicht über eine bestimmte Höhe steigt.

Bei einer beliebigen anderen Höhenlage der Walze berechnet sich das Torsionsmoment wie folgt (vorausgesetzt wird, daß sich der Oberwasserstand während des verhältnismäßig raschen Hebens der Walze nicht ändert) (Abb. 37):

Zerlegt man ρ in die Komponenten $(A - G)$ und H , so wird

$$\begin{aligned} 2 \cdot M_T &= (A - G) R \sin \alpha + H R \cos \alpha \\ &= A \cdot R \sin \alpha - G \cdot R \sin \alpha + H R \cos \alpha. \end{aligned} \quad (68)$$

Der Wert $G \cdot R \sin \alpha$ ist bei konstantem α für alle Lagen konstant.

$A \cdot R \sin \alpha$ ändert sich mit dem Werte von A .

A ändert sich gesetzmäßig und zwar proportional der (in Abb. 37) schraffierten Fläche, was selbst bei steigendem Unterwasser infolge des kräftigen Durchströmens des Wassers gilt (ohne Berücksichtigung des Stoßes).

$$A = \frac{R^2}{2} (\varphi - \sin \varphi \cdot \cos \varphi) \quad (69)$$

für 1 lfdm. Wehrbreite

$$M_A = A \cdot R \sin \alpha = \frac{R^3}{2} \sin \alpha (\varphi - \sin \varphi \cos \varphi) \quad (70)$$

Die Berücksichtigung des Stoßes würde außer dem Werte aus Gleichung (70) noch einen von der Druckhöhe t abhängigen Wert ergeben, der t geradlinig zugeordnet ist.

Der Wert $M_H = H \cdot R \cdot \cos \alpha$ ist nur mit H veränderlich.

Die Größen A und H lassen sich für den Radius 1 ermitteln.

Die Torsionsmomente werden dann durch die in (Abb. 38) dargestellte schraffierte Fläche veranschaulicht.

Da $H = \frac{h^2}{2}$ (für 1 lfdm. Wehrbreite), wird die M_H -Linie eine Parabel.

$M_G = G \cdot R \sin \alpha$ ist konstant.

Der Punkt N der M_T -Fläche ist beachtenswert. Solange das Torsionsmoment negativ ist, wird der Staukörper durch das Eigengewicht nach abwärts gerollt, also geschlossen. Wird dagegen das Moment positiv, dann trachtet die Resultierende den

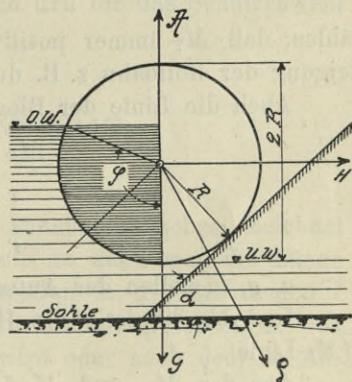


Abb. 37.

Staukörper nach aufwärts zu bewegen. Dem Punkt N entspricht jene Lage, für welche die Resultierende durch den Unterstützungspunkt der Walze geht. Er kennzeichnet zugleich den Ort, wo das in Abschnitt II untersuchte Moment M^0 Null wird und damit auch die Antriebskraft.

Kommt also bei einem Walzenwehr eine positive M_T -Fläche vor, so muß die Walze in den entsprechenden Lagen künstlich nach abwärts gedrückt werden. Solche Maßnahmen wurden auch bei dem Grundablaß von Schweinfurt getroffen.

Will man aber eine bleibende Belastung der Zugorgane in der Tiefstlage des Staukörpers vermeiden, so muß man den Winkel α , d. h. die Steigung der Rollbahn so

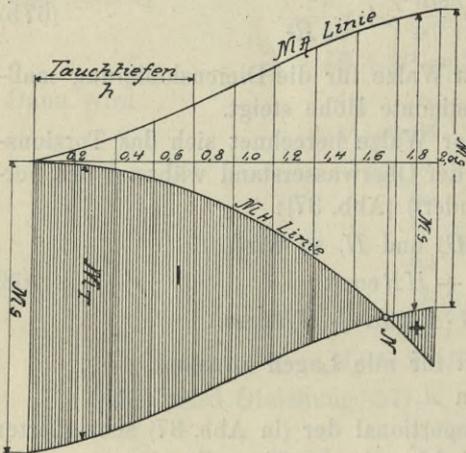


Abb. 38.

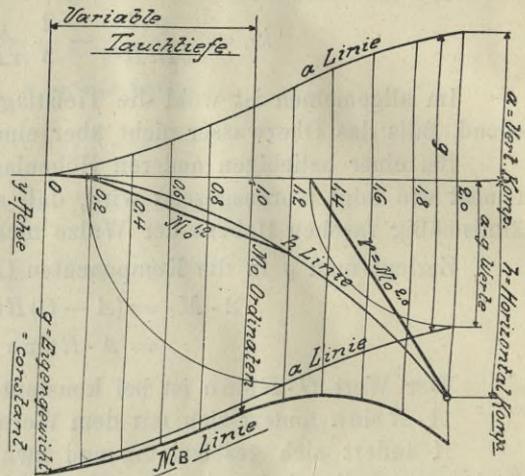


Abb. 39.

wählen, daß M_T immer positiv bleibt. Für eine gewisse Höhe wird man also die Steigung der Rollbahn z. B. durch Einschaltung eines Kreisbogens vergrößern.

Auch die Linie der Biegemomente läßt sich einfach konstruieren:

$$M_B = \frac{1}{8} \cdot l^2 r.$$

r = resultierender Druck pro lfdm.

$$r = \sqrt{(a - g)^2 + h^2}.$$

a , g , h stellen dar Auftrieb, Eigengewicht und Horizontaldruck pro lfdm.

In (Abb. 39) ist r die Hypotenuse eines Dreiecks mit den Katheten $(a - g)$ und h (M_B -Linie).

Aus den M_T - und M_B -Linien kann man für jede Stellung des Staukörpers das ideale Moment bilden

$$M_i = 0,35 M_B + 0,65 \sqrt{M_B^2 + M_T^2}, \quad (71)$$

das für die Dimensionierung maßgebend ist.

Bei Berücksichtigung der dynamischen Wirkung des Wassers verschiebt sich der Punkt N in (Abb. 38) nach abwärts.

2. Fall. Der Walze wird ein besonderes Stauschild vorgesetzt.

Dieser Fall unterscheidet sich grundsätzlich nicht von dem eben betrachteten. Wegen des kleinen Walzendurchmessers ist der theoretische Materialverbrauch größer als beim 1. Fall.

3. Das Segmentwehr.

Zur Bestimmung des Materialaufwandes für die Hauptträger sind die auf letztere entfallenden Kräfte zu ermitteln. Dabei sei vorausgesetzt, daß zwei Hauptträger angeordnet werden, was im Interesse einer klaren und einfachen Konstruktion sowie der Wirtschaftlichkeit angestrebt werden sollte.

Die Tragebenen der Hauptträger sollen durch die Drehachse des Segmentes gehen.

Dann läßt sich aus den gesamten auf die Drehgelenke übertragenen Kräften ein Schluß auf die Belastung der Hauptträger ziehen, da diese allein die Wasserkräfte auf die Gelenke übertragen. Der auf die letzteren entfallende Wasserdruck ist demnach in die Richtung der Hauptträgererebenen zu zerlegen (Abb. 40).

Kennt man die Größe der Horizontal- und Vertikalkomponente (H, A) des Wasserdruckes, dann findet man die Belastungen der Hauptträger auf folgende Weise:

$$I = \frac{A \cdot \cos \alpha_2 - H \sin \alpha_2}{\sin(\alpha_1 - \alpha_2)} \quad (72a)$$

$$II = \frac{H \sin \alpha_1 - A \cos \alpha_1}{\sin(\alpha_1 - \alpha_2)} \quad (72b)$$

Die gesamte Belastung der Hauptträger beträgt also

$$w = I + II = \frac{H(\sin \alpha_1 - \alpha_2) - A(\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2)}{\sin(\alpha_1 - \alpha_2)} \quad (73)$$

Will man $I = II$ machen, was den Vorteil gleicher Querschnitte für beide Hauptträger ergibt, dann wird

$$H(\sin \alpha_1 + \sin \alpha_2) = A(\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2)$$

und

$$\frac{A}{H} = \operatorname{tg} \frac{1}{2}(\alpha_1 + \alpha_2) \quad (74)$$

Der Materialaufwand für das Segmentwehr kann nach den für das Schützenwehr entwickelten Formeln bestimmt werden:

$$G = c \cdot \frac{w \cdot l^2}{\sigma} \text{ kg.} \quad (75)$$

w ist der Wasserdruck für beide Hauptträger in t/lfdm.,

l die Stützwerte in Metern,

σ die zulässige Beanspruchung in t/cm².

Über die Größe von w kann man noch vereinfachende Annahmen machen. Zeichnet man nämlich für das betreffende Wehr die Wasserdrucklinie, so kann man die Länge der Strecken I und II , die durch Zerlegung der Resultierenden in die Richtungen I und II erhalten wurden, annähernd der Länge der Wasserdrucklinie gleichsetzen, was um so zutreffender wird, je flacher die Wasserdrucklinie wird oder nach dem im Abschnitt I abgeleiteten Gesetz, je größer die Wasserdrucke sind.

Für w kann man setzen

$$w = R^2(\cos \varphi_2 - \cos \varphi_1) + R(t - c)(\varphi_1 - \varphi_2), \quad (76)$$

wobei φ nach oben negativ, nach unten positiv gezählt wird.

Zahlenbeispiel.

Das Zahlenbeispiel soll für einen besonderen Fall die für die Hauptträger maßgebenden Belastungen nach dem genauen und dem angenäherten Verfahren entwickeln (Abb. 40).

