

DER BAUINGENIEUR

21. Jahrgang

20. Juni 1940

Heft 23/24

SPEICHERUNGS-AUFGABEN BEIM ENTWURF VON STAUBECKEN.

Von Ing. Josef Frank, Wasserkraftabteilung der Siemens-Schuckertwerke, Berlin.

DK 628.13:627.8

Übersicht: Die bisher nur durch schrittweise Berechnung lösbaren Speicheraufgaben bei der Bemessung der Entlastungseinrichtungen von Talsperren werden zur Erleichterung der Entwurfsarbeit analytisch behandelt. Die entwickelten Formeln gestatten zusammen mit Funktionstabellen eine rasche rechnerische Lösung. Für allgemeine Fälle wird ein zeichnerisches Verfahren angegeben.

Zu den verantwortungsvollsten Arbeiten beim Entwurf von Staubecken gehört die richtige Bemessung der Hochwasserüberläufe und der Grundablässe. Die sich dabei ergebenden Aufgaben sind als Seerrückhalt und als Beckenentleerung bekannt und wurden bislang durch schrittweise Lösung der Differentialgleichung behandelt. Dieses Verfahren hat zwar den Vorteil, daß es eine genaue und ins einzelne gehende Berücksichtigung der Zuflußganglinie und der Beckenkennlinie gestattet, ist aber wie alle Integrationen in endlicher Form zeitraubend und für eine übersichtliche Entwurfsarbeit recht umständlich.

Zweifellos würden geschlossene Formeln, wie wir sie an Stelle numerischer Integrationen z. B. bei Stau- und Senkungslinien oder zur Untersuchung von Wasserschloß-Schwingungen mit großem Vorteil anwenden, auch im vorliegenden Fall eine wesentliche Erleichterung der Entwurfsarbeit bedeuten. Einer solchen Lösung scheint aber als Haupthindernis der Umstand entgegenzustehen, daß es nicht möglich ist, Zuflußganglinie und Beckenkennlinie durch mathematische Beziehungen genau zu beschreiben. Bei näherem Zusehen kann man aber feststellen, daß diese Schwierigkeiten bei weitem nicht so groß sind, wie es anfänglich den Anschein hat.

So kann es offensichtlich nicht der Zweck z. B. einer Untersuchung des Seerrückhaltes sein, den Abfluß- und Füllungsvorgang bis in alle Einzelheiten zu erforschen für eine Zuflußganglinie der Vergangenheit, die in genau der gleichen Form in Zukunft nie mehr auftreten wird. Es ist somit ohne Zweifel gerechtfertigt, die Zuflußganglinie weitgehend zu vereinfachen und etwa eine dreieckförmige Hochwasserspitze großzügig in eine abgetreppte Ganglinie mit verhältnismäßig lange unveränderlich bleibenden Wasserführungen zu verwandeln. Andererseits ist es aber auch möglich, die wirklichen Kennlinien des Staubeckens (Oberfläche und Inhalt) genügend genau durch einfache geometrische Gebilde, etwa durch Gerade oder Parabeln zu ersetzen.

Auf Grund dieser Feststellungen kann somit die Fragestellung für eine analytische Behandlung in geschlossener Form auf den Fall einer unveränderlichen Zulaufmenge und parabolischer oder gerader Beckenkennlinien begrenzt werden. Gelingt es, hierfür allgemein gültige Funktionstabellen aufzustellen, so sind damit die Voraussetzungen für eine abgekürzte Behandlung der vorliegenden Speicheraufgaben gegeben.

Die allgemeine Grundgleichung lautet

$$(1) \quad F \cdot dz = Q_z \cdot dt - Q_a \cdot dt,$$

wobei F die Beckenoberfläche, z den Seestand, Q_z die Zulaufmenge, Q_a die Ablaufmenge und t die Zeit bedeuten.

Im allgemeinen Fall sind F und Q_a von z und Q_z von t abhängig, und eine Lösung kann dann nur durch Integration in endlicher Form geschehen. Scheidet man aber die letztgenannte Abhängigkeit, wie oben begründet, durch $Q_z = \text{konst.}$ aus, so sind unter gewissen vereinfachenden Annahmen für $F = \varphi(z)$ strenge Lösungen möglich.

1. Rechnerische Verfahren.

1. Beckenentleerung bzw. -füllung bei wirksamem Grundablaß.

Die Abflußmenge Q_a ist gegeben durch die Beziehungen

$$(2) \quad Q_a = c \cdot \sqrt{z}$$

$$(3) \quad c = f \cdot \sqrt{\frac{2g}{1 + \Sigma \zeta}}$$

wobei z = Wasserstand über Grundablaßachse, f = Rohrquerschnitt und $\Sigma \zeta$ = Summe aller Widerstandsbeiwerte, wenn die Widerstände (Eintritt, Reibung, Umlenkungen, Abschlußorgane usw.) in der allgemeinen Form $\zeta \cdot \frac{v^2}{2g}$ vorausgesetzt¹ sind.

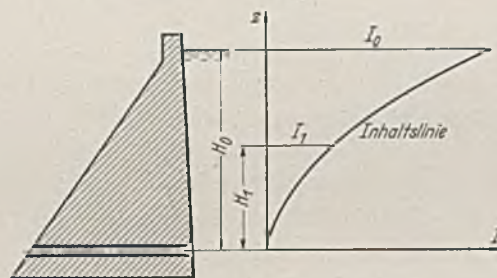


Abb. 1.

Die Inhaltslinie wird, wie schon oben angedeutet, als Parabel von der Form

$$(4) \quad I = k \cdot z^x$$

angenommen, deren Scheitel im Ursprung liegt und deren Festwerte k und x so gewählt werden, daß sie sich der tatsächlich vorhandenen Inhaltslinie möglichst anschmiegt (Abb. 1).

Für $I = I_0$ und $z = H_0$ ergibt sich aus Gl. (4) $k = \frac{I_0}{H_0^x}$. Der Exponent x wird durch Wahl eines geeigneten Zwischenpunktes (H_1, I_1) der Inhaltslinie bestimmt und ergibt sich aus

$$(5) \quad \left. \begin{aligned} I_1 &= \frac{I_0}{H_0^x} \cdot H_1^x \text{ zu} \\ x &= \frac{\log \left(\frac{I_1}{I_0} \right)}{\log \left(\frac{H_1}{H_0} \right)} \end{aligned} \right\}$$

Die Parabelgleichung lautet also

$$(6) \quad I = \frac{I_0}{H_0^x} \cdot z^x.$$

In Abb. 2 sind für eine Reihe von ausgeführten Talsperren die Inhaltslinien aufgetragen und ebenso die Parabeln nach Gl. (6) für $x = 1 \dots 3$, wobei als Höhenmaßstab jeweils die größte Füllungshöhe H_0 und als Inhaltsmaßstab der größte Sperrinhalt I_0 gewählt sind. Es zeigt sich, daß der Exponent x zwischen 1 und 3

¹ Gl. (3) gilt für unveränderlichen Rohrquerschnitt. Auch für veränderlichen Querschnitt läßt sich eine entsprechende Beziehung ohne Schwierigkeiten anschreiben. Es empfiehlt sich dann, c auf den Austrittsquerschnitt zu beziehen.

schwankt, wobei $x = 1$ der unveränderlichen Beckenfläche entspricht und als kleinstmöglicher Grenzwert anzusehen ist. Durch Einpassen einer gegebenen Inhaltslinie in Abb. 2 lassen sich ohne Schwierigkeiten gut zutreffende Annahmen für eine Ersatzparabel machen, und insbesondere wird es dadurch auch möglich sein, zur genaueren Ermittlung von x nach Gl. (6) ein passendes Wertepaar (H_1, I_1) auszuwählen.

Im folgenden wird nunmehr für eine Anzahl von runden x -Werten (1,0, 1,5, 2,0, 2,5, 3,0) die Integration von Gl. (1) durchgeführt und in ihren Ergebnissen in Funktionentafeln zusammengestellt. Für zwischenliegende unrunde Exponenten kann dann, falls überhaupt erforderlich, eine Zwischenschaltung vorgenommen werden.

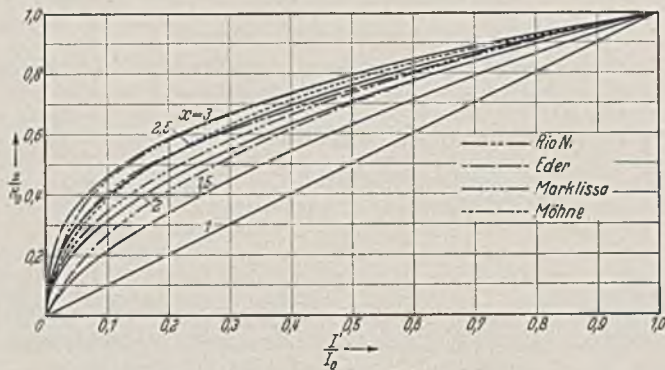


Abb. 2. Inhaltslinien einiger Talsperren.

Nach Gl. (1) ist

$$(7) \quad dt = \frac{F \cdot dz}{Q_z - Q_a}$$

Die Beckenfläche ergibt sich aus Gl. (6) zu

$$(8) \quad F = \frac{dI}{dz} = \frac{x \cdot I_0 \cdot z^{x-1}}{H_0^x}$$

Die Abfluß- und die Zuflußmengen sind entsprechend Gl. (2)

$$Q_a = c \cdot z^{1/2} \quad \text{und} \quad Q_z = c \cdot z_0^{1/2}$$

z_0 bedeutet also die für den Abfluß der Wassermenge Q_z am Grundablaß erforderliche Beckenfüllung

$$(9) \quad z_0 = \left(\frac{Q_z}{c} \right)^2$$

Wird nunmehr z_0 als Höhenmaßstab gewählt,

$$(10) \quad z = \xi \cdot z_0 \quad \text{bzw.} \quad \xi = \frac{z}{z_0} = \left(\frac{Q_a}{Q_z} \right)^2,$$

so ist

$$Q_a = c \cdot \xi^{1/2} \cdot z_0^{1/2}, \quad dz = z_0 \cdot d\xi \quad \text{und} \quad z^{x-1} = \xi^{x-1} \cdot z_0^{x-1},$$

und aus Gl. (7) geht nach Einsetzung der vorstehenden Werte hervor:

$$(11) \quad dt = \frac{x \cdot I_0 \cdot z_0^{x-1/2}}{c \cdot H_0^x} \cdot \frac{\xi^{x-1}}{1 - \xi^{1/2}} \cdot d\xi$$

und

$$(12) \quad t = \frac{x \cdot I_0 \cdot z_0^{x-1/2}}{c \cdot H_0^x} \int_{\xi_1}^{\xi_2} \frac{\xi^{x-1}}{1 - \xi^{1/2}} \cdot d\xi$$

Für Beckenfüllung ist hierin $\xi < 1$, für Beckenleerung $\xi > 1$.