Der Ausdruck für den Auftrieb lautet

$$A = -\frac{R^2}{2}(\sin \varphi_1 \cdot \cos \varphi_1 - \sin \varphi_2 \cos \varphi_2) + \frac{R^2}{2}(\varphi_1 - \varphi_2) - R(t - c)(\cos \varphi_1 - \cos \varphi_2).$$

Es sei $R = 8,0 \text{ m}$; $c = 3,0 \text{ m}$; $t = 5,0 \text{ m}$

$$\alpha_2 = -5^\circ, \quad \alpha_1 = +15^\circ.$$

Dann ist $\sin \varphi_2 = -\frac{2}{8,0} = -0,250$

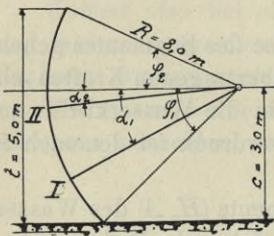


Abb. 40.

$$\varphi_2 = \sim 14^\circ 30'$$

$$\cos \varphi_2 = 0,968$$

$$\sin \varphi_1 = \frac{3}{8} = 0,375; \quad \varphi_1 = \sim 22^\circ$$

$$\cos \varphi_1 = 0,927$$

$$\sin \varphi_1 \cos \varphi_1 - \sin \varphi_2 \cos \varphi_2 = 0,5895$$

$$R^2(\sin \varphi_1 \cos \varphi_1 - \sin \varphi_2 \cos \varphi_2) = 18,85$$

$$\frac{R^2}{2}(\varphi_1 - \varphi_2) = 20,3$$

$$R(t - c)(\cos \varphi_1 - \cos \varphi_2) = -0,655$$

$$A = -18,85 + 20,3 - 0,655$$

$$A = +2,105 \text{ t/lfdm.}$$

$$H = \frac{5,0^2}{2} = 12,5 \text{ t/lfdm.}$$

$$\text{tg } \delta = \frac{A}{H} = 0,168$$

$$\delta = \sim 9^\circ 30'$$

$$\cos \alpha_1 = 0,9659; \quad \sin \alpha_1 = 0,2588$$

$$\cos \alpha_2 = 0,9962; \quad \sin \alpha_2 = -0,0872$$

$$I = \frac{2,105 \cdot 0,9962 - 12,5 \cdot (-0,0872)}{\sin 20^\circ}$$

$$I = 9,33 \text{ t/lfdm.}$$

$$II = \frac{12,5 \cdot 0,2588 - 2,105 \cdot 0,9659}{0,34202}$$

$$II = 3,52 \text{ t/lfdm}$$

$$I + II = 12,85 \text{ t/lfdm.} \dots \text{ Genauer Wert.}$$

$$R^2(\cos \varphi_2 - \cos \varphi_1) = 2,62$$

$$R(t - c)(\varphi_1 - \varphi_2) = 10,20$$

$$w = 2,62 + 10,20 = 12,82 \text{ t/lfdm.} \dots \text{ Angenäherter Wert.}$$

Der Unterschied der beiden Werte beträgt also nur

$$f = 12,85 - 12,82 = 0,03 \text{ t/lfdm.}$$

Der Wert $I + II = w$ kann bei entsprechender Wahl des Drehpunktes und des Radius nur um wenig größer werden als der Wert $h = \frac{t_0^2}{2}$ bzw. $h = \frac{t_0^2 - t_u^2}{2}$ beim Schützenwehre. Dann ist der Materialverbrauch für die Hauptträger des Segmentwehres auch nur um wenig größer als jener beim Schützenwehre.

In obigem Zahlenbeispiele wäre $h = \frac{5,0^2}{2} = 12,50 \text{ t/lfdm.}$ gegenüber $w = 12,85 \text{ t/lfdm.}$

Der Unterschied ist also mit $0,35 \text{ t/lfdm.}$ unbedeutend.

d) Die Quer- und Längsverbände.

Diese sekundären Glieder des Staukörpers dienen dazu, die Teile desselben zu einem einheitlichen Ganzen zu verbinden. Beim Schützen- und Segmentwehre erfüllen sie besonders noch den Zweck, die Knicksicherheit der Hauptträgergurtungen zu wahren.

Ihr Gewicht bildet im allgemeinen einen kleinen Bruchteil des Gesamtgewichtes. Nach den Erfahrungen des Verfassers beträgt das Gewicht 5—7% des Wehrgewichtes.

Beim Walzenwehre fällt dem Querverbande die Aufgabe zu, die Einheitlichkeit des Walzenquerschnittes zu wahren. Er muß daher entsprechend kräftig ausgebildet sein und erfordert einen größeren Materialaufwand.

b) Der Antriebsmechanismus.

Da die eingehende Behandlung dieses Teiles den Rahmen der vorliegenden Arbeit zu sehr überschreiten würde, sollen im folgenden nur einige Gesichtspunkte skizziert werden.

Ein wichtiges Glied des Antriebes bildet das Zugorgan. In neuerer Zeit sind fast durchweg bei größeren Anlagen GALLSche Ketten verwendet worden. Bei großen Gewichten der Verschlußkörper spielt die sorgfältige Herstellung der Ketten eine große Rolle und ihre Kosten können einen wesentlichen Teil der Gesamtkosten des Antriebsmechanismus ausmachen. Unter gleichen Verhältnissen ergeben Walzenwehre schwerere Ketten als Schützen- und Segmentwehre.

Bei den Walzenwehren stellt der einseitige Antrieb eine wirtschaftlich bessere Lösung dar als der beiderseitige und bildet einen Vorzug dieser Wehrtart vor solchen Konstruktionen, wo neben dem doppelten Antrieb auch noch eine Bedienungsbrücke erforderlich wird.

Beim Schützenwehre kommt zu dem beweglichen Teile des Wehres noch der Rollwagen hinzu, der die Wasserkräfte auf die häufig mit Stahlplatten gepanzerten Nischen überträgt. Rollwagen und Panzerung müssen sorgfältig bearbeitet und montiert werden und verteuern die Schützenwehre nicht unwesentlich.

In der folgenden Tabelle¹⁾ sollen einige Zahlen genannt werden, welche neben den Gewichten der Walzen-Verschlußkörper auch jene für den Antriebsmechanismus angeben.

Walzenwehre.

Nr.	Name, Ort	Lichte Wehrbreite m	Stauhöhe m	Gewichte in Tonnen		
				Eisenkonstruktion des Verschlußkörpers	Zahnstangen, Zahnkränze, Rückhaltkonstruktion	Windwerk und Hubkette
1	Grundablaß Schweinfurt .	18,00	4,136	61,0	39,0	
2	Hauptwehr Schweinfurt .	35,00	2,00	81,6	29,9	
3	Landwehrkanal Berlin . .	5,56	1,58	5,00	1,10	0,80
4	Kolbermoor (Bayern) . . .	30,00	1,70	36,00	6,90	6,10
5	Brahnau b. Bromberg . . .	22,00	2,50	34,00	8,40	6,60
6	Kissingen (Bayern)	10,00	2,650	9,00	2,50	1,20
7	Nienburg b. Magdeburg . .	10,00	2,650	10,10	1,90	0,75
8	Neugattersleben	17,50	2,95	21,00	2,80	1,50
9	Poppenweiler	28,0	3,60	56,0	14,00	12,40
10	Troubek (Mähren)	10,00	1,75	16,00	4,90	2,40
11	Schönenwerd (Schweiz) . . .	17,00	2,00	18,00	3,00	2,20
12	St. Michel (Frankreich) . . .	30,00	3,00	55,00	13,00	3,90
13	Verona (Italien)	12,00	3,40	22,00	9,00	2,30
14	Eusokoski (Finnland)	18,00	3,50	38,00	6,00	5,57
15	Trollhättan (Schweden) . . .	20,00	3,60	49,00	6,00	6,25
16	Dejefors (Schweden)	32,00	3,50	81,00	8,00	11,00

¹⁾ Entnommen der Ztschr. d. V. d. I. 1908, S. 1862.

Zum Vergleiche seien auch einige Gewichtsangaben über die Schützen- und Segmentwehre beigelegt.

Schützenwehr von 25,0 m l. W.

Wasserdruck pro lfdm.	11,60 t
Gewicht eines Schützes	44,0 »
Maschinerie	24,0 »

Vergleicht man damit die unter Nr. 9 der Tabelle angegebenen Daten, so findet man, daß der Eisenaufwand für den Staukörper des Walzenwehres rd. 25 % größer ist, trotzdem der Horizontaldruck auf das Walzenwehr nur 6,5 t pro lfdm. beträgt, also nur rd. 55 % desjenigen beim Schützenwehre.

Schützenwehr von 20,0 m l. W.

Wasserdruck pro lfdm. . . .	16,4 t
Gewicht des Schützes	30,5 »
Maschinerie und Rollwagen .	11,0 »

Segmentwehr von 36,0 m l. W.

Wasserdruck pro lfdm. . . .	16,80 t
Gewicht des Verschußkörpers	115,0 »
Gewicht der Maschinerie . .	40,0 »

Segmentwehr von 16,0 m l. W.

Wasserdruck pro lfdm. . . .	3,125 t
Gewicht des Verschußkörpers	15,0 »

Der wirtschaftliche Vorzug des Segmentwehres vor dem Walzenwehre erhellt aus dem vorletzten Beispiele. Trotzdem der Wasserdruck rd. 600 t beträgt, gegenüber dem Werte von max. rd. 200 t (einschl. Eigengewicht) bei dem unter Nr. 2 der Tabelle genannten Beispiele, ist das Eisengewicht nur um rd. 40 % größer. Der Antriebsmechanismus wird beim Segmentwehre um rd. 35 % schwerer.

B. Die Herstellungskosten.

Dabei sind zu beachten:

- α) die Materialpreise,
- β) die Werkstattkosten,
- γ) die Montagekosten.

α) Die Materialpreise.

Auch hier herrscht eine Verwandtschaft zwischen Schützen- und Segmentwehr, während das Walzenwehr wesentlich andere Verhältnisse aufweist. Bei den beiden ersten Wehrrarten kommen hauptsächlich Stab- und Formeisen zur Verwendung, während sich die Bleche nur auf die verhältnismäßig leichte Stauwand beschränken. Bei dem Walzenwehre bilden die Bleche den größten Teil des Konstruktionsmaterials, wodurch der Materialpreis durchschnittlich höher wird.

β) Die Werkstattkosten.

Die gerade bei Eisenkonstruktionen des Wasserbaues ausschlaggebenden Kosten der wasserdichten Nietungen sind bei den Schützen- und Segmentwehren verhältnismäßig gering, da nur die Stauwand wasserdicht sein muß. Die Werkstattarbeiten der anderen Konstruktionsteile unterscheiden sich kaum von den im Brückenbau sonst

üblichen. Infolge der Konzentrierung der tragenden Massen auf die Hauptträger kommen verhältnismäßig wenige Nieten vor.