Das Integral $\int \frac{\xi^{x-1}}{1 - \xi^{1/2}} \cdot d\xi$ wird für die verschiedenen Exponenten x der Gl. (6) durch folgende Funktionswerte ausgedrückt:

$$(13) \quad \begin{array}{l} \text{Leerung, } \xi > 1 \\ x = 1 \quad \Lambda(\xi) = -\ln(\xi^{1/2}-1) - \xi^{1/2} \\ x = 1,5 \quad C(\xi) = -\ln(\xi^{1/2}-1) - \xi^{1/2} - \frac{\xi}{2} \\ x = 2 \quad M(\xi) = -\ln(\xi^{1/2}-1) - \xi^{1/2} - \frac{\xi}{2} - \frac{\xi^{3/2}}{3} \\ x = 2,5 \quad V(\xi) = -\ln(\xi^{1/2}-1) - \xi^{1/2} - \frac{\xi}{2} - \frac{\xi^{3/2}}{3} - \frac{\xi^2}{4} \\ x = 3 \quad X(\xi) = -\ln(\xi^{1/2}-1) - \xi^{1/2} - \frac{\xi}{2} - \frac{\xi^{3/2}}{3} - \frac{\xi^2}{4} - \frac{\xi^{5/2}}{5} \end{array}$$

Füllung, $\xi < 1$,

$$(14) \quad \begin{array}{l} x = 1 \quad B(\xi) = -\ln(1-\xi^{1/2}) - \xi^{1/2} \\ x = 1,5 \quad D(\xi) = -\ln(1-\xi^{1/2}) - \xi^{1/2} - \frac{\xi}{2} \\ x = 2 \quad N(\xi) = -\ln(1-\xi^{1/2}) - \xi^{1/2} - \frac{\xi}{2} - \frac{\xi^{3/2}}{3} \\ x = 2,5 \quad W(\xi) = -\ln(1-\xi^{1/2}) - \xi^{1/2} - \frac{\xi}{2} - \frac{\xi^{3/2}}{3} - \frac{\xi^2}{4} \\ x = 3 \quad Y(\xi) = -\ln(1-\xi^{1/2}) - \xi^{1/2} - \frac{\xi}{2} - \frac{\xi^{3/2}}{3} - \frac{\xi^2}{4} - \frac{\xi^{5/2}}{5} \end{array}$$

Damit ergeben sich auf Grund von Gl. (12) nachstehende Formeln zur Bestimmung der Zeit t bzw. bei gegebenem t zur Berechnung der erreichbaren Absenkungs- bzw. Anstauungshöhe $z_2 = \xi_2 \cdot z_0$

Leerung, $\xi > 1$,

$$(15) \quad \begin{array}{l} x = 1 \quad t = \frac{2 \cdot I_0 \cdot z_0^{1/2}}{c \cdot H_0} \cdot \{ \Lambda(\xi_2) - \Lambda(\xi_1) \} \\ x = 1,5 \quad t = \frac{3 \cdot I_0 \cdot z_0}{c \cdot H_0^{1/2}} \cdot \{ C(\xi_2) - C(\xi_1) \} \\ x = 2 \quad t = \frac{4 \cdot I_0 \cdot z_0^{3/2}}{c \cdot H_0^2} \cdot \{ M(\xi_2) - M(\xi_1) \} \\ x = 2,5 \quad t = \frac{5 \cdot I_0 \cdot z_0^2}{c \cdot H_0^{3/2}} \cdot \{ V(\xi_2) - V(\xi_1) \} \\ x = 3 \quad t = \frac{6 \cdot I_0 \cdot z_0^{5/2}}{c \cdot H_0^3} \cdot \{ X(\xi_2) - X(\xi_1) \} \end{array}$$

Füllung, $\xi < 1$,

$$(16) \quad \begin{array}{l} x = 1 \quad t = \frac{2 \cdot I_0 \cdot z_0^{1/2}}{c \cdot H_0} \cdot \{ B(\xi_2) - B(\xi_1) \} \\ x = 1,5 \quad t = \frac{3 \cdot I_0 \cdot z_0}{c \cdot H_0^{1/2}} \cdot \{ D(\xi_2) - D(\xi_1) \} \\ x = 2 \quad t = \frac{4 \cdot I_0 \cdot z_0^{3/2}}{c \cdot H_0^2} \cdot \{ N(\xi_2) - N(\xi_1) \} \\ x = 2,5 \quad t = \frac{5 \cdot I_0 \cdot z_0^2}{c \cdot H_0^{3/2}} \cdot \{ W(\xi_2) - W(\xi_1) \} \\ x = 3 \quad t = \frac{6 \cdot I_0 \cdot z_0^{5/2}}{c \cdot H_0^3} \cdot \{ Y(\xi_2) - Y(\xi_1) \} \end{array}$$

Die Funktionswerte der Gl. (13) und (14) sind in den Zahlentafeln 1 und 2 zusammengestellt.

In manchen Fällen mag es erwünscht sein, die Oberflächenlinie innerhalb bestimmter Ordinaten als Gerade aufzufassen mit einem Ordinatenabschnitt h und einer Fläche F_0 in Stauzielhöhe (Abb. 3).

$$F = \frac{F_0}{H'} \cdot (z - h)$$

Aus den Gl. (9), (10) und (7) ergibt sich sodann

$$(17) \quad t = \frac{F_0 \cdot z_0^{1/2}}{c \cdot H'} \int_{\xi_1}^{\xi_2} \frac{h}{1 - \xi^{1/2}} \cdot d\xi$$

Die Integration liefert für Leerung, $\xi > 1$,

$$(18) \quad t = \frac{2 F_0 \cdot z_0^{1/2}}{c \cdot H'} \cdot \left\{ [M(\xi_2) - M(\xi_1)] - \frac{h}{z_0} [\Lambda(\xi_2) - \Lambda(\xi_1)] \right\}$$

und für Füllung, $\xi < 1$,

$$(19) \quad t = \frac{2 F_0 \cdot z_0^{1/2}}{c \cdot H'} \cdot \left\{ [N(\xi_2) - N(\xi_1)] - \frac{h}{z_0} [B(\xi_2) - B(\xi_1)] \right\}$$

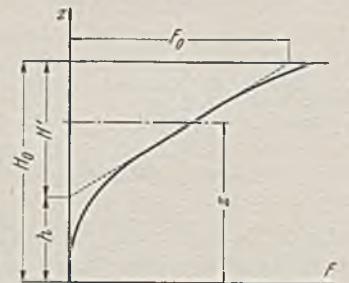


Abb. 3.

² Bezüglich des Begriffes der Füllung bei offenem Grundablaß sei daran erinnert, daß während der Entleerung eines Staubeckens eine Hochwasserwelle eintreten kann, die trotz des geöffneten Grundablasses ein Wiederansteigen des Beckenspiegels bewirkt.

Die hierin vorkommenden Funktionswerte $A(\xi)$, $B(\xi)$, $M(\xi)$ und $N(\xi)$ sind durch die Gl. (13) und (14) gegeben und können den Zahlentafeln 1 und 2 entnommen werden.

Welchen Einfluß der Grad x der Ersatzparabel Gl. (6) auf den Entleerungsvorgang hat, zeigt Abb. 4, der nachstehende Zahlen zugrunde liegen:

$$H_0 = 50 \text{ m}, I_0 = 300 \cdot 10^6 \text{ m}^3, Q_a = 50 \cdot \sqrt{z}, \\ c = 50, Q_z = 50 \text{ m}^3/\text{s}, z_0 = 1 \text{ m}.$$

Die Angleichung der z -Linie an den Beharrungszustand $z = z_0$ bei eingetretener vollständiger Entleerung erfolgt, wie sich aus Gl. (11) für $\xi = 1$ ergibt, in allen Fällen asymptotisch. Bei Becken mit großem x ist aber die praktisch vollkommene Annäherung an $z = z_0$ schon sehr früh erreicht, dagegen ist die Entleerungsdauer für Becken mit z. B. $x = 1,0$ und $1,5$ erheblich länger. Becken mit hoch liegendem Schwerpunkt laufen daher schneller leer als solche

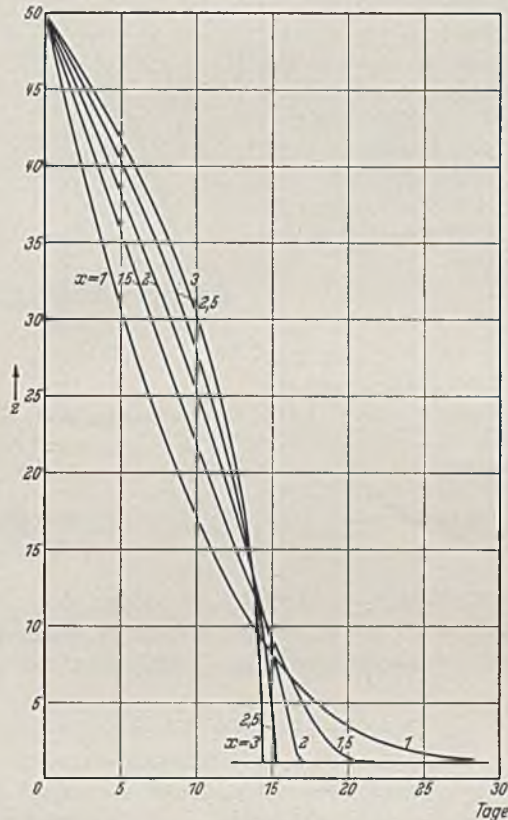


Abb. 4. Entleerungsvorgang einer Sperre bei Annahme parabolischer Inhaltlinien von verschiedenem Grad x und unveränderlichem Inhalt I_0 .

mit tief liegendem Schwerpunkt. Hat man also für die Entleerung nur eine beschränkte Zeit zur Verfügung, so muß der Grundablaß im letzteren Fall größer bemessen werden.

Die bisher angegebenen Verfahren versagen, wenn der Zufluß $Q_z = 0$ wird.

Für diesen Fall ist nach Gl. (7)

$$(20) \quad dt = \frac{F}{Q_1} \cdot dz$$

und mit $Q_a = c \cdot z^{1/2}$ sowie F nach Gl. (8)

$$(21) \quad dt = \frac{x \cdot I_0}{c \cdot H^x} \cdot z^{x-\frac{3}{2}} \cdot dz$$

und nach Integration

$$(22) \quad t = \frac{2x}{2x-1} \cdot \frac{I_0}{c \cdot H^x} \left(z_2^{x-\frac{1}{2}} - z_1^{x-\frac{1}{2}} \right).$$

Zahlenbeispiel.