Bei den Walzenwehren besteht die Hauptmasse des Konstruktionsmaterials aus Blechen, die an sich schon eine verhältnismäßig große Nietzahl erfordern, da durchweg Reihennietungen mit enger Teilung vorkommen. Die zur Erzielung der Wasserdichtigkeit erforderlichen Stemmarbeiten an Nieten und Blechkanten erhöhen die Kosten wesentlich.

2) Die Montagekosten.

Auch diese werden bei den Walzenwehren höher als bei den Schützen- und Segmentwehren, da ein Zusammenbauen in der Werkstatt nur in beschränktem Maße möglich ist und verhältnismäßig viele Niete auf der Baustelle zu schlagen sind.

Zusammenfassung.

Die Betrachtungen über den Materialverbrauch und die Kosten der drei verglichenen Wehrrarten führen zu dem Resultate, daß die Schützen- und Segmentwehre wirtschaftlicher sind als die Walzenwehre.

Theoretisch ist wohl der Materialverbrauch beim Schützenwehre kleiner als beim Segmentwehre, jedoch schwindet bei entsprechender Konstruktion dieser Unterschied in der Praxis, ja es wird sogar das Segmentwehre wirtschaftlicher, wenn beim Schützenwehre die Nischen gepanzert und bei großen Wasserdrücken Rollwagen vorgesehen werden müssen.

Das Walzenwehre erfordert bei den meist vorkommenden Verhältnissen theoretisch bereits einen bedeutend größeren Materialaufwand, der ein Vielfaches des Wertes für das Schützen- und Segmentwehre werden kann.

Wesentlich verteuert wird das Walzenwehre durch die größeren Einheitspreise. Ein Vorteil des Walzenwehres besteht in der Möglichkeit des einseitigen Antriebes.

IV. Abschnitt.

Konstruktion des Kreissegmentwehres.

Das Segmentwehr ist schon in verschiedenartiger Weise zur Ausführung gelangt. Dabei handelt es sich aber meist um kleinere Gerinnbreiten und Stauhöhen. Im folgenden soll versucht werden, jene Gesichtspunkte zu entwickeln, welche beim Entwerfen dieser Wehre beachtet werden müssen, um sie auch für größere Verhältnisse wirtschaftlich zu gestalten.

Bei größeren Anlagen ist die klare Scheidung der Konstruktion in

- A. Die Bleche,
- B. Das Traggerippe (Die Riegel),
- C. Die Hauptträger und Endstützen,
- D. Die Drehgelenke

empfehlenswert, wie dies auch bei einigen Ausführungen¹⁾ angestrebt ist.

A. Die Bleche.

Diese werden zur Vermeidung von Unregelmäßigkeiten im Wasserdrucke (vgl. II. Abschnitt) und der glatten Oberfläche wegen am besten aus ebenen Blechen hergestellt, die nach der Zylinderfläche gekrümmt werden.

B. Das Traggerippe. (Die Riegel.)

Das Traggerippe besteht aus Längs- und Querriegeln, die aus gewalzten oder genieteten Trägern hergestellt werden können. Die Wahl gewalzter Träger für die Längsriegel ist dort empfehlenswert, wo man an keine bestimmte Konstruktionshöhe gebunden ist, die Trägerhöhen also, dem erforderlichen Tragvermögen entsprechend, abgestuft werden können. Dieser Fall tritt dort ein, wo man die Blechhaut mit der Oberkante der Hauptträger bündig legt (Abb. 41a).

Man kann aber auch das Traggerippe vor den Hauptträgern anordnen (Abb. 41b), was allerdings etwas größeren Materialverbrauch und die Anwendung genieteteter Träger erfordert, da man an eine bestimmte Konstruktionshöhe gebunden ist und die Abstufungen des Querschnittes durch Änderung der Gurtwinkelprofile erzielt.

Diese konstruktiv sehr günstige und übersichtliche Anordnung hat den Vorteil, daß die Blechhaut vollkommen unabhängig von der Ausbildung der Hauptträger bleibt und bei Beschädigungen der Stauwand ein Auswechseln einzelner Bleche sehr leicht möglich ist, ohne das Gefüge der Hauptträger zu lösen. Die Niete in der Blechwand sind lediglich Dichtungsniete. Es können ferner Bleche bis zu den erhältlichen Längen verwendet werden, da man die Stöße unabhängig von den Hauptträgern anordnen kann.

¹⁾ Zeitschrift für Bauwesen 1902.

Ein Nachteil dieser Anordnung sind die etwas größeren Kosten des Traggerippes und ein geringer Verlust an Konstruktionshöhe für die Hauptträger. Beträgt die Konstruktionshöhe der Hauptträger H , so ist die hier erforderliche gesamte Konstruktionshöhe $H_1 = H + h$.

C. Die Hauptträger und Endstützen.

Bei der Konstruktion der Hauptträger sind im allgemeinen dieselben Gesichtspunkte zu beachten, wie bei den Hauptträgern eiserner Brücken. Wesentlich abweichend ist die Art der Auflagerung. Diese wichtige Frage soll im folgenden näher untersucht werden.

Die Auflager werden durch die Endstützen gebildet, die mehr oder weniger steif mit den Hauptträgern verbunden sind. Welches ist nun der Einfluß dieser Verbindung auf die Kräfteverteilung in den Hauptträgern und auf die Pfeiler?

Wird durch entsprechende Ausbildung der Lager nicht dafür gesorgt, daß die Verschiebung der Endstützen an den Auflagerpunkten ungehindert stattfinden kann, so

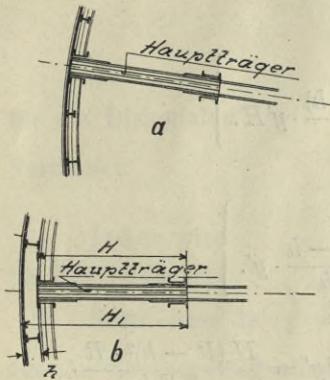


Abb. 41 a-b.

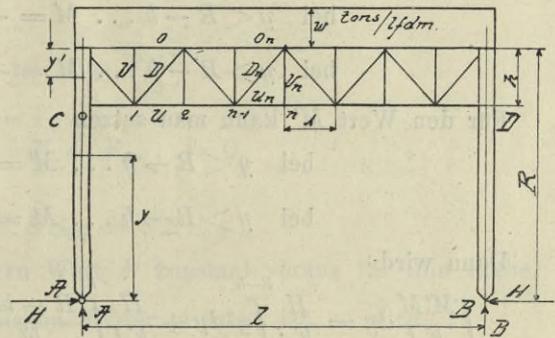


Abb. 42.

bildet der Wehrkörper bei Belastung einen Zweigelenkrahmen mit den Gelenken bei A und B (Abb. 42) und den beiden steif auszubildenden Knotenpunkten C und D .

Eine beliebige Last erzeugt Reaktionen H , deren Größe untersucht werden soll. Eine Stabkraft des Fachwerkes folgt aus der bekannten Beziehung

$$S = S_0 + HS', \quad (1)$$

wobei S_0 die Stabkraft bedeutet bei $H = 0$ und S' bei $H = 1$, H den bei A und B auftretenden Schub.

Nach dem Satze der virtuellen Arbeiten folgt

$$1 \cdot \delta a = \sum S' \Delta s + \int \frac{M' M}{EJ} \cdot dy, \quad (2)$$

wobei die Verschiebungen dem tatsächlichen Belastungszustande angehören, also im besonderen bedeuten

δa die Längenänderung der Strecke AB ,

Δs die Verkürzung bzw. Verlängerung der einzelnen Fachwerksstäbe,

$\frac{M}{EJ}$ ein Deformationswert, erzeugt durch die angreifenden Wasserkräfte (Verbiegung der Endstützen).

Die Kräfte und Reaktionen gehören einem gedachten Belastungszustande » $H = 1$ « an, im besonderen also sind

1 der Schub $H = 1$,

S' die Stabkräfte bei $H = 1$,

M' die Momente in den biegungsfesten Endstützen bei $H = 1$.

Verbindet man in üblicher Weise die beiden Gleichungen (1) und (2), so wird

$$\Delta s = S \cdot \varrho = S_0 \varrho + H \cdot S' \varrho \quad (3)$$

worin

$$\varrho = \frac{s}{EF},$$

s = Stablänge,

E = Elastizitätsmodul,

F = Querschnittsfläche des Stabes.

Gleichung (2) geht dann über in

$$1 \cdot \delta a = \Sigma S' S_0 \varrho + H \Sigma S'^2 \varrho + \int \frac{M' M}{EJ} dy. \quad (4)$$

Für den Wert M kann man einsetzen

$$\left. \begin{array}{l} \text{bei } y < R - h \dots M = -Hy, \\ \text{bei } y > R - h \dots M = -\frac{(R-h)}{h} \cdot y'H. \end{array} \right\} \quad (5)$$

Für den Wert M' kann man setzen

$$\left. \begin{array}{l} \text{bei } y < R - h \dots M' = -y, \\ \text{bei } y > R - h \dots M' = -\frac{R-h}{h} \cdot y'. \end{array} \right\} \quad (6)$$

Dann wird

$$\int \frac{M' M}{EJ} dy = \frac{H}{EJ} \int_0^{R-h} y^2 dy + \frac{H}{EJ} \int_0^h \frac{(R-h)^2}{h^2} y'^2 \cdot dy' = \frac{H(R-h)^2 \cdot R}{3EJ}. \quad (7)$$

Setzt man diesen Wert in Gleichung (4) ein, so wird

$$H = \frac{\delta a - \Sigma S' S_0 \varrho}{\Sigma S'^2 - \frac{(R-h)^2 \cdot R}{3EJ}}. \quad (8)$$

Wird die relative Bewegung der Gelenke δa Null gesetzt, so wird

$$H = - \frac{\Sigma S' S_0 \varrho}{\Sigma S'^2 + \frac{(R-h)^2 \cdot R}{3EJ}}. \quad (9)$$

Das zweite Nennerglied gibt, bei Vernachlässigung der Normalkraft in den Endstützen, den Einfluß der biegungsfesten Endstützen auf den Schub an.

Wie schon daraus ersichtlich, wird bei kleinem Trägheitsmoment J dieses Glied groß, der Wert für H daher klein und umgekehrt.

Es handelt sich nun darum, ein Bild von der Größe von H zu gewinnen.

Zu diesem Zweck werden folgende Reduktionen vorgenommen:

$$\text{Für den Obergurt wird } S' = + \frac{R-h}{h},$$

$$\text{für den Untergurt } S' = \frac{R}{h},$$

$$\text{für die Diagonalen } S' = 0,$$

$$\text{für die Vertikalen } S' = 0.$$

Ferner wird für die Gurtungen

$$S_0 = \frac{M^0 x}{h}, \quad \text{wobei} \quad M^0 x = \frac{wl}{2} x - \frac{x^2 \cdot w}{2},$$

wobei w den Wasserdruck pro lfdm. bedeutet.

Ist λ die Feldweite, dann wird bei dem in (Abb. 42) angedeuteten Strebenfachwerk

$$\begin{aligned} \text{für den Obergurt} \quad S_1^0, S_2^0 &= - \left[\frac{w \cdot l}{2} \cdot \lambda - \frac{w \cdot l^2}{2} \right] \cdot \frac{1}{h} \\ S_3^0, S_4^0 &= - \left[\frac{w \cdot l}{2} \cdot 3\lambda - w \cdot \frac{(3\lambda)^2}{2} \right] \frac{1}{h}, \\ &\dots \dots \dots \end{aligned}$$

Untergurt

$$\begin{aligned} S_1^u &= 0 \\ S_2^u = S_3^u &= + \left[\frac{wl}{2} \cdot 2\lambda - w \cdot \frac{(2\lambda)^2}{2} \right] \\ S_4^u = S_5^u &= + \left[\frac{wl}{2} \cdot 4\lambda - w \cdot \frac{(4\lambda)^2}{2} \right] \\ &\dots \dots \dots \end{aligned}$$

für die Diagonalen

$$D_n^0 = \pm \frac{Q_{n-1, n}}{\sin \alpha},$$

Vertikalen

$$\begin{aligned} V_1 = V_3 = V_5 \dots &= w \cdot \lambda \\ V_2 = V_4 = V_6 \dots &= 0. \end{aligned}$$

Daher wird

$$\text{für den Obergurt} \quad \Sigma S' S_0 q = S' \Sigma S_0 q.$$

Setzt man in $q = \frac{s}{EF}$ den Wert F konstant voraus für alle Stäbe, was für den Annäherungsweg ohne erheblichen Fehler gestattet ist, so wird

$$\Sigma S' S_0 q = q \cdot S' \Sigma S_0$$

$$\Sigma S_0 = \frac{w}{h} \left[2l \cdot \lambda \{1 + 3 + \dots + (n-1)\} - \frac{2\lambda^2}{2} (1^2 + 3^2 + \dots + (n-1)^2) \right]$$

und

$$\Sigma S' S_0 q = -q \frac{R-h}{h^2} \cdot w \left[2l \cdot \lambda \{1 + 3 + \dots + (n-1)\} - \frac{2\lambda^2}{2} (1^2 + 3^2 + \dots + (n-1)^2) \right].$$

Darin bedeutet $2n$ die Felderzahl und n eine gerade Zahl.

Für den Untergurt wird

$$\Sigma S' S_0 q = +q \frac{R}{h^2} \cdot w \left[2l \cdot \lambda \left(2 + 4 + \dots + \frac{n}{2} \right) - \frac{2\lambda^2}{2} \left(2^2 + 4^2 + \dots + \frac{n^2}{2} \right) \right],$$

für die Diagonalen wegen $S' = 0$

$$\Sigma S' S_0 \cdot q = 0,$$

für die Vertikalen wegen $S' = 0$

$$\Sigma S' S_0 q = 0.$$

Ferner wird der Ausdruck $\Sigma S'^2 \cdot q$

für den Obergurt

$$\Sigma S'^2 \cdot q = \frac{(R-h)^2}{h^2} \cdot q \cdot n,$$

für den Untergurt

$$\Sigma S'^2 \cdot q = \frac{R^2}{h^2} \cdot q (n-1),$$

für die Diagonalen wegen $S' = 0$

$$\Sigma S'^2 q = 0,$$

für die Vertikalen wegen $S' = 0$

$$\Sigma S'^2 q = 0.$$

Setzt man für $l = 2n\lambda$, für $\varrho = \frac{\lambda}{EF_m}$, multipliziert Zähler und Nenner mit EF_m und reduziert entsprechend, so wird

$$H = \frac{w \cdot \lambda^3 \{ (R-h) [2n(1+3+\dots+(n-1)) - (1^2+3^2+\dots+(n-1)^2)] + R \cdot \left[2n \left(2+4+\dots+\frac{n}{2} \right) - \left(2^2+\dots+\frac{n^2}{2} \right) \right] }{n \cdot \lambda [2R^2 - 2Rh + h^2] + \frac{h^2}{3} (R-h)^2 R \cdot \frac{F_m}{J}}$$

Führt man die Summation der Reihen aus und faßt die entsprechenden Glieder zusammen, so erhält man

$$H = \frac{w \lambda^3 \left\{ (R-h) \frac{n}{6} (2n^2 + 1) + R \cdot \frac{n}{3} (n^2 - 1) \right\}}{n \cdot \lambda (2R^2 - 2Rh + h^2) + \frac{h^2}{3} (R-h)^2 R \cdot \frac{F_m}{J}} \quad (10)$$

Dabei war n als gerade Zahl vorausgesetzt. Dieselbe Gleichung gilt auch, wie sich leicht beweisen läßt, für ein ungerades n .

Nach Gleichung (10) könnte H für überschlägige Berechnungen bestimmt werden. Indes gestattet die Verfolgung des hier gesetzten Zieles, ein ungefähres Bild von der Größe des Schubes zu gewinnen, eine vereinfachende Annahme über den Wert von F_m .

Man kann $F_m = \frac{3}{4} F_{\max}$ setzen, was dasselbe bedeutet, als wenn man die dem einfachen Balken von der Stützweite l entsprechende Momentenparabel durch ein Rechteck von der Höhe $\frac{3}{4} f$ ersetzt, wobei f die Pfeilhöhe dieser Parabel ist. Man trägt dadurch auch dem Umstande Rechnung, daß die mittleren Fachwerksstäbe einen größeren Einfluß auf die Deformation haben als die näher an den Auflagern gelegenen.

Mit dieser Annahme wird

$$F_m = \frac{3}{4} \cdot \frac{w \cdot l^2}{8h \cdot \sigma} \text{ cm}^2,$$

σ ist die zulässige Beanspruchung in t/cm².

F_m in m² wird

$$F_m = \frac{3}{4} \cdot \frac{w \cdot l^2}{8 \cdot h \cdot \sigma} \cdot \frac{1}{10000} \quad (11)$$

Soll der Wert von H (Gl. 10) so klein wie möglich sein, was für die Pfeiler und Endstützen am günstigsten ist, so muß das zweite Glied des Nenners zu einem Maximum werden oder J zu einem Minimum. Der kleinste Wert von J ist derjenige, der die Knicksicherheit des Endständers wahr.

Verlangt man z. B. von den Endständern eine fünffache Knicksicherheit nach EULER, so ist das erforderliche Trägheitsmoment

$$\text{Erf. } J_{\text{cm}^4} = \frac{5 \cdot (R-h)^2 \cdot P}{2,15}, \quad (12)$$

R, h in Metern, $\frac{w \cdot l}{2} = P$ in Tonnen.

Dann wird

$$J_{\text{min}}^{\text{cm}^4} = \frac{5(R-h)^2 \cdot w \cdot l}{4,3},$$

und

$$J_{\text{min}}^{\text{m}^4} = \frac{5(R-h)^2}{4,3} \cdot w \cdot l \cdot \frac{1}{100000000} \quad (12')$$

H erreicht also den kleinsten Wert, wenn das zweite Nennerglied die Größe hat

$$\frac{h^2}{3} (R - h)^2 \cdot R \cdot \frac{F_m}{J} = \frac{h^2}{3} (R - h)^2 \cdot R \cdot 0,75 \frac{\frac{w \lambda^2}{8 \cdot h \sigma}}{5(R - h)^2 \cdot w l} 10000 = 0,0269 \cdot \frac{R l h}{\sigma}.$$

Setzt man diesen Wert in Gleichung (10) ein, so wird nach entsprechender Vereinfachung

$$H_{\min} = \frac{w \lambda^2 \left\{ (R - h)(2n^2 + 1) \frac{1}{6} + R(n^2 - 1) \frac{1}{3} \right\}}{2R^2 - 2Rh + h^2 + 0,0538 \frac{R h}{\sigma}}. \quad (10')$$

Dieser Wert ist für die in der Praxis vorkommenden Fälle so klein, daß er im Verhältnis zu den anderen Kräften für die Hauptträger und Pfeiler nicht in Rechnung gestellt zu werden braucht.

Dagegen übt der Wert von H einen Einfluß aus auf die Dimensionierung der Ständer. Nach Gleichung (10') kann die vorläufige Dimensionierung vorgenommen werden und auf Grund der gewählten Querschnitte sodann die genaue Nachrechnung erfolgen.

Zahlenbeispiel.

$w = 10,431$ t/lfdm., $R = 10,50$ m, $h = 4,00$ m, $n = 6$, $\lambda = 3,06$ m.

Nach Gleichung (10) wird

$$H = \frac{10,431 \cdot 3,06^3 \left\{ (10,5 - 4,0) \cdot \frac{1}{6} (2 \cdot 36 + 1) + 10,5 \frac{1}{3} (36 - 1) \right\}}{6 \cdot 3,06 (2 \cdot 10,5^2 - 2 \cdot 10,5 \cdot 4,0 + 4,0^2) + \frac{4,0^2}{3} (10,5 - 4,0)^2 \cdot 10,5 \frac{F_m}{J}},$$

$$H = \frac{362000}{2820 + 2375 \frac{F_m^2}{J^2}}, \quad \text{worin } J^{m^4} = J \text{ in } m^4, F_m^2 = \text{Fläche } F_m \text{ in } m^2.$$

Nach der Gleichung (10') wird

$$H_{\min} = \frac{10,431 \cdot 3,06^2 \left\{ (10,5 - 4,0)(2 \cdot 36 + 1) \frac{1}{6} + 10,5(36 - 1) \frac{1}{3} \right\}}{2 \cdot 10,5^2 - 2 \cdot 10,5 \cdot 4,0 + 4,0^2 + 0,0538 \frac{10,5}{\sigma} \cdot 4,0 \cdot 10000},$$

$$H_{\min} = \frac{19700}{153 + \frac{22600}{\sigma}}.$$

Für $\sigma = 1$ t/cm² wird $H_{\min} = 0,865$ t.