Für ein Becken von $I_0 = 300 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, $H_0 = 50 \text{ m}$, $c = 50$, $Q_0 = 50 \text{ m}^3/\text{s}$ ist die Entleerungszeit zu bestimmen. Die Inhaltlinie ist durch einen kennzeichnenden Zwischenpunkt ($z = 30 \text{ m}$, $I = 80 \cdot 10^6 \text{ m}^3$) näher gegeben.

Nach Gl. (9) ist $z_0 = \left(\frac{50}{50}\right)^2 = 1,00 \text{ m}$, ferner nach Gl. (5)

$$x = \frac{\log \left(\frac{80 \cdot 10^6}{300 \cdot 10^6} \right)}{\log \left(\frac{30}{50} \right)} = 2,59.$$

Gl. (15) kann also für $x = 2,5$ genau genug unmittelbar verwendet werden.

Die vollständige Leerung sei durch $\xi_2 = 1,02$ gekennzeichnet: Nach Zahlentafel 1 ist (mit $\xi_1 = 50 : 1 = 50$)

$$V(50) = -776,72 \text{ und } V(1,02) = +2,49,$$

also nach Gl. (15) für $x = 2,5$

$$t = \frac{5 \cdot 300 \cdot 10^6 \cdot 1,02^2}{50 \cdot 50^{3/2} \cdot 86400} \cdot (2,49 + 776,72) = 15,3 \text{ Tage}$$

(1 Tag = 86 400 s).

(Bei genauerer Rechnung wäre t in gleicher Weise auch für $x = 3$ zu berechnen und der $x = 2,59$ entsprechende Wert durch Zwischenschaltung zu bestimmen).

2. Umformung von Hochwasserwellen an Talsperren mit Überläufen.

Die Abflußmenge Q_a der Gl. (1) ergibt sich bei Überströmung eines Überlaufes zu

$$(23) \quad Q_a = c_1 \cdot z^{3/2},$$

wobei

$$(24) \quad c_1 = 2/3 \cdot \mu \cdot B \cdot \sqrt{2g},$$

z = Wasserstand über der Überfallkrone,

μ = Einschnürungswert beim vollkommenen Überfall,

B = Überfallbreite.

Entsprechend Abb. 5 wird die Beckenoberfläche geradlinig veränderlich angenommen. Dabei wird mit F_0 die Oberfläche in

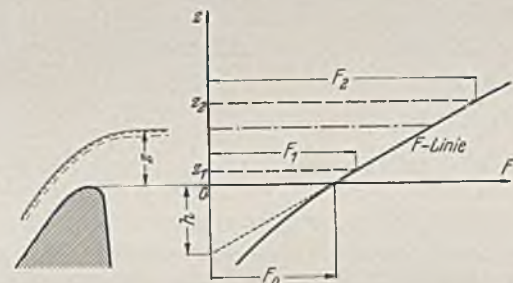


Abb. 5.

Höhe der Überfallschwelle bezeichnet und mit h der Ordinatenabschnitt der F -Linie.

$$(25) \quad F = F_0 \cdot \frac{h+z}{h}.$$

Ist das gerade Kurvenstück durch die Endpunkte (z_1, F_1) und (z_2, F_2) gegeben, so ist

$$(25a) \quad h = \frac{z_2 \cdot \frac{F_1}{F_2} - z_1}{1 - \frac{F_1}{F_2}}.$$

Die der Zuflußmenge Q_z entsprechende Überfallhöhe ist

$$(26) \quad z_0 = \left(\frac{Q_z}{c_1} \right)^{2/3}.$$

In gleicher Weise wie früher wird ferner gesetzt

$$(27) \quad z = \xi \cdot z_0 \text{ bzw. } \xi = \frac{z}{z_0} = \left(\frac{Q_a}{Q_z} \right)^{3/2}.$$

Durch Einführung der Beziehungen Gl. (25) bis (27) wird aus Gl. (1) die Differentialgleichung

$$(28) \quad dt = \frac{F_0 \cdot z_0^{1/2}}{c_1 \cdot h} \cdot \frac{\xi + \frac{h}{z_0}}{1 - \xi^{3/2}} \cdot d\xi$$

gewonnen, aus der sich die Zeit t ergibt:

$$t = \frac{F_0 \cdot z_0^{1/2}}{c_1 \cdot h} \int_{\xi_1}^{\xi_2} \frac{\xi + \frac{h}{z_0}}{1 - \xi^{3/2}} \cdot d\xi$$

bzw.

$$(29) \quad t = \frac{F_0 \cdot z_0^{1/2}}{c_1 \cdot h} \cdot \left\{ \int_{\xi_1}^{\xi_2} \frac{\xi}{1 - \xi^{3/2}} \cdot d\xi + \frac{h}{z_0} \int_{\xi_1}^{\xi_2} \frac{1}{1 - \xi^{3/2}} \cdot d\xi \right\}$$

Die allgemeinen Integrale haben folgende Werte:

Für $\xi < 1$, Füllung:

$$(30) \quad \int \frac{\xi}{1 - \xi^{3/2}} \cdot d\xi = \Phi_1(\xi) = -\frac{2}{3} \ln(1 - \xi^{1/2}) + \frac{1}{3} \ln(\xi + \xi^{1/2} + 1) + \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \arctg \frac{1 + 2\xi^{1/2}}{\sqrt{3}} - 2\xi^{1/2}$$

$$(31) \quad \int \frac{1}{1 - \xi^{3/2}} \cdot d\xi = \Phi(\xi) = -\frac{2}{3} \ln(1 - \xi^{1/2}) + \frac{1}{3} \ln(\xi + \xi^{1/2} + 1) - \frac{2}{\sqrt{3}} \arctg \frac{1 + 2\xi^{1/2}}{\sqrt{3}}$$

für $\xi > 1$, Leerung:

$$(32) \quad \int \frac{\xi}{1 - \xi^{3/2}} \cdot d\xi = \Psi_1(\xi) = -\frac{2}{3} \ln(\xi^{1/2} - 1) + \frac{1}{3} \ln(\xi + \xi^{1/2} + 1) + \frac{2}{\sqrt{3}} \arctg \frac{1 + 2\xi^{1/2}}{\sqrt{3}} - 2\xi^{1/2}$$

$$(33) \quad \int \frac{1}{1 - \xi^{3/2}} \cdot d\xi = \Psi(\xi) = -\frac{2}{3} \ln(\xi^{1/2} - 1) + \frac{1}{3} \ln(\xi + \xi^{1/2} + 1) - \frac{2}{\sqrt{3}} \arctg \frac{1 + 2\xi^{1/2}}{\sqrt{3}}$$

Damit wird aus Gl. (29)

für Füllung, $\xi < 1$,

$$(34) \quad t = \frac{F_0}{c_1 \cdot z_0^{1/2}} \cdot \left\{ \Phi(\xi_2) - \Phi(\xi_1) \right\} + \frac{F_0 \cdot z_0^{1/2}}{c_1 \cdot h} \cdot \left\{ \Phi_1(\xi_2) - \Phi_1(\xi_1) \right\}$$

für Leerung, $\xi > 1$,

$$(35) \quad t = \frac{F_0}{c_1 \cdot z_0^{1/2}} \cdot \left\{ \Psi(\xi_2) - \Psi(\xi_1) \right\} + \frac{F_0 \cdot z_0^{1/2}}{c_1 \cdot h} \cdot \left\{ \Psi_1(\xi_2) - \Psi_1(\xi_1) \right\}$$

Diese beiden Gleichungen gestatten eine unmittelbare Berechnung von t , wenn ξ_1 und ξ_2 gegeben sind. Sind aber t und ξ_1 gegeben, so kann ξ_2 nur durch allmähliche Annäherung gefunden werden. Es ist hier aber zu bedenken, daß bei Aufstellung der Differentialgleichung eine unveränderliche Zulaufmenge angenommen wurde. In den meisten Fällen wird daher als weitere Vereinfachung ohne weiters auch noch die Annahme einer unveränderlichen Beckenfläche $F_0 = F$ zulässig sein. In den Gl. (34) und (35) wird dann, da $h = \infty$, das zweite Glied rechts gleich Null, und es ergibt sich:

für Füllung, $\xi < 1$,

$$(36) \quad t = \frac{F}{c_1 \cdot z_0^{1/2}} \cdot \left\{ \Phi(\xi_2) - \Phi(\xi_1) \right\}$$

für Leerung, $\xi > 1$,

$$(37) \quad t = \frac{F}{c_1 \cdot z_0^{1/2}} \cdot \left\{ \Psi(\xi_2) - \Psi(\xi_1) \right\}$$

Bei Anwendung von Gl. (36) und (37) wird zunächst die im voraussichtlichen Bereich der Spiegelbewegung mittlere Fläche geschätzt, sodann wird nach Bestimmung von ξ_2 der angenommene Wert überprüft und die Rechnung nötigenfalls mit dem neuen F wiederholt.

Die Funktionen $\Phi(\xi)$, $\Psi(\xi)$, $\Phi_1(\xi)$ und $\Psi_1(\xi)$ sind in den Zahlentafeln 3 und 4 gegeben.

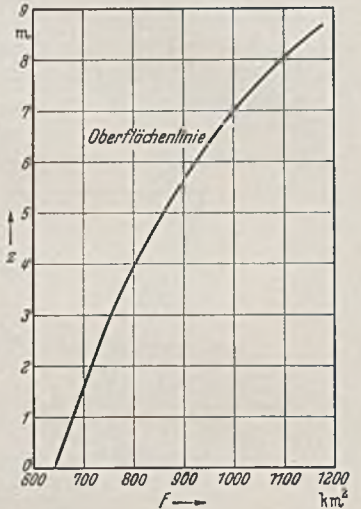
Wie die vorstehenden Berechnungsverfahren z. B. auf die Untersuchung eines Rückhaltevorganges angewendet werden können, zeigt nachstehendes Zahlenbeispiel.