H_{\min} hat also einen unerheblichen Einfluß auf die Stabkräfte des Fachwerkes. Den Größtwert erreicht H bei $J = \infty$, also bei vollkommen starren Endstützen. Dann verschwindet das zweite Nennerglied und es wird

$$H_{\max} = \frac{w \cdot \lambda^2 \left\{ (R - h)(2n^2 + 1) \frac{1}{6} + R(n^2 - 1) \frac{1}{3} \right\}}{2R^2 - 2R \cdot h + h^2}. \quad (10'')$$

Zahlenbeispiel.

In dem obigen Zahlenbeispiele wird

$$H_{\max} = \frac{19700}{153} = \sim 129 \text{ t.}$$

Aus dem Vorstehenden ergibt sich:

Beim Segmentwehre bilde man die Endstützen nur so steif aus, als zu ihrer Knicksicherheit und zur Aufnahme der Biegunsspannungen unbedingt notwendig ist.

D. Die Drehgelenke.

Die Drehgelenke dienen zur Aufnahme der auf die Endstützen übertragenen Kräfte und sollen die Bewegung des Staukörpers beim Öffnen und Schließen des Gerinnes ermöglichen. Von der Wahl ihrer Lage werden alle Konstruktionsteile des Segmentwehres berührt und sowohl die wirtschaftliche Seite als auch einige wichtige konstruktive Folgerungen sind damit eng verknüpft.

Es kann wohl als Grundsatz aufgestellt werden, daß vom Standpunkte des Wasserbauers jener Konstruktion der Vorzug zu geben ist, bei welcher alle beweglichen Teile über Wasser liegen und überdies jedes Konstruktionsglied leicht beobachtet und wenn nötig, ausgewechselt werden kann. Selbst bei dem so einfachen Walzenwehre muß die unter Wasser liegende verzahnte Rollbahn als Übelstand angesehen werden, da sich bei gehobener Walze dieser wichtige Konstruktionsteil jeder Kontrolle entzieht.

Beim Segmentwehre erfordert es auch die Betriebssicherheit, den Drehpunkt womöglich so hoch zu wählen, daß er beobachtet werden kann. Die Hochlage des Drehpunktes hat aber einen größeren Materialverbrauch zur Folge, da der Auftrieb und damit auch die Breite der Stauwand wächst.

Für die Wahl der Drehpunktlage sind also folgende Gesichtspunkte maßgebend:

Für eine hohe Lage spricht die Möglichkeit der Kontrolle und die davon abhängige Betriebssicherheit, sowie die bei gehobenem Wehre erforderliche lichte Durchfahrthöhe.

Gegen die hohe Lage des Drehpunktes spricht die wirtschaftliche Seite und die konstruktive Schwierigkeit bei der Verankerung des Drehpunktes, die mit der Höhenlage wächst. Unter Umständen kann auch die Kantenpressung im Pfeilerfundamente durch eine zu hohe Lage des Drehpunktes ungünstig beeinflußt werden.

Bei den einander teilweise widersprechenden Forderungen die günstigste Drehpunktlage zu wählen, sowie die Größe des Segmentradius richtig zu bemessen, kann in einem gegebenen Falle die Aufgabe nur durch vergleichende Studien gelöst werden.

Im folgenden sollen zwei Konstruktionen im Prinzip mitgeteilt werden, welche die obigen Anforderungen möglichst weitgehend zu lösen trachten.

A. Die erste Lösung dieser Aufgabe besteht darin, statt der Anordnung eines festen Drehgelenkes die Endstützen eines Segmentwehres mit einem verzahnten Kranze (Abb. 43) zu versehen, der sich an einer entsprechenden, im Pfeiler befestigten Bahn abrollt. Bildet man die Rollbahn so aus, daß beim Heben des Staukörpers der momentane Drehpunkt eine steigende Bewegung macht, so ist man imstande, eine wohl beachtenswerte Hebung des Staukörpers beim Aufwärtsdrehen zu erreichen.

Die so entstandene Konstruktion bildet gleichsam eine Kombination von Segment- und Walzenwehr¹⁾.

Da der Stützpunkt O_1 in der Tiefstlage aber über Unterwasser liegen muß, damit eine Beobachtung der Rollbahn möglich ist, sobald der Wehrkörper gesenkt ist, ist diese Anordnung nur in Sonderfällen möglich. Die Detailausbildung dieser Wehr-

¹⁾ Eine Konstruktion des Segmentwehres mit verzahnten Endstützen erhielt unter Nr. 195183 die Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg patentamtlich geschützt und bezweckt die Verminderung der Zapfenreibung.

Fast gleichzeitig entstand unabhängig davon die obige Konstruktion, gelegentlich der Entwurfsstudien des Verfassers bei der Brückenbauanstalt LOUIS EILERS in Hannover-Herrenhausen. Jedoch bezweckte die Verzahnung hier nicht die kaum zu berücksichtigende Reibung im Zapfen, als vielmehr eine Hebung des Drehpunktes, die in der (unter B. angegebenen) »zweiten Lösung« auf anderem Wege erreicht wurde.

konstruktion stößt auf bedeutende konstruktive Schwierigkeiten, die darin gipfeln, daß die Zahndrucke bei großen Wasserkräften Werte erreichen, die eine entsprechende Ausbildung der Zähne unmöglich machen.

Diese Schwierigkeit kann durch entsprechende Formgebung der Rollbahn beseitigt werden. Bildet man die Form der Rollbahn so aus, daß die Tangente an dieselbe in dem jeweiligen Unterstützungspunkte normal zur Resultierenden steht, so ist der den Zahn auf Abscheren beanspruchende Druck Null. Die Zähne bilden dann nur die Führung und sind theoretisch überflüssig.

In Wirklichkeit läßt sich aber dieser Idealfall nicht ganz erreichen. Die Zähne werden zweckmäßig nach (Abb. 44) so ausgeführt, daß die beiden Wälzbahnen *aa* fest aufeinander gepreßt

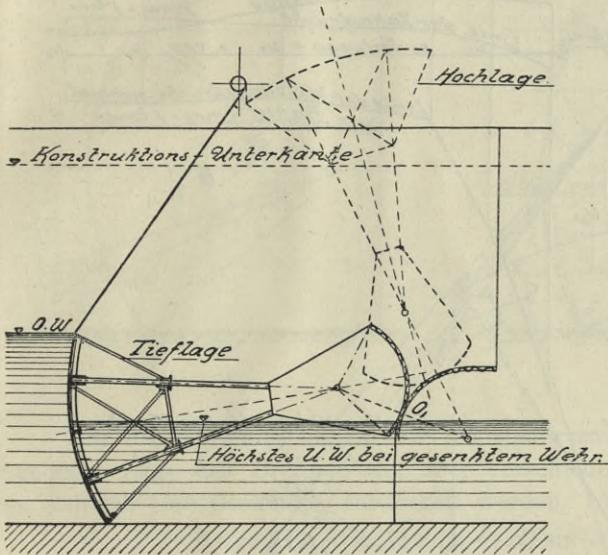


Abb. 43.

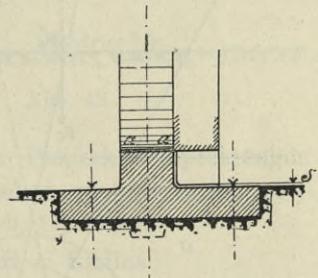


Abb. 44.

werden, während die Zähne selbst ein Spiel *s* besitzen.

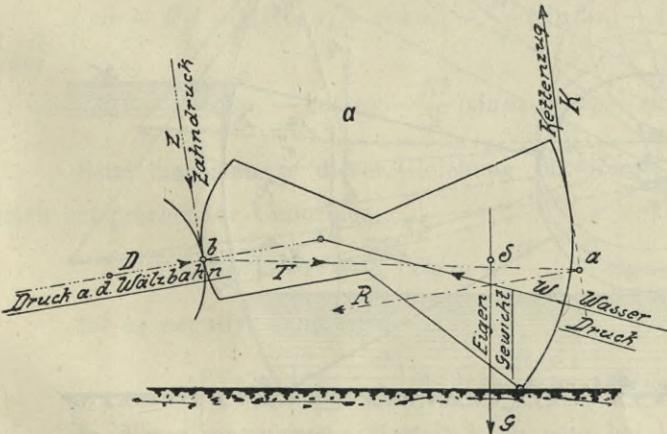


Abb. 45 a—b.

der vorgesehenen Krümmung der Wälzbahn die Zahndrucke auf einen verhältnismäßig kleinen Wert herabgemindert sind. Der größte Zahndruck beträgt 30000 kg, wobei das Wehr für einen Wälzungsdruck von 270000 kg konstruiert ist. Bei dem Schweinfurter Walzenwehre beträgt bei dem Wasserdrucke von 35000 kg pro Wälzbahn der Zahndruck 43000 kg.

(Abb. 45a—b) gibt den allgemeinen Weg an, der zur Auffindung der Zahndrucke in dem speziellen Beispiele (Abb. 46a—b) eingeschlagen wurde.

In (Abb. 46a—b) ist für einen bestimmten Fall die Ermittlung der Zahndrucke durchgeführt und die Kurve ihres Verlaufes während der Drehbewegung aufgetragen. Daraus ist ersichtlich, daß bei

Das Gewicht G wird mit dem Wasserdruck W zu einer Resultierenden R zusammengesetzt. Diese wird zerlegt in die Richtung K , die dem Kettenzuge entspricht, und die Richtung $ab(T)$, die gegeben ist durch den Schnittpunkt von R mit K einerseits und den Tangierungspunkt b der Wälzbahn andererseits. T stellt die Reaktion der Wälzbahn im Punkte b dar. Diese wird wieder zerlegt in den Normaldruck zur Wälzbahn D und den Tangentialdruck Z , der die Zähne auf Abscheren beansprucht.

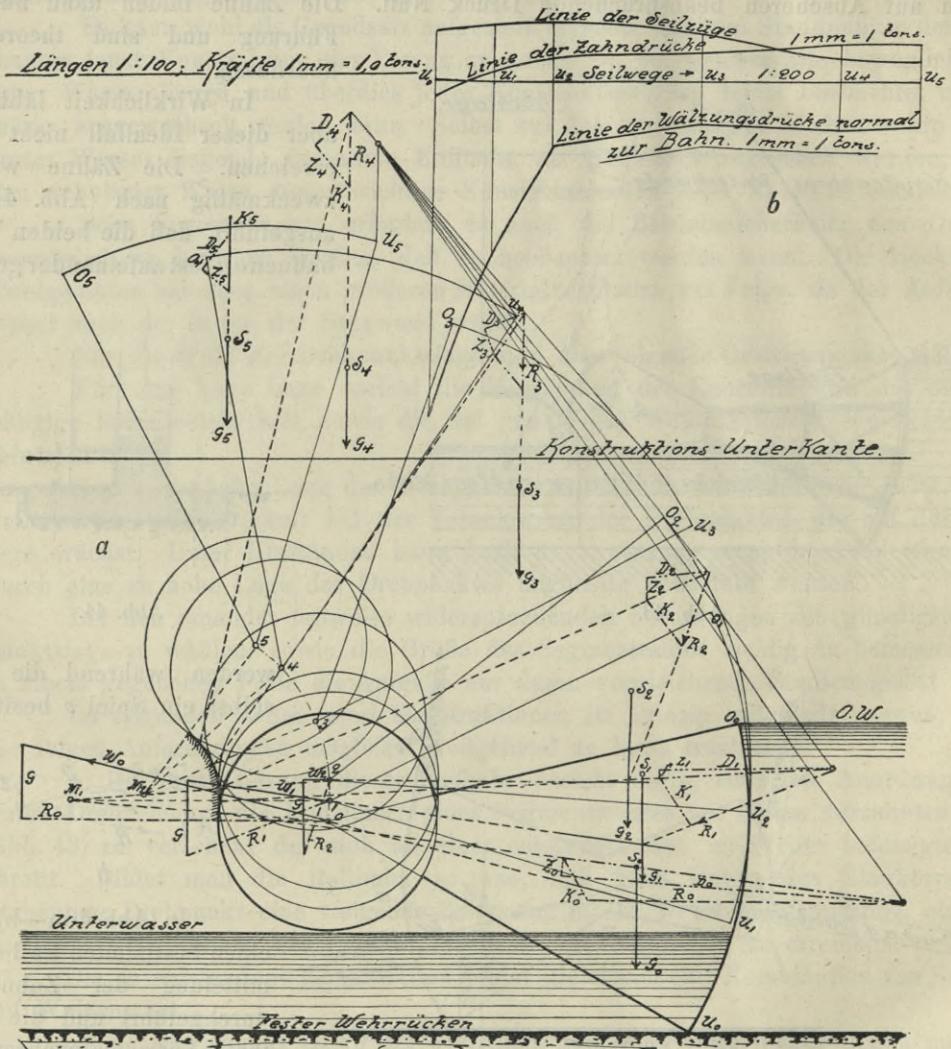


Abb. 46 a-b.

Diese Ausführungsart des Segmentwehres hat wohl vor dem Walzenwehre den Vorzug der größeren Wirtschaftlichkeit und der Möglichkeit einer Kontrolle der Rollbahn. Bei großer Hubhöhe werden aber die Pfeiler infolge des großen Radius des Segmentes verhältnismäßig teuer.

B. Die zweite Lösung, die gleichsam eine Kombination von Segment- und Rollschützwehr darstellt, trachtet auch die letzterwähnten Übelstände durch Anordnung eines lotrecht beweglichen Drehpunktes zu beseitigen.

Bevor die konstruktive Lösung dieser Aufgabe beschrieben wird, sollen noch einige Gesichtspunkte untersucht werden, welche bei der Wahl der Drehpunktlage maßgebend sind.

Man wird natürlich trachten, den Drehpunkt für das geschlossene Wehr so tief wie möglich anzuordnen, da in diesem Falle die beste technische und wirtschaftliche Lösung erreicht wird. Aber selbst nach gewählter Tieflage des Drehpunktes bleibt die Größe des Radius des Segmentes noch frei wählbar und auch diese übt einen Einfluß aus auf den Auftrieb, sowie auf die im Fundamente entstehenden Kantenpressungen.

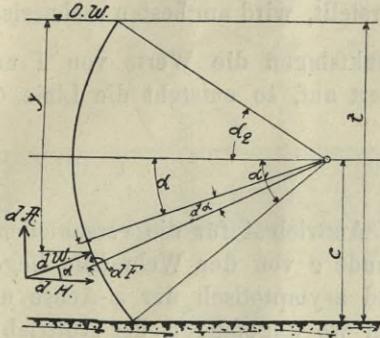


Abb. 47.

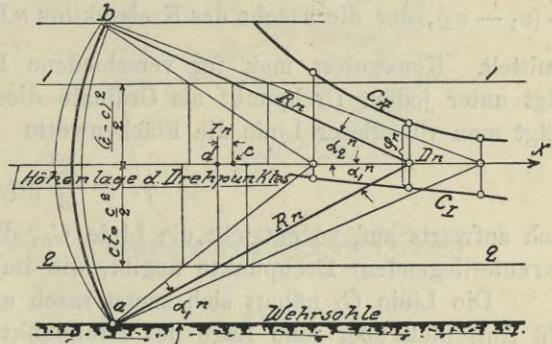


Abb. 48.

Um die Veränderlichkeit des Auftriebes sowie der Pfeilerkantenpressungen bei gegebener Lage des Drehpunktes, aber verschiedenen Radien zu untersuchen, soll für den Auftrieb eine Gleichung entwickelt werden. Aus (Abb. 47) folgt

$$dA = R(t-c) \sin \alpha da + R^2 \sin^2 \alpha da. \quad (R = \text{Radius.}) \quad (13)$$

Die Integration zwischen den Grenzen α_1 und α_2 ergibt

$$A = -R(t-c)(\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2) - \frac{R^2}{4}(\sin 2\alpha_1 - \sin 2\alpha_2) + \frac{R^2}{2}(\alpha_1 - \alpha_2)$$

oder

$$A = -R(t-c)(\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2) - \frac{R^2}{2}(\sin \alpha_1 \cos \alpha_1 - \sin \alpha_2 \cos \alpha_2) + \frac{R^2}{2}(\alpha_1 - \alpha_2). \quad (14)$$

Setzt man nun in dieser Gleichung für $R = \frac{t-c}{\sin \alpha_2}$ bzw. $R = \frac{c}{\sin \alpha_1}$, so wird nach entsprechender Umformung

$$A = \left(-ct + \frac{c^2}{2}\right) \text{ctg} \alpha_1 + \frac{(t-c)^2}{2} \text{ctg} \alpha_2 + \frac{R^2}{2}(\alpha_1 - \alpha_2). \quad (14')$$

Ist α_2 negativ, dann wird

$$A = -\left(ct - \frac{c^2}{2}\right) \text{ctg} \alpha_1 + \frac{(t-c)^2}{2} \text{ctg} \alpha_2 + \frac{R^2}{2}(\alpha_1 + \alpha_2). \quad (14'')$$

In dieser umgeformten Gestalt kann man bei konstanter Höhenlage des Drehgelenkes den Wert von A auch auf teilweise konstruktivem Wege finden (Abb. 48), wobei der Berührungspunkt a der Stauwand mit der Wehrsohle als festliegend angesehen werden kann, während sich der Radius und mit diesem auch die Winkel α ändern. Zieht man im Abstände $\frac{(t-c)^2}{2}$ bzw. $ct - \frac{c^2}{2}$ die Horizontalen 11 bzw. 22, so bleiben diese für alle Radien bzw. Winkel α unverändert und es ergibt sich z. B. für den Winkel α_1^n bzw. den Drehpunkt D_n (Radius R_n)

$$\overline{dD_n} = \left(ct - \frac{c^2}{2} \right) \text{ctg } \alpha_1^n$$

$$\overline{cD_n} = \frac{(t-c)^2}{2} \text{ctg } \alpha_2^n$$

$$I_n = \overline{dD_n} - \overline{cD_n}$$

$$I_n = - \left(ct - \frac{c^2}{2} \right) \text{ctg } \alpha_1 + \frac{(t-c)^2}{2} \text{ctg } \alpha_2.$$

I_n stellt also die beiden ersten Glieder des Ausdruckes für A dar. Der Wert $\frac{R^2}{2} (\alpha_1 - \alpha_2)$, der die Fläche des Kreissektors aD_nb darstellt, wird am besten rechnerisch ermittelt. Konstruiert man für verschiedene Drehpunktlagen die Werte von I und trägt unter jedem Drehpunkt als Ordinate diesen Wert auf, so entsteht die Linie C_I . Trägt man von dieser Linie die Flächenwerte

$$\varphi_n = \frac{R_n^2}{2} (\alpha_1^n - \alpha_2^n)$$

nach aufwärts auf, so entsteht die Linie C_A , die den Auftrieb A für die verschiedenen (darunterliegenden) Drehpunkte angibt, die im Abstände c von der Wehrsohle liegen.

Die Linie C_A nähert sich zuerst rasch abfallend asymptotisch der x -Achse und gibt Aufschluß über jene Lage des Drehpunktes, von wo angefangen der Auftrieb A nur langsam abnimmt.

Um den Verlauf der Kantenpressungen in der Fundamentfuge zu untersuchen, wird die Pressung in zwei Teile zerlegt, von denen der eine unabhängig vom Wasserdrucke, der zweite eine Funktion desselben ist. Letztere hat die Form

$$\sigma_w = \frac{N}{F} + \frac{M}{W}.$$

N bedeutet die Normalkraft (Auftrieb) $N = A$ (Abb. 49),

M das Biegemoment $M = H(c+d) - A(c \text{ctg } \alpha_1 - k)$,

F ist die Grundfläche, W das zugehörige Widerstandsmoment des Pfeilers.