Es wird das der Abb. 8 zugrundegelegte Beispiel gewählt. Entsprechend den eingangs angestellten Erörterungen wird die

in der Abb. ersichtliche Zuflußganglinie durch die gestrichelt eingetragene treppenförmige Linie ersetzt. Diese ist durch folgende Zahlen gegeben:

Zeitabschnitt	I	II	III	IV
Dauer	5	6	6	7 Tage
Q_z	0,432	0,518	0,518	0,605 · 10 ⁶ s
$z_0 = \left(\frac{Q_z}{200,6}\right)^{1/2}$	4025	7587	5161	2280 m ³ /s
	7,39	11,26	8,71	5,05 m

Für den Überfall errechnete sich $c_1 = 200,6$ (nach Gl. 24), womit entsprechend Gl. (26) die z_0 -Werte der Zusammenstellung bestimmt wurden. Der Überfall ist mit 4,65 m hohen Verschlüssen ausgerüstet, die nach Erreichung des Stauzieles ($z = 4,65$ m) zur Zeit Null geöffnet werden. Die Oberflächenlinie ist aus Abb. 6 ersichtlich. Der Berechnung werden die vereinfachten Gl. (36) und (37) zugrundegelegt, und nur in einem Fall sollen die vollständigen Gl. (34) und (35) Verwendung finden.



Zeitabschnitt I.

$z_1 = 4,65$ m, $\xi_1 = 4,65 : 7,39 = 0,630$, $\Phi(\xi_1) = \Phi(0,630) = 0,215$

(nach Zusammenstellung 3). Für einen geschätzten Wert $z_2 = 5,45$ m ist im Bereich zwischen z_1 und z_2 im Mittel $F = 963 \cdot 10^6$ m² (Abb. 6). Nach Gl. (36) ist

$$0,432 \cdot 10^6 = \frac{963 \cdot 10^6}{200,6 \cdot 7,39^{1/2}} \cdot \left\{ \Phi(\xi_2) - 0,215 \right\}$$

woraus

$$\Phi(\xi_2) = 0,460, \quad \xi_2 = 0,737 \quad \text{und} \quad z_2 = 0,737 \cdot 7,39 = 5,45 \text{ m.}$$

Die Annahme von F war zutreffend, also ist nach fünf Tagen der Spiegel auf $z_2 = 5,45$ m über die Überfallschwelle angestiegen.

Zeitabschnitt II.

$$z_1 = 5,45 \text{ m, } \xi_1 = 5,45 : 11,26 = 0,485, \quad \Phi(0,485) = -0,034, \quad F = 1058 \cdot 10^6 \text{ m}^2.$$

$$0,518 \cdot 10^6 = \frac{1058 \cdot 10^6}{200,6 \cdot 11,26^{1/2}} \cdot \left\{ \Phi(\xi_2) + 0,034 \right\},$$

$$\Phi(\xi_2) = 0,295, \quad \xi_2 = 0,668, \quad z_2 = 0,668 \cdot 11,26 = 7,52 \text{ m.}$$

Zeitabschnitt III.

$$z_1 = 7,52 \text{ m, } \xi_1 = 7,52 : 8,71 = 0,863, \quad \Phi(0,863) = +0,923, \quad F = 1163 \cdot 10^6 \text{ m}^2.$$

$$0,518 \cdot 10^6 = \frac{1163 \cdot 10^6}{200,6 \cdot 8,71^{1/2}} \cdot \left\{ \Phi(\xi_2) - 0,923 \right\},$$

$$\Phi(\xi_2) = 1,187, \quad \xi_2 = 0,907, \quad z_2 = 0,907 \cdot 8,71 = 7,90 \text{ m.}$$

Zeitabschnitt IV.

$$z_1 = 7,90 \text{ m, } \xi_1 = 7,90 : 5,05 = 1,565, \quad \Psi(1,565) = +0,085, \quad F = 1025 \cdot 10^6 \text{ m}^2.$$

$$0,605 \cdot 10^6 = \frac{1025 \cdot 10^6}{206,0 \cdot 5,05^{1/2}} \cdot \left\{ \Psi(\xi_2) - 0,085 \right\},$$

$$\Psi(\xi_2) = 0,350, \quad \xi_2 = 1,356, \quad z_2 = 1,356 \cdot 5,05 = 6,85 \text{ m.}$$

Der Beckenspiegel liegt also

nach	0	5	11	17	24	Tagen
auf $z =$. . .	4,65	5,45	7,52	7,90	6,85	m,

und die größte Überlaufmenge beträgt $Q_{\max} = 200,6 \cdot 7,90^{3/2} = 4450$ m³/s. Auf diesen Betrag ist die Hochwasserspitze von 9050 m³/s durch die Talsperre ermäßigt worden.

Ein Vergleich der errechneten Zahlen mit den genauen Ergeb-

nissen der Abb. 8 zeigt eine ausgezeichnete Übereinstimmung, obgleich die Zuflußganglinie bekanntlich weitgehend vereinfacht wurde. Außerdem ist aus den vorstehenden Berechnungen zu ersehen, mit welcher geringem Rechenaufwand gegenüber den bisherigen Verfahren die Aufgabe gelöst werden konnte.

Zum Schluß sei noch die Anwendung der vollständigen Gl. (34) für den Zeitabschnitt I gezeigt:

$$\begin{aligned} z_0 &= 7,39 \text{ m}, z_1 = 4,65 \text{ m}, z_2 = 5,45 \text{ m}, \\ F_1 &= 938 \cdot 10^6 \text{ m}^2, F_2 = 989 \cdot 10^6 \text{ m}^2, F_1 : F_2 = 0,949. \\ \xi_1 &= 0,630, \Phi(0,630) = 0,215, \Phi_1(0,630) = 0,892; \\ \xi_2 &= 0,737, \Phi(0,737) = 0,460, \Phi_1(0,737) = 1,065. \end{aligned}$$

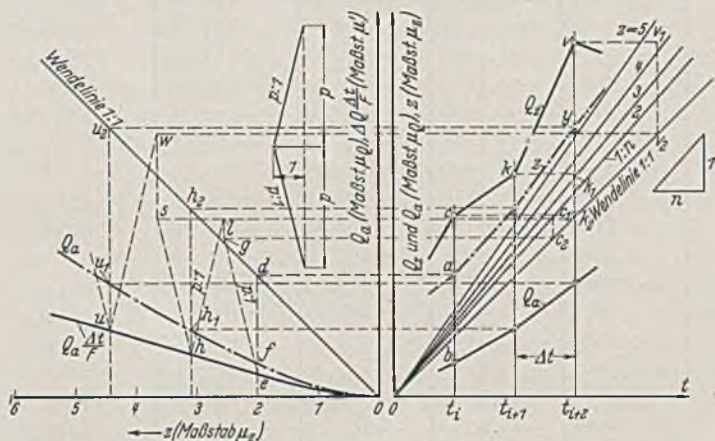


Abb. 7.

Nach Gl. (25a) ist $h = \frac{5,45 \cdot 0,949 - 4,65}{1 - 0,949} = 10,2 \text{ m}$,

nach Gl. (25) $F_0 = 938 \cdot 10^6 \cdot \frac{10,2}{10,2 + 4,65} = 644 \cdot 10^6 \text{ m}^2$,

endlich nach Gl. (34)

$$t = \frac{644 \cdot 10^6}{200,6 \cdot 7,39^{1/2}} \cdot (0,460 - 0,215) + \frac{644 \cdot 10^6 \cdot 7,39^{1/2}}{200,6 \cdot 10,2} \cdot (1,065 - 0,892) = 0,437 \cdot 10^8 \text{ s} = \text{rd. } 5 \text{ Tage, wie oben.}$$

II. Zeichnerisches Verfahren.

Als Ergänzung zu den gegebenen rechnerischen Verfahren sei nun noch ein zeichnerisches Verfahren von ganz allgemeiner Anwendbarkeit für die Lösung der Gl. (1) angegeben. Wie auch anderwärts, z. B. bei Behandlung der Schwingungen in einem Wasserschloß, erweist sich die Zeichnung auch im vorliegenden Fall als vorzügliches Hilfsmittel zur Lösung von Differentialgleichungen in endlicher Form.

Werden in Gl. (1) die Differentiale durch Differenzen ersetzt, so ergibt sich

$$(38) \quad \Delta z = Q_z \cdot \frac{\Delta t}{F} - Q_a \cdot \frac{\Delta t}{F}$$

und mit $Q_z - Q_a = \Delta Q$

$$(39) \quad \Delta z = \Delta Q \cdot \frac{\Delta t}{F}$$

In einem Zeitabschnitt $\Delta t = t_{i+1} - t_i$ ändert sich der Wassermengenunterschied ΔQ zwischen ΔQ_i und ΔQ_{i+1} und die Beckenfläche zwischen F_i und F_{i+1} . Die Spiegeländerung ergibt sich dann mit guter Näherung zu

$$(40) \quad \left\{ \begin{aligned} \Delta z_{i+1} &= 1/2 \cdot \left(\Delta Q_i \cdot \frac{\Delta t}{F_i} \right. \\ &\quad \left. + \Delta Q_{i+1} \cdot \frac{\Delta t}{F_{i+1}} \right). \end{aligned} \right.$$

Auf dieser Beziehung baut das zeichnerische Verfahren auf.

Das Gerippe der Zeichnung und die Konstruktion sind aus Abb. 7 ersichtlich.

Der linke Teil der Zeichnung enthält die Q_a -Linie, die die bei den verschiedenen Spiegellagen z durch die Entlastungseinrichtungen abgeführten Wassermengen angibt. Die Abszissen z sind mit der Maßstabeinheit μ_z ($1 \text{ m} = \mu_z \text{ mm}$) aufgetragen, die Ordinaten Q_a mit der Maßstabeinheit μ_Q ($1 \text{ m}^3/\text{s} = \mu_Q \text{ mm}$). Ferner ist links die $(Q_a \cdot \frac{\Delta t}{F})$ -Kurve angeordnet, die ebenfalls zu den z-Werten als Abszissen dargestellt ist, da sowohl Q_a als auch F nur von z abhängen. $Q_a \cdot \frac{\Delta t}{F}$ ist eine Länge und wird mit der Maßstabeinheit μ' ($1 \text{ m} = \mu' \text{ mm}$) aufgezeichnet. Zur Übertragung der z-Werte in die rechte Zeichnungshälfte ist links außerdem noch eine Wendelinie 1:1 angebracht. Rechts im Bild ist die Zuflußganglinie (Q_z in Abhängigkeit von t) mit der Maßstabeinheit μ_Q ($1 \text{ m}^3/\text{s} = \mu_Q \text{ mm}$) dargestellt. Im Laufe der Untersuchung ergeben sich hier auch noch die Ganglinien für Q_a (Maßeinheit μ_Q) und z (Maßeinheit μ_z). Für die Umrechnung von Q_z in $Q_z \cdot \frac{\Delta t}{F}$ ist ein mit runden z-Werten bezeichnetes Strahlenbündel in Verbindung mit einer Wendelinie 1:1 vorgesehen. Die Neigung der einzelnen Strahlen (1:n) hängt nur von F und damit von z ab.

$$(41) \quad n = \frac{\mu'}{\mu_Q} \cdot \frac{\Delta t}{F}$$

Als weiterer Zeichnungsbehelf ist links noch ein Strahlenkreuz zu sehen, dessen beide Strahlen die zeichnerische Neigung p:1 haben, wobei

$$(42) \quad p = 2 \cdot \frac{\mu'}{\mu_z}$$

Der Nullpunkt der z-Teilung wird zweckmäßig auf jene Höhe gelegt, wo $Q_a = 0$ ist.

Konstruktionsgang:

Die Zeichnung sei bis zur Zeit t_1 vorgeschritten. Die Werte Q_z , z und Q_a sind (rechts) durch die Punkte c, a und b gegeben. Die durch c bezeichnete Wassermenge Q_z wird durch den Linienzug $c-c_1-c_2-g$ mit $\frac{\Delta t}{F}$ multipliziert, wobei, da $z_1 = z_0$, der Punkt c_1 auf dem Strahl $z = z_0$ festzulegen ist. Ein von e ausgehender p:1 geneigter Strahl schneidet dann den Punkt g ab. Der senkrechte Abstand zwischen g und e ist

$(Q_z)_i \cdot \frac{\Delta t}{F_i} - (Q_a)_i \cdot \frac{\Delta t}{F_i} = \Delta Q_i \cdot \frac{\Delta t}{F_i}$ und der waagerechte Abstand der gleichen Punkte $1/2 \cdot \Delta Q_i \cdot \frac{\Delta t}{F_i}$. Nach dem Konstruktionsgang ist es nicht schwierig, die ungefähre Lage von h und damit z_{i+1}

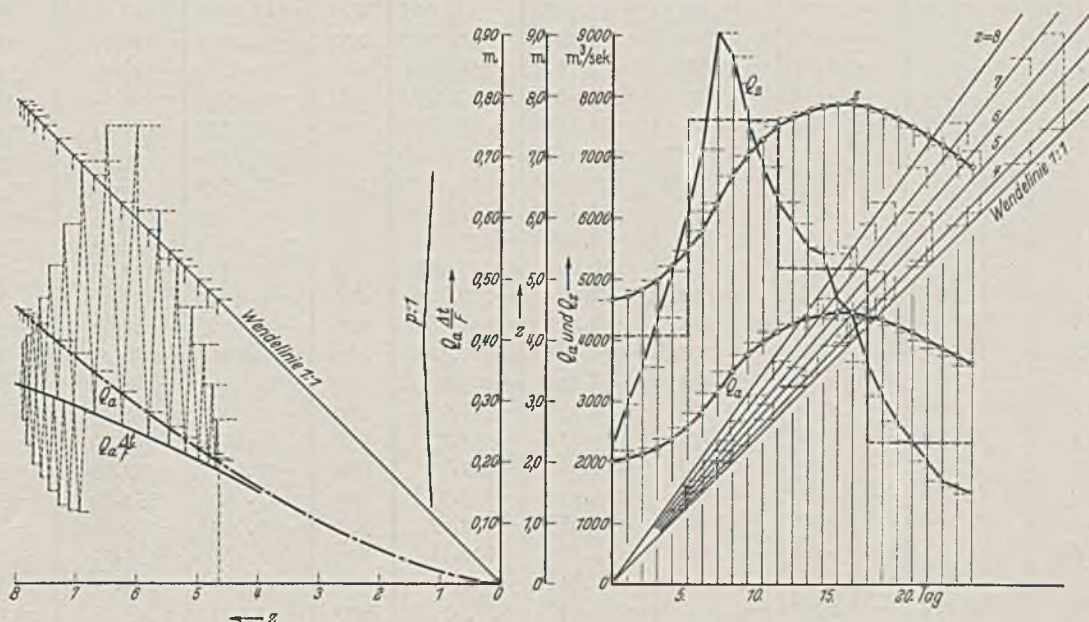


Abb. 8. Zeichnerische Untersuchung des Seerückhaltes.

Zahlentafel I. Beckenleerung durch Grundablaß.

ξ	A(ξ)	C(ξ)	M(ξ)	V(ξ)	X(ξ)	ξ	A(ξ)	C(ξ)	M(ξ)	V(ξ)	X(ξ)
1,02	3,6002	3,0902	2,7468	2,4867	2,2766	27	-6,6304	-20,1304	-66,89	-249,14	-1006,71
1,04	2,9022	2,3822	2,0287	1,7583	1,5377	28	-6,7481	-20,7481	-70,13	-266,13	-1095,83
1,06	2,4917	1,9617	1,5979	1,3170	1,0856	29	-6,8634	-21,3634	-73,42	-283,67	-1189,46
1,08	2,1990	1,6590	1,2849	0,9933	0,7509	30	-6,9762	-21,9762	-76,74	-301,74	-1287,66
1,10	1,9710	1,4210	1,0356	0,7331	0,4793	32	-7,1952	-23,1952	-83,53	-339,53	-1498,06
1,15	1,5534	0,9784	0,5673	0,2367	-0,0469	34	-7,4066	-24,4066	-90,48	-379,48	-1727,58
1,20	1,2536	0,6536	0,2154	-0,1446	-0,4601	36	-7,6094	-25,6094	-97,60	-421,60	-1976,80
1,25	1,0188	0,3938	-0,0716	-0,4622	-0,8116	38	-7,8061	-26,8061	-104,88	-465,88	-2246,10
1,30	0,8247	0,1747	-0,3194	-0,7419	-1,1273	40	-7,9969	-27,9969	-112,32	-512,32	-2536,16
1,35	0,6589	-0,0161	-0,5389	-0,9945	-1,4180	42	-8,1819	-29,1819	-119,91	-560,91	-2847,31
1,4	0,5139	-0,1861	-0,7383	-1,2283	-1,6921	44	-8,3616	-30,3616	-127,65	-611,65	-3180,02
1,5	0,2682	-0,4818	-1,0942	-1,6567	-2,2078	46	-8,5371	-31,5371	-135,53	-664,53	-3533,92
1,6	0,0635	-0,7365	-1,4111	-2,0511	-2,6987	48	-8,7076	-32,7076	-143,55	-719,55	-3912,03
1,7	-0,1125	-0,9625	-1,7013	-2,4238	-3,1774	50	-8,8746	-33,8746	-151,72	-776,72	-4312,22
1,8	-0,2675	-1,1675	-1,9725	-2,7825	-3,6519	52	-9,0374	-35,0374	-160,02	-836,02	-4735,71
1,9	-0,4065	-1,3565	-2,2295	-3,1320	-4,1272	54	-9,1967	-36,1967	-168,46	-897,46	-5183,01
2,0	-0,5328	-1,5328	-2,4756	-3,4756	-4,6070	56	-9,3525	-37,353	-177,04	-961,04	-5654,6
2,1	-0,6486	-1,6986	-2,7130	-3,8155	-5,0937	58	-9,5053	-38,505	-185,75	-1026,75	-6152,5
2,2	-0,7559	-1,8559	-2,9436	-4,1536	-5,5894	60	-9,6549	-39,655	-194,58	-1094,58	-6671,7
2,3	-0,8560	-2,0060	-3,1687	-4,4912	-6,0967	65	-10,0150	-42,520	-217,20	-1273,5	-8086,0
2,4	-0,9498	-2,1498	-3,3891	-4,8291	-6,6137	70	-10,3635	-45,364	-240,58	-1465,6	-9664,8
2,5	-1,0383	-2,2883	-3,6059	-5,1684	-7,1448	75	-10,6963	-48,196	-264,70	-1670,9	-11413,6
2,6	-1,1222	-2,4222	-3,8196	-5,5096	-7,6896	80	-11,0167	-51,017	-289,53	-1889,5	-13338,2
2,7	-1,2018	-2,5518	-4,0306	-5,8531	-8,2488	85	-11,3259	-53,826	-315,05	-2121,3	-15443,7
2,8	-1,2777	-2,6777	-4,2395	-6,1995	-8,8233	90	-11,6253	-56,625	-341,23	-2366,2	-17734,6
2,9	-1,3524	-2,8024	-4,4486	-6,5511	-9,4155	95	-11,9154	-59,415	-368,07	-2624,3	-20217,2
3,0	-1,4202	-2,9202	-4,6522	-6,9022	-10,0197	100	-12,1972	-62,197	-395,53	-2895,5	-22895,5
3,2	-1,5517	-3,1517	-5,0598	-7,6198	-11,2833	110	-12,7381	-67,738	-452,3	-3477,3	-28858,7
3,4	-1,6742	-3,3742	-5,4640	-8,3540	-12,6171	120	-13,2525	-73,253	-511,5	-4111,5	-35659,5
3,6	-1,7891	-3,5891	-5,8659	-9,1059	-14,0238	130	-13,7438	-78,744	-572,8	-4797,8	-43309,0
3,8	-1,8974	-3,7974	-6,2666	-9,8766	-15,5062	140	-14,2147	-84,215	-636,4	-5536,4	-51918,4
4,0	-2,0000	-4,0000	-6,6667	-10,6667	-17,0667	150	-14,6675	-89,668	-702,1	-6327,1	-61490,1
4,2	-2,0975	-4,1975	-7,0667	-11,4767	-18,7069	160	-15,1043	-95,104	-769,7	-7169,7	-71934,5
4,4	-2,1907	-4,3907	-7,4671	-12,3071	-20,4289	170	-15,5265	-100,53	-839,3	-8064,3	-83425,2
4,6	-2,2799	-4,5799	-7,8686	-13,1586	-22,2348	180	-15,9354	-105,94	-910,9	-9010,9	-95947,3
4,8	-2,3656	-4,7656	-8,2710	-14,0310	-24,1276	190	-16,3321	-111,33	-984,3	-10009,3	-109527
5,0	-2,4480	-4,9480	-8,6743	-14,9243	-26,1046	200	-16,7179	-116,72	-1059,5	-11059,5	-124196
5,2	-2,5275	-5,1275	-9,0800	-15,8400	-28,1719	210	-17,0935	-122,09	-1136,5	-12161,5	-139976
5,4	-2,6042	-5,3042	-9,4869	-16,7769	-30,3288	220	-17,4594	-127,46	-1215,2	-13315,2	-156893
5,6	-2,6786	-5,4786	-9,8959	-17,7359	-32,5782	230	-17,8166	-132,82	-1295,5	-14520,5	-174975
5,8	-2,7507	-5,6507	-10,3068	-18,7168	-34,9199	240	-18,1654	-138,17	-1377,5	-15777,5	-194244
6,0	-2,8207	-5,8207	-10,7196	-19,7196	-37,3556	250	-18,5068	-143,51	-1461,1	-17086,1	-214729
6,5	-2,9874	-6,2374	-11,7613	-22,3238	-43,8663	260	-18,8408	-148,84	-1546,2	-18446,2	-236449
7,0	-3,1457	-6,6457	-12,8191	-25,0691	-50,9979	270	-19,1681	-154,17	-1633,0	-19858,0	-259432
7,5	-3,2917	-7,0417	-13,8882	-27,9507	-58,7600	280	-19,4889	-159,49	-1721,3	-21321,3	-283698
8,0	-3,4318	-7,4318	-14,9742	-30,9742	-67,1775	290	-19,8038	-164,80	-1811,0	-22836,0	-309271
8,5	-3,5655	-7,8155	-16,0761	-34,1386	-76,2676	300	-20,1129	-170,11	-1902,2	-24402,2	-336171
9,0	-3,6931	-8,1931	-17,1931	-37,4431	-86,0420	320	-20,7151	-180,72	-2088,8	-27688,8	-394045
9,5	-3,8156	-8,5656	-18,3259	-40,8884	-96,5209	340	-21,2979	-191,30	-2281,1	-31181,1	-457493
10	-3,9335	-8,9335	-19,4744	-44,4744	-107,720	360	-21,8626	-201,86	-2478,7	-34878,7	-526677
11	-4,1566	-9,6566	-21,818	-52,068	-132,331	380	-22,4111	-212,41	-2681,6	-38781,6	-601757
12	-4,3659	-10,3659	-24,222	-60,222	-159,988	400	-22,9444	-222,94	-2889,6	-42890	-682890
13	-4,5632	-11,0632	-26,697	-68,947	-190,824	420	-23,4640	-233,46	-3102,6	-47203	-770227
14	-4,7502	-11,7502	-29,211	-78,211	-224,883	440	-23,9707	-243,97	-3320,5	-51720	-863919
15	-4,9284	-12,4284	-31,793	-88,043	-262,325	460	-24,4654	-254,47	-3543,1	-56443	-964105
16	-5,0986	-13,0986	-34,431	-98,431	-303,23	480	-24,9490	-264,95	-3770,4	-61370	-1070932
17	-5,2619	-13,7619	-37,126	-109,376	-347,69	500	-25,4223	-275,42	-4002,2	-66502	-1184537
18	-5,4189	-14,4189	-39,874	-120,874	-395,79	550	-26,5634	-301,56	-4601,2	-80226	-1499072
19	-5,5705	-15,0705	-42,676	-132,926	-447,82	600	-27,6517	-327,65	-5226,7	-95227	-1858859
20	-5,7168	-15,7168	-45,530	-145,530	-503,30	650	-28,6936	-353,69	-5877,6	-111503	-2265847
21	-5,8586	-16,3586	-48,436	-158,686	-562,87	700	-29,6945	-379,69	-6553,1	-129531	-2721888
22	-5,9961	-16,9961	-51,40	-172,40	-626,44	800	-31,5869	-431,59	-7974,1	-167974	-3788364
23	-6,1299	-17,6299	-54,39	-186,64	-694,02	900	-33,3673	-483,37	-9483,4	-211983	-5071983
24	-6,2597	-18,2597	-57,44	-201,44	-765,78	1000	-35,0450	-535,05	-11076,1	-261076	-6585676
25	-6,3863	-18,8863	-60,55	-216,80	-841,80						
26	-6,5090	-19,5090	-63,69	-232,69	-922,05						