Wegen der Konstanz von H und $H(c+d)$ lautet der variable Teil der Kantenpressung $\sigma = \sigma_A$

$$\sigma_A = - \frac{A}{F} - \frac{A(c \text{ctg } \alpha_1 - k)}{W}, \quad (15)$$

$$F = b \cdot l \text{ bei Rechteckform,}$$

$$W = \frac{bl^2}{6} = \frac{Fl}{6};$$

k ist konstant.

$$\begin{aligned} \sigma_A &= - \frac{A}{F} - \frac{6 \cdot A \cdot c \text{ctg } \alpha_1}{F \cdot l} + \frac{6A \cdot k}{Fl}, \\ &= - A \left(\frac{1}{F} - \frac{6k}{Fl} \right) - A \cdot \text{ctg } \alpha_1 \frac{6c}{F \cdot l}. \end{aligned} \quad (15')$$

Setzt man für

$$\frac{1}{F} - \frac{6k}{Fl} = C_1,$$

für

$$\frac{6c}{Fl} = C_2,$$

dann wird

$$\sigma_A = - C_1 A - C_2 \text{ctg } \alpha_1 A. \quad (15'')$$

Mit Hilfe dieser Gleichung läßt sich leicht die Kantenpressung aus der A -Linie auf graphischem Wege finden (Abb. 50).

Es ist $x = C_1 A$, d. h. A -Linie im C_1 -fachen Maßstabe; $y = C_2 \cdot A \cdot \text{ctg } \alpha_1$, und $ab \perp ad$, $bc \perp ab$; $ec = y$.

$cf =$ Kantenpressung,

$$\sigma_A = x + y = C_1 A + C_2 \text{ctg } \alpha_1 A.$$

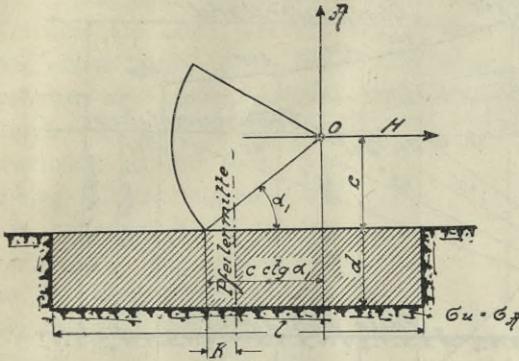


Abb. 49.

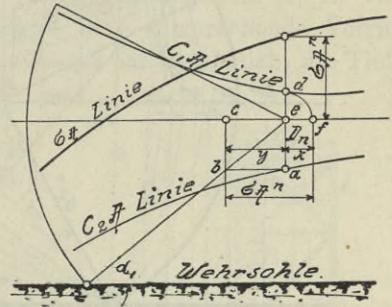


Abb. 50.

Zahlenbeispiel (Abb. 51 u. 52).

$$t = 6,20 \text{ m}, \quad l = 18,70 \text{ m}, \quad c = 4,00 \text{ m}, \quad d = 3,60 \text{ m}$$

$$\frac{(t-c)^2}{2} = 2,42, \quad \left(ct - \frac{c^2}{2}\right) = 16,80,$$

$$\sin \alpha_1 = \frac{c}{R}; \quad \sin \alpha_2 = \frac{t-c}{c} \sin \alpha_1,$$

daher

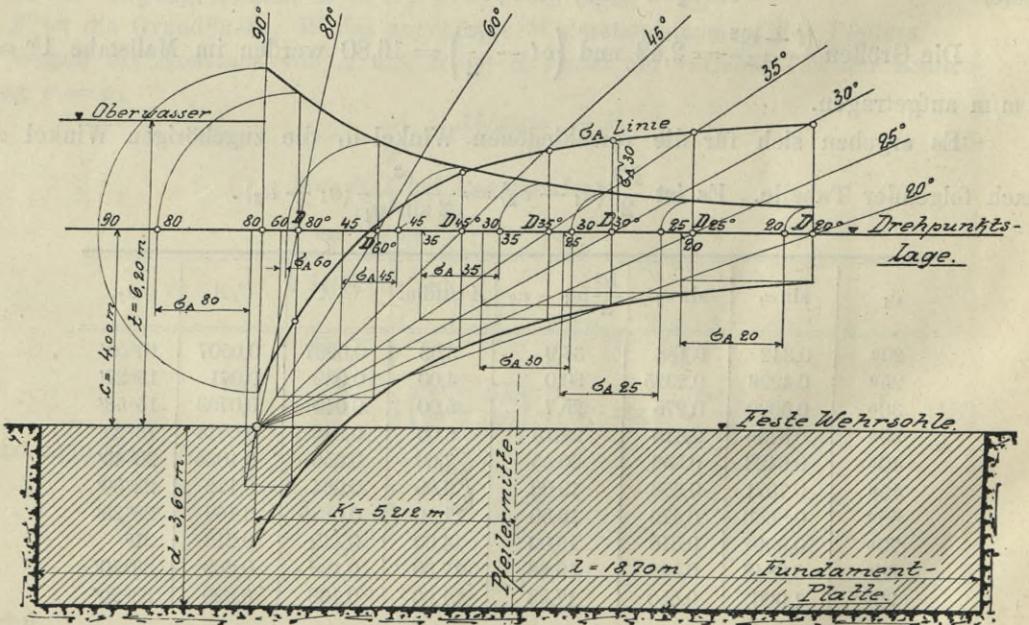
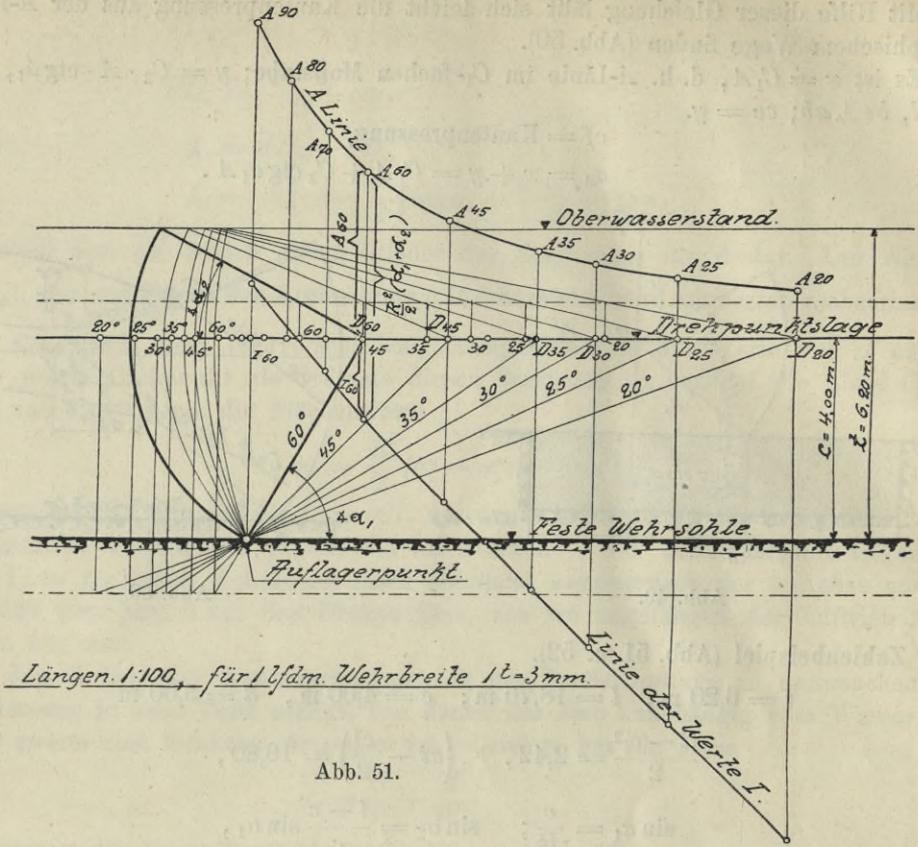
$$\sin \alpha_2 = 0,55 \cdot \sin \alpha_1.$$

Die Größen $\frac{(t-c)^2}{2} = 2,42$ und $\left(ct - \frac{c^2}{2}\right) = 16,80$ werden im Maßstabe $1^{\text{to}} = 3 \text{ m/m}$ aufgetragen.

Es ergeben sich für die verschiedenen Winkel α_1 die zugehörigen Winkel α_2 nach folgender Tabelle. Es ist $\frac{R^2}{2} (\alpha_1 - \alpha_2) = \frac{c^2}{2 \sin^2 \alpha_1} (\alpha_1 + \alpha_2)$.

α_1	$\sin \alpha_1$	$\sin \alpha_2$	$\frac{R^2}{2} (\alpha_1 - \alpha_2)$	$A t / \text{lfdm.}$	$C_1 A$	$C_2 A$	α_2
20°	0,342	0,188	36,9	3,33	0,0267	0,0507	10°50'
25°	0,4226	0,2325	30,0	4,00	0,032	0,061	13°27'
30°	0,5000	0,275	25,7	5,00	0,040	0,0763	15°58'
35°	0,5736	0,316	22,75	6,00	0,048	0,0914	18°25'
40°	0,6428	0,353	20,55	7,00	0,056	0,1065	20°40'
45°	0,7071	0,388	19,00	8,00	0,064	0,122	22°50'
60°	0,8660	0,476	16,50	11,10	0,0885	0,169	28°25'
70°	0,9397	0,516	16,00	14,00	0,112	0,213	31°
80°	0,9848	0,542	16,38	17,30	0,138	0,263	32°50'
90°	1,000	0,550	17,23	21,00	0,168	0,320	33°20'

Diese Zahlenwerte wurden bei der Konstruktion benutzt.



Aus (Abb. 51) ersieht man, daß von der Drehpunktlage D_{30} nach links das starke Anwachsen von A beginnt, während für die Drehpunktlagen rechts von D_{30} die A -Linie sich asymptotisch der horizontalen x -Achse nähert.

a) Die konstruktive Anordnung.

Entgegen der üblichen Ausbildung der Drehgelenke, werden dieselben bei dieser Konstruktion nicht fest auf den Pfeilern gelagert. Jedes Drehgelenk (d) ist vielmehr mit einem Stabe (e) in fester Verbindung, der durch eine entsprechende Vorrichtung gehoben und gesenkt werden kann (Abb. 53a—b). Ferner ist es möglich, die Tiefstlage durch einen am Pfeiler beweglichen Riegel bzw. Anschlag (h) zu fixieren. Um das mit dem Stabe (e) fest verbundene Drehgelenk (d) ist der Wehrkörper in entsprechenden, mit den Endstützen fest verbundenen Lagerschalen drehbar.

An den Drehpunkten treten im allgemeinen horizontale und vertikale Kräfte auf. Der Horizontaldruck, der weitaus der größere ist, wird durch den mit (e) verbundenen Gußkörper durch Kontakt an der gewölbten Auflagerfläche auf die mit dem Pfeiler fest verbundenen Druckplatten (g) übertragen, die allein bei gehobenem Wehrkörper im Wasser verbleiben. Indes ist dies infolge ihrer einfachen, glatten Konstruktion und ihrer vertikalen Lage vollkommen unbedenklich.

Der vertikale Druck (Auftrieb) auf den Wehrkörper wird durch den Stab (e) zentrisch aufgenommen und auf das Pfeilermauerwerk übertragen, wo zu diesem Zwecke der Riegel (h) vorgesehen ist, der die Kraft auf einen mit dem Pfeiler fest verbundenen Gußkörper oder eine entsprechende Eisenkonstruktion (v) überträgt. Im allgemeinen sind gerade wegen der Tiefstlage der Drehgelenke die Auftriebskräfte klein, so daß die konstruktive Ausbildung des Stabes (e) auf keine Schwierigkeiten stößt.

Diese Art der Auflagerung besitzt neben dem erzielten Hauptzwecke, der Beweglichkeit des Drehpunktes, den Vorteil einer klaren Kräfteübertragung, da die Horizontal- und Vertikalkomponente gesondert auf die Auflagerplatte (g) bzw. den Stab (e)

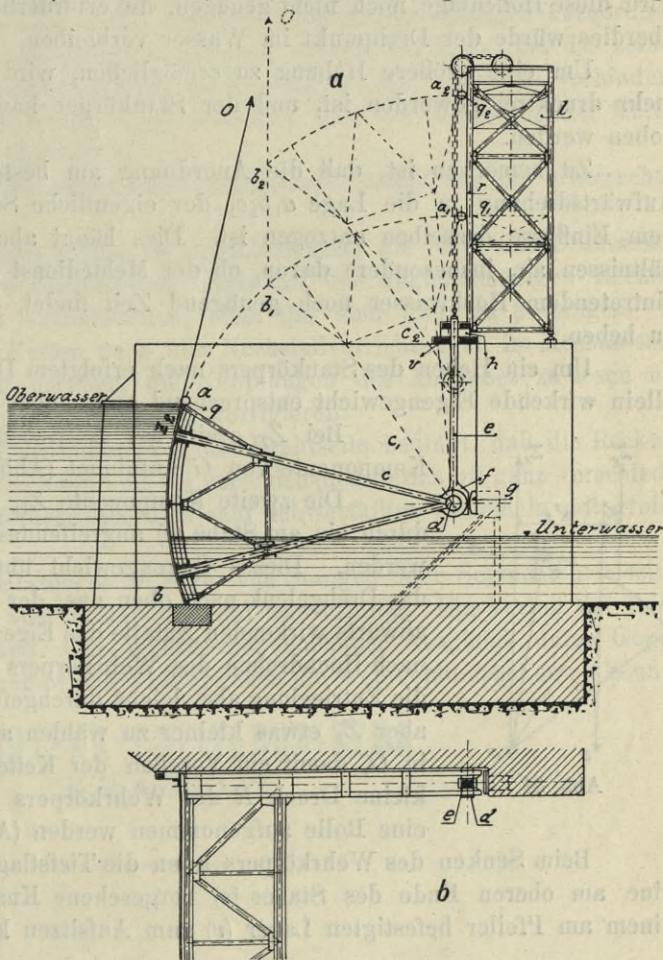


Abb. 53a—b.

zentrisch übertragen wird, diese Konstruktionsglieder also genau berechnet und dementsprechend ausgebildet werden können.

b) Der Bewegungsvorgang.

Durch diese Auflagerung wird nun folgender Bewegungsvorgang möglich (Abb. 53a): Denkt man sich den Riegel (h) geschlossen, so unterscheidet sich der Staukörper nicht von dem bekannten festgelagerten Segmentwehre. Er kann aus seiner Tiefstlage durch einen Antriebsmechanismus hochgedreht werden bis in die Lage $a_1 b_1 c_1$. Im allgemeinen wird diese Höhenlage noch nicht genügen, die erforderliche Durchfahrthöhe freizulegen, überdies würde der Drehpunkt im Wasser verbleiben.

Um eine größere Hebung zu ermöglichen, wird der Riegel (h) gelöst, der nunmehr druckfrei geworden ist, und der Staukörper kann in die Höchstlage $a_2 b_2 c_2$ gehoben werden.

Zu bemerken ist, daß die Anordnung am besten so gewählt wird, daß nach Aufwärtsdrehung in die Lage $a_1 b_1 c_1$ der eigentliche Staukörper auch bei Hochwasser dem Einflusse desselben entzogen ist. Dies hängt aber auch von den örtlichen Verhältnissen ab, insbesondere davon, ob der Meldedienst so organisiert ist, daß man bei eintretendem Hochwasser noch genügend Zeit findet, den Staukörper zu drehen und zu heben.

Um ein Heben des Staukörpers nach erfolgtem Drehen zu ermöglichen, muß das allein wirkende Eigengewicht entsprechend aufgehoben werden.

Bei Z_2 greift der Antriebsmechanismus an, der also eine Komponente von G aufnimmt (Abb. 54 und Abb. 53).

Die zweite Komponente Z_1 , die im Drehpunkte wirkt, kann durch ein am Stabe (e) angreifendes Gegengewicht (l) aufgenommen werden. Dieses Gegengewicht übt einen konstanten Zug Z_1 auf das Drehgelenk nach oben aus, der theoretisch gleich ist dem nach abwärts wirkenden Anteile des Eigengewichtes, so daß der Riegel (h) nach Hochdrehen des Wehrkörpers theoretisch keine Kräfte erhält, die Entriegelung also leicht durchgeführt werden kann. Praktisch ist aber Z_1 etwas kleiner zu wählen als die Eigengewichtskomponente in O , damit ein Voreilen der Kette Z_1 nicht eintreten kann. Der kleine Druck R des Wehrkörpers gegen die Führung kann durch eine Rolle aufgenommen werden (Abb. 54, Rolle q).

Beim Senken des Wehrkörpers kann die Tiefstlage der Drehgelenke leicht durch eine am oberen Ende des Stabes (e) vorgesehene Knagge begrenzt werden, die auf einem am Pfeiler befestigten Lager (v) zum Aufsitzen kommt.

E. Der Antriebsmechanismus.

Die Art des Antriebes hängt von der zur Verfügung stehenden Energie und Bewegungszeit ab. Handelt es sich um ein rasches Bewegung (Öffnen und Schließen), so wird man motorische Kraft wählen müssen. Meist ist ja mit einem größeren Wehre eine elektrische Kraftanlage in Verbindung, so daß elektrische Energie zur Verfügung steht.

Für alle Fälle ist es aber angezeigt, neben dem maschinellen Antrieb einen Handantrieb zur Reserve vorzusehen. Die Hubzeit ist natürlich bei Handantrieb ungleich größer.

Vergleichende Entwürfe zeigen, daß bei motorischem Antriebe am besten die ganze Arbeit durch den Motor zu leisten ist, Gegengewichte also vermieden werden.

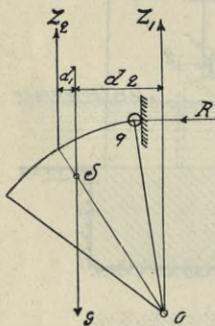


Abb. 54.

Ein entsprechend stärkerer Motor verteuert die Anlage nur unerheblich, während die Anordnung von Gegengewichten große Kosten und oft konstruktive Schwierigkeiten verursacht.

Bei ausschließlichem Handantrieb wird aber, allerdings auf Kosten der Wirtschaftlichkeit, ein Gewichtsausgleich im Interesse des rascheren Hebens vorteilhaft sein. Zweckmäßig wird dann die Größe des Gegengewichtes so bemessen, daß beim Hochdrehen des Staukörpers keine Arbeit geleistet wird, vielmehr ein Mann genügt, um die entsprechenden Hebel für die Bremsen zu bedienen und den Bewegungsvorgang zu überwachen. Man kann auf diese Weise selbst bei großen Gewichten des Staukörpers eine äußerst kurze Hubzeit erreichen. Dabei sind aber Feststellvorrichtungen anzuordnen, damit man die Gegengewichte nach geringem Anheben ausschalten kann, um das selbsttätige Heben des Wehrkörpers durch das unten hindurchströmende Wasser zu verhindern. Auch in der untersten Lage des Wehrkörpers wird sich dies zur Entlastung der Ketten und zwecks besserer Dichtung empfehlen.

Ob Seil- oder Kettenantrieb angewendet werden soll, hängt von der erwünschten Betriebssicherheit ab.

Der Antrieb mit GALLSchen Ketten ist betriebssicherer als jener mit Drahtseilen, aber bedeutend teurer. Er vermindert den Übelstand des ungleichmäßigen Reckens der Zugorgane an den beiden Antriebsseiten, ohne ihn aber ganz zu beseitigen. Es werden daher bei sehr langen Ketten auch hier Nachstellvorrichtungen im Mechanismus nötig, die grundsätzlich darauf beruhen, die Kupplungen des Antriebes zu lösen und entsprechend der ungleichmäßigen Reckung zu korrigieren.

Es liegt schon in dem Fabrikationsweg der Drahtseile bedingt, daß die Reckung schlecht vorher bestimmt werden kann und bei verschiedenen Seilen oft ganz verschieden ausfällt. Starke Drahtseile erfordern überdies sehr schwerfällige Trommeln mit großen Radien.

Die Anwendung von Triebstücken in Form von Stangen oder Segmenten beseitigt wohl die obigen Nachteile, ist aber kostspielig und schwerfällig. Ein Vorteil der Triebstücke besteht in der Möglichkeit, den Wehrkörper auch bei Ausgleich durch Gegengewichte sowie bei kleinem Eigengewichte kräftig gegen die Wehrsole drücken zu können.

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000301509