Zahlentafel 2.

Beckenfüllung bei offenem Grundablaß.

ξ	B(ξ)	D(ξ)	N(ξ)	W(ξ)	Y(ξ)
0,98	3,6102	3,1202	2,7967	2,5566	2,3707
0,96	2,9222	2,4422	2,1287	1,8983	1,7177
0,94	2,5218	2,0518	1,7480	1,5271	1,3558
0,92	2,2391	1,7791	1,4850	1,2734	1,1110
0,90	2,0209	1,5709	1,2863	1,0838	0,9301
0,88	1,8438	1,4038	1,1286	0,9350	0,7897
0,86	1,6948	1,2648	0,9990	0,8141	0,6769
0,84	1,5666	1,1466	0,8900	0,7136	0,5843
0,82	1,4540	1,0440	0,7965	0,6284	0,5066
0,80	1,3545	0,9545	0,7143	0,5543	0,4385
0,78	1,2639	0,8739	0,6443	0,4922	0,3847
0,76	1,1823	0,8023	0,5815	0,4371	0,3364
0,74	1,1076	0,7376	0,5254	0,3885	0,2942
0,72	1,0389	0,6789	0,4753	0,3457	0,2577
0,70	0,9752	0,6252	0,4300	0,3075	0,2255
0,68	0,9162	0,5762	0,3893	0,2737	0,1974
0,66	0,8611	0,5311	0,3524	0,2435	0,1727
0,64	0,8095	0,4895	0,3188	0,2164	0,1509
0,62	0,7610	0,4510	0,2883	0,1922	0,1317
0,60	0,7153	0,4153	0,2604	0,1704	0,1146
0,55	0,6118	0,3368	0,2008	0,1252	0,0803
0,50	0,5209	0,2709	0,1530	0,0905	0,0551
0,45	0,4404	0,2154	0,1148	0,0642	0,0370
0,40	0,3684	0,1684	0,0841	0,0441	0,0239
0,35	0,3040	0,1290	0,0600	0,0294	0,0149
0,30	0,2458	0,0958	0,0410	0,0185	0,0086
0,25	0,1932	0,0682	0,0265	0,0109	0,0047
0,20	0,1464	0,0464	0,0166	0,0066	0,0030
0,15	0,1026	0,0276	0,0082	0,0026	0,0009
0,10	0,0639	0,0139	0,0034	0,0009	0,0003
0,05	0,0295	0,0045	0,0007	0,0001	0,0000
0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Zahlentafel 3.

Beckenfüllung bei wirksamem Überlauf.

ξ	Φ(ξ)	Φ ₁ (ξ)	ξ	Φ(ξ)	Φ ₁ (ξ)
0,98	2,223	2,657	0,66	0,277	0,933
0,96	1,759	2,203	0,64	0,236	0,904
0,94	1,487	1,948	0,62	0,195	0,880
0,92	1,290	1,761	0,60	0,155	0,859
0,90	1,137	1,623	0,55	0,070	0,807
0,88	1,013	1,511	0,50	-0,011	0,763
0,86	0,907	1,418	0,45	-0,088	0,729
0,84	0,812	1,341	0,40	-0,156	0,699
0,82	0,732	1,271	0,35	-0,222	0,675
0,80	0,658	1,214	0,30	-0,283	0,655
0,78	0,588	1,162	0,25	-0,342	0,640
0,76	0,527	1,112	0,20	-0,397	0,627
0,74	0,469	1,071	0,15	-0,450	0,615
0,72	0,416	1,033	0,10	-0,505	0,610
0,70	0,367	0,998	0,05	-0,555	0,606
0,68	0,320	0,964	0,00	-0,605	0,605

Zahlentafel 4.

Beckenleerung bei wirksamem Überlauf.

ξ	Ψ(ξ)	Ψ ₁ (ξ)	ξ	Ψ(ξ)	Ψ ₁ (ξ)
1,02	2,227	2,632	2,3	-0,381	-0,722
1,04	1,772	2,164	2,4	-0,420	-0,812
1,06	1,504	1,882	2,5	-0,455	-0,899
1,08	1,317	1,682	2,6	-0,487	-0,983
1,10	1,171	1,523	2,7	-0,518	-1,063
1,12	1,052	1,392	2,8	-0,547	-1,140
1,14	0,952	1,279	2,9	-0,573	-1,215
1,16	0,867	1,181	3,0	-0,597	-1,288
1,18	0,790	1,093	3,2	-0,641	-1,427
1,20	0,724	1,012	3,4	-0,682	-1,559
1,22	0,660	0,937	3,6	-0,717	-1,685
1,24	0,608	0,871	3,8	-0,750	-1,806
1,26	0,558	0,809	4,0	-0,780	-1,922
1,28	0,511	0,750	4,2	-0,808	-2,035
1,30	0,467	0,694	4,4	-0,833	-2,144
1,32	0,428	0,642	4,6	-0,857	-2,249
1,34	0,391	0,592	4,8	-0,878	-2,351
1,36	0,356	0,544	5,0	-0,898	-2,451
1,38	0,323	0,499	5,5	-0,944	-2,689
1,40	0,292	0,456	6,0	-0,983	-2,914
1,45	0,220	0,354	6,5	-1,017	-3,128
1,50	0,157	0,261	7,0	-1,047	-3,332
1,55	0,100	0,174	7,5	-1,074	-3,528
1,60	0,049	0,094	8,0	-1,099	-3,716
1,65	0,003	0,018	8,5	-1,121	-3,897
1,70	-0,040	-0,054	9,0	-1,141	-4,073
1,75	-0,080	-0,122	9,5	-1,159	-4,244
1,80	-0,116	-0,187	10	-1,176	-4,410
1,85	-0,151	-0,250	11	-1,206	-4,727
1,90	-0,183	-0,309	12	-1,233	-5,030
1,95	-0,213	-0,367	13	-1,256	-5,320
2,00	-0,241	-0,423	14	-1,277	-5,598
2,1	-0,292	-0,529	15	-1,295	-5,865
2,2	-0,339	-0,628			

(= rd. 3,1) zu schätzen, wonach der Punkt k_1 und der Linienzug $k-k_1-k_2-l$ gezeichnet werden kann. g und l liegen senkrecht übereinander. Von l aus wird durch einen $p:l$ geneigten Strahl h genauer bestimmt. Der senkrechte Abstand zwischen l und h ist — ähnlich wie oben — $\Delta Q_{i+1} \cdot \frac{\Delta t}{F_{i+1}}$ und der waagerechte Abstand zwischen den gleichen Punkten $1/2 \cdot \Delta Q_{i+1} \cdot \frac{\Delta t}{F_{i+1}}$. Dann ist die waagerechte Entfernung zwischen e und h

$$\Delta z = 1/2 \cdot (\Delta Q_i \cdot \frac{\Delta t}{F_i} + \Delta Q_{i+1} \cdot \frac{\Delta t}{F_{i+1}})$$

entsprechend Gl. (40). Durch die Linienzüge $h-h_1-o$ und $h-h_2-r$ ergeben sich rechts im Bild neue Punkte der Q_a - und der z -Linie.

Der nächste Berechnungsgang ist kurz folgender:
Strahl $h-s$ -- Schätzung von u (entsprechend $z = 4,4$ m) -- Linienzug $v-v_1-v_2-w$ - - - Schrägstrahl $w-u$ - - - Linienzüge $u-u_1-x$ und u_1-u_2-y - - - usw.

In Abb. 8 ist ein vollständiges Beispiel gegeben, das weiter oben auch schon rechnerisch untersucht worden ist.

AUF DEM WEGE ZUM IDEALEN STAUVERSCHLUSS IM WASSERBAU.

Von Reg.-Baum. A. Schäfer, Stuttgart.

DK 627.43

Von vielen Lösungen eines technischen Problems kann nur eine die wirtschaftlichste und zweckmäßigste sein, und immer ist sie die einfachste. Überblicken und prüfen wir mit diesem Maßstab der totalen Kritik die unzähligen Formen und Arten der beweglichen Wehr- und Schleusenverschlüsse, die im Lauf der letzten Jahrzehnte zur Anwendung gebracht wurden, dann ergibt sich angesichts dieser Menge erfahrungsgemäß bewährter Konstruktionen die Notwendigkeit einer klaren Zielsetzung unseres Strebens nach Einfachheit; sie lautet: Betriebssicherheit beim geringsten Aufwand an Baustoffen und Unauffälligkeit in der Landschaft. Gerade die heutige Zeit, die uns jede Verschwendung an Baustoffen und Arbeitskraft verbietet, wirkt klärend und richtungsweisend für künftige Weiterentwicklungen im Stahlwasserbau. Diesem Zwange folgend müssen wir von vornherein alle Verschlüsse von unseren Untersuchungen ausschließen, bei denen der Wasserdruck hohe Biegungs- oder Verdrehungsmomente hervorruft. Wenn sich die Walze darunter befindet, die wegen ihrer einfachen Form, Kraftübertragung und Bedienung lange als der zweckmäßigste Verschluss galt, so nehmen wir nicht ohne Bedauern Abschied, leichter dagegen trennen wir uns, trotz geringerem Eisenaufwand gegenüber der Walze, von dem gewöhnlichen Schütz, weil sein fachwerkartiger Bau selbst von dem Techniker als unschön in der einfachen Natur empfunden wurde. Schon als die Wehrverschlüsse mit Aufsatzklappen zur Ausführung kamen, die einen Mehreisaufwand bis zu 40% gegenüber den ungeteilten Verschlüssen erforderten, sahen einige Konstrukteure das Ende der aus dem Wasser hebbaren Verschlüsse voraus und kämpften, trotz aller Vorurteile, zäh für die Anwendung des unmittelbar gestützten umklappbaren oder versenkbaren Verschlusses. Sein Sieg ist heute sicher. Er erfüllt, durch die sofortige Übertragung der Wasserauflast auf den Untergrund, nicht nur unsere Forderung der Baustoffersparnis, sondern vereint sie auch mit dem zweiten Ziel — Unauffälligkeit. Denselben Erfordernissen, wie Betriebssicherheit bei Frost, Wasserdichtheit, jederzeit gesicherte Geschwemmsel-, Eis- und Geschiebeabfuhr, die so viele Arten von hebbaren Verschlüssen entstehen ließen, wird durch die umlegbaren in einfachster Weise Rechnung getragen. Der Zweck des Aufsatzes ist es, solche bereits in der Praxis bewährten Verschlüsse auf ihre hydraulischen, statischen und konstruktiven Eigenschaften zu prüfen und gegebenenfalls Verbesserungsvorschläge zu machen, wobei im folgenden einige wichtige allgemeine Fragen zum voraus geklärt werden sollen.

Die Baustofffrage.

In technischen Vorschriften und Lehrbüchern für Stahlwasserbauten finden wir bei einer zulässigen Beanspruchung des St 37 von 1000—1200 kg/cm² noch die Forderung von Rostschutzzuschlägen um 1—2 mm sowie die Ausschaltung von Blechdicken unter 8 mm oder schwächerer Winkel als $\angle 80 \cdot 80 \cdot 8$. Diese doppelte Sicherheit — Beanspruchung unter 1400 kg/cm² und Rostzuschlag — ist bei dem heutigen Stand der Anstrichtechnik und gewissenhafter Bauüberwachung nicht notwendig. Unhaltbar ist auch die Forderung, daß, wegen zu geringer Abmessungen der Profile, St 52, dessen zulässige Beanspruchung mit mindestens 1800 kg/cm² einzusetzen wäre, nicht verwendet werden soll. Gerade dieser hochwertige, leicht kupferhaltige Stahl (Cu-Gehalt 0,3—0,7%) ist, langjährigen Beobachtungen entsprechend, wesentlich widerstandsfähiger gegen Korrosion als St 37, auch haftet erwiesenermaßen auf ihm der Anstrich besser und länger. Bei den von uns erstrebten schwingungsfreien Verschlüssen läßt sich auch gegen das Schweißen nichts einwenden, im Gegenteil, durch den Wegfall der vielen Laschen und Knotenbleche werden glatte leicht streichbare Konstruktionen erhalten. Stahlwasserbauten aus Haltbarkeitsgründen absichtlich schwerer zu gestalten als den statischen Erfordernissen entsprechend nötig ist, muß heute als überwundener Standpunkt abgelehnt werden.

Nach dem Siegeszug des auf Druck vorgespannten Betons, der geringen Bewehrung durch Stahlsaiten und der glänzend bewährten 3—4 cm dicken weitgespannten Schalen und Gewölbe, die fast keinen Schwind- und Wärmespannungen unterworfen sind, kann der Verwendung von Eisenbeton zu beweglichen Stauverschlüssen nichts mehr entgegenstehen. Überdies, von der Gemein-

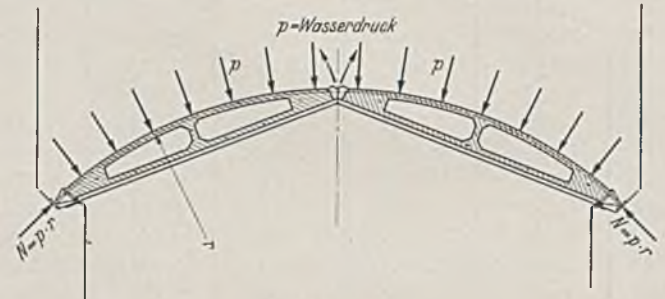


Abb. 1.

schaftsarbeit erfahrener Stahlkonstruktions- und Eisenbetonfirmen in dieser Richtung wird die Fortführung wichtiger Wehr- und Schleusenbauten während der Zeit der Eisenverknappung abhängen. Abb. 1 zeigt ein in praktischer und statischer Hinsicht zweckmäßig konstruiertes Stemmtor einer Schleuse aus Eisenbeton.

Die Berechnung der dünnen Stauwand.

Größtenteils wird noch die Formel von B a c h für die Blechdicke

$$(1) \quad d = \sqrt{\frac{\mu}{2} \cdot \frac{a^2 \cdot b^2}{a^2 + b^2} \cdot \frac{p}{\sigma}}$$

verwendet, wo entsprechend von Versuchen mit verhältnismäßig dicken Platten aus Gußeisen, je nach dem Einspannungsgrad — voll eingespannt oder frei aufliegend — der Beiwert $\mu = 0,75-1,12$ eingesetzt werden soll. Diese Formel läßt aber die sog. „Hautwirkung“ der dünnen Bleche, d. h. die starke Herabsetzung der Biegungsspannungen durch die infolge der Durchbiegung entstehenden Zugspannungen, außer acht.

Bei durchgehenden bzw. an den Rändern durch Niete befestigten Stauwandblechen, bis zum Seitenverhältnis $a/b = 1/2$, kann man durch Verwendung eines kleineren Beiwertes $\mu = 0,5$ in der Formel (1) der Hautwirkung etwas Rechnung tragen, bei noch kleineren Seitenverhältnissen empfiehlt es sich, die Entlastung in der Richtung der langen Seite zu vernachlässigen und die Ermittlung der Blechdicke nach der Elastizitätslehre zu ermitteln. (Hierüber s. z. B. T i m o s h e n k o - L e s s e l s, Festigkeitslehre, Abschnitt X).

Beispiel: Im obengenannten Buch wird nachgewiesen, daß eine 10 mm dicke unendlich lange und 1,2 m weit gespannte Platte bei 7,0 m Wasserdruckhöhe mit 990 kg/cm² auf Biegung und mit 815 kg/cm² auf Zug, also zusammen mit 1805 kg/cm² beansprucht wird. Nach Formel 1 erhalten wir mit den Seitenverhältnissen 1,2/2,4 m und $\mu = 0,5$ ebenfalls eine Plattendicke von:

$$d^2 = 0,25 \cdot \frac{1,2^2 \cdot 2,4^2}{1,2^2 + 2,4^2} \cdot \frac{0,7}{1805} = \frac{0,2}{1805}$$

bzw.

$$d = \sqrt{\frac{0,2}{1805}} = \frac{0,45}{42} = 0,0106 \text{ m.}$$

Hieraus schließen wir, daß die Formel von Bach auch auf dünne Stahlplatten angewendet werden kann, doch müßte die von den Seitenverhältnissen abhängige Veränderlichkeit des Beiwerts μ noch durch Versuche geklärt werden.

Im Verfolg des Ziels einer sparsamen Konstruktion stellen wir mit Vorteil dem Wasserdruck ein Gewölbe entgegen (s. Abb. 2). Bei gleichbleibender Wassertiefe ist der Wasserdruck konstant = p.

In diesem Fall bildet jeder beliebige Kreisbogen mit dem Halbmesser r eine Stützlinie. Nach Abb. 3 erhält man aus ähnlichen Dreiecken $\frac{N}{p \, ds} = \frac{r}{ds}$, woraus der Normaldruck $N = pr$ folgt, oder wenn der Pfeil des Kreisbogens $= f$ bekannt ist,

$$(2) \quad N = p \left(\frac{l^2}{8f} + \frac{f}{2} \right).$$

Verfehlt ist es jedoch, bei ebenen Stauwänden Tonnen oder Buckelbleche zu verwenden, weil dann die günstige Mitwirkung der Stauwand als mittragender Teil verlorengeht.

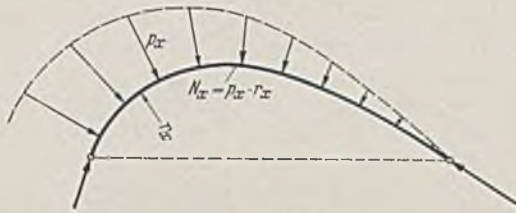


Abb. 2.

Beispiel: Geben wir der oben berechneten Platte von 1,2 m Stützweite eine Wölbung mit dem Stich $f = 10$ cm, so erhält man eine Druckspannung

$$\sigma = \frac{0,7}{1} \left(\frac{120^3}{8 \cdot 10} + \frac{10}{2} \right) = 130 \text{ kg/cm}^2,$$

woraus ohne weiteres die große statische Überlegenheit der gebogenen Stauwand über die ebene ersichtlich ist, von der wir bereits beim Stemmtor Abb. 1 Gebrauch gemacht haben.

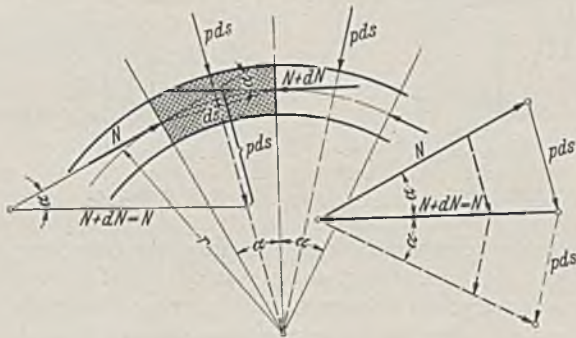


Abb. 3.

Bei der Anwendung gebogener Staubleche im senkrechten Schnitt durch den Stauverschluß, also von oben nach unten zunehmendem Wasserdruck, ist jedoch zu beachten, daß beim stützlinienförmigen Bogen die Krümmungshalbmesser mit zunehmender Belastung abnehmen. Der Bogen krümmt sich sozusagen unter der zunehmenden Belastung (Abb. 2).

Die Dichtungen.

Die möglichst vollständige Wasserdichtheit der Sohlen- und Seitendichtungen, und zwar nicht nur in der Staustellung, sondern auch bei teilweise gehobenem oder umgelegtem Verschluß, gehört zu den Hauptforderungen, die an einen Wehrverschluß gestellt werden. Erfahrungsgemäß sind es gerade die undichten Fugen, die durch Vereisungen bei Frost, sowie durch allerlei Sperrzeug, das der Sog des Spritzwassers in die offenen Dichtungen preßt, beim Hochfahren oder Umlegen des Verschlusses erst recht verbogen und verbeult und dadurch noch wasserdurchlässiger werden. Zwischen Wehrschwelle und Sohlendichtung eingeklemmtes Treibzeug kann unter Umständen zur Verkantung und Sperrung des Verschlusses führen.

Eine wenig oder nie gestörte Sohlendichtung, wie sie beim idealen Verschluß angestrebt wird, ist daher stets ein großer Vorteil.

Immer muß der Konstrukteur darauf achten, vom Wasserdruck angepreßte Dichtungen zu erhalten (s. Abb. 7c). Kastendichtungen, wie sie bei Versenkschützen oder -walzen Anwendung finden, be-

friedigen nicht. Auch anpreßbare Dichtungen sind ein Notbehelf, Gummi erschlafft, Schraubengewinde und Federn verrostet. Wegen der Schwierigkeiten, die sich bei Versenkverschlüssen bei der Durchführung der Seitendichtungen unter die Wehrschwelle ergeben, ist bei dem Sektor und Dachwehr (s. Abb. 4c) ausnahmsweise eine nachstellbare seitliche Federdichtung, die jederzeit im Innern des Staukörpers nachgesehen werden kann, angegeben worden.

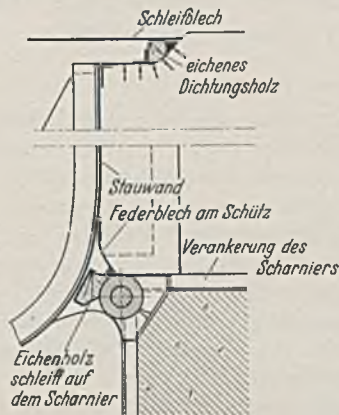


Abb. 7c.

Jede Dichtung erfordert eine sorgsame Überwachung und Pflege. Bei Frost ist das seitliche Reibblech vor dem Bewegen des Verschlusses durch Auftaugeräte, z. B. einen

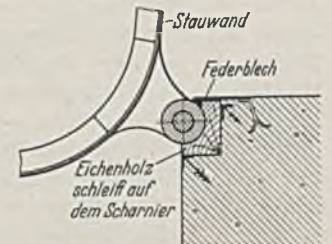


Abb. 7e.

Flammenwerfer oder besser durch elektrische Heizung, eisfrei zu machen; eingeklemmte Gegenstände sind zu entfernen. Auf gute Sicht und Zugänglichkeit der Dichtungen ist daher größter Wert zu legen.

Scharniergelecke.

Bereits im Jahre 1925 habe ich bei Wasserbauversuchen mit einem Klapptor Scharniergelecke verwendet, die durch Quellung des Holzes und ein wenig Fett gegen den Wasserdurchgang vollständig dicht waren. Bald darauf wurden sie in der Praxis bei Verschlüssen mit Aufsatzklappen und schließlich bei vielen Klappenverschlüssen mit bestem Erfolg ausgeführt. Sie bestehen bei hohen Verschlüssen aus in Lagerkörpern ruhenden Rohren, deren 2—3 m lange Einzelstücke abwechselnd bald am Verschluß, bald am Gegenlager der Wehrschwelle befestigt sind und durch einen Stahlstab verbunden werden. Die entstehenden Längsfugen werden zweckmäßig durch nahezu dicht anliegende und das Scharnier umschließende wenig quellbare Eichenholzstücke oder durch anpreßbare Federbleche gedichtet (s. Abb. 7c u. e). Die vollkommene Dichtung wird in der Regel den Sinkstoffen im Wasser überlassen. Sandkörner erhöhen bei dem geringen Durchmesser des Gelenks die Reibungskraft am Umfang nur unwesentlich. Eine Rostgefahr besteht bei den stetig im Wasser liegenden Stahlgußlagern nicht. Da der in den Gelenkrohren liegende Stab keine Durchbiegung erleidet, ist er nur auf Abscherung zu bemessen. Die durch Abheben nie gestörte Scharnierdichtung entlang der Sohlenfuge ist die beste Dichtung und daher ein Bestandteil des idealen Verschlusses.

Der Geschiebedurchgang.

Immer wieder wird von den Gegnern der umlegbaren Verschlüsse eingewandt, daß diese während der Stauhaltung durch Sinkstoffe und beim Hochwasserdurchgang durch Geschiebe verlagert werden können, obwohl der Beweis an bestehenden Wehren noch nie erbracht wurde. Wahrheit ist, daß es im Bereich der zwischen den Pfeilern eingegengten Wehrstelle, die von jedem Hochwasser mit erhöhter Geschwindigkeit durchströmt wird, keine Ablagerungen gibt, wenngleich ober- und unterhalb der Wehrstelle Schlamm bzw. Geschiebe abgelagert werden. Der einzige Nachteil entsteht bei Sand- und geschiebeführenden Flüssen dadurch, daß die Oberseite der vollständig umgelegten Verschlüsse der Schleifwirkung dieser Stoffe ausgesetzt ist. Eisenteile müssen daher durch einen 3—4 mm dicken Überzug aus heiß aufgebrachtem Bitumen, das unter Wasser den mit der Zeit versprödhend wirkenden Einflüssen von Luft, Wärme und Licht entzogen ist, geschützt werden. Noch besser ist es jedoch, wenn die Oberseite durch einen

Hartholzbelag, der mit Nut und Feder vollständig wasserdicht hergestellt werden kann, gebildet wird. Wer vom Unterwasser her eine Schlickablagerung auf der Wehrpritsche, im Bereich der umgelegten Klappe, für nachteilig hält, oder bei Frost die Bildung einer Eisdecke verhüten will, dem mag der Einbau eines Spülrohres mit Spüldüsen, durch die zur Unratbeseitigung Oberwasser unter Druck über die Pritsche geleitet werden kann, zur Beruhigung dienen (s. Abb. 6 und 6a). Wie bereits erwähnt, sind Scharniere gegen Geschiebe und Versandung unempfindlich.

Geschwemmsel und Eisabfuhr.

Schon aus Reinlichkeitsgründen ist es notwendig, daß die häßlichen und übelriechenden schwimmenden Decken aus Schwemmstoffen, die sich vor den nicht absenkenden Wehrverschlüssen bilden, entfernt werden müssen. Ebenso ist es bei Eisgang ein Wagnis, die vor dem Wehr sich auftürmenden Eisschollen, nach Anheben der Verschlüsse, durch den entstehenden Wassersog unter den Schützen abzuführen, weil hierdurch nicht nur die Sohlendichtungen bzw. Anschlaghölzer beschädigt werden, sondern auch, durch den sich auftürmenden Anstau der Eisschollen, die Sicherheit der Stahlkonstruktion gefährdet wird. Walzen und Schützen mit hohen Aufsatzklappen sind, wie bereits erwähnt, kostspielig, und bei unterteilten oder absenkenden Verschlüssen bleibt die Dichtung der waagrechten Trennfuge bzw. der Sohlfuge ein nur unbefriedigt zu lösendes Problem. Kein Verschluß wird daher unseren Forderungen nach einer jederzeit sauberen, freien Wasseroberfläche und gesicherten Eisabfuhr in besserer und einfacherer Weise, sowohl in hydraulischer als auch in mechanischer und betrieblicher Hinsicht, entsprechen können als der umlegbare. Werden aus irgendwelchen Gründen nicht sämtliche Verschlüsse umlegbar ausgebildet, so ist der umlegbare Verschluß dorthin zu legen, wohin die Schwemmstoffe durch die Strömung und den Wind geführt werden und sich ansammeln, das ist nur in seltenen Fällen die Mittelloffnung einer Wehranlage, wo er so oft, nahezu nutzlos zu finden ist. In der Richtung des Oberwasserdruckes umlegbare Verschlüsse, die Überbeanspruchungen nachgeben, sind die beste Sicherung gegen unerwartet eintretende Eisgänge, deren Eis stöße oft die Wehranlagen gefährden.

Der Sektorverschluß (s. Abb. 4).

Zweifellos erfüllt das Sektorschütz die Forderungen der unmittelbaren Lastabgabe auf die Wehrschwelle am besten, doch kann es, durch den zusätzlichen Eisenaufwand für die vielen Stützarme zum Kreismittelpunkt, keinen gewichtsmäßigen Vorrang vor der umlegbaren Klappe (siehe später) erzielen. Wie bei vielen Versenkschützen bleibt die Dichtung der Sohlfuge eine

Sohle weg und höher zu verlegen (s. Abb. 4a). Damit nicht der volle Wasserdruck, beim Bewegen des Schützen, die Dichtung auf die Torhaut preßt und den Farbanstrich beschädigt, wird die Klappe außerhalb der Staustellung durch Führungsrollen um etwa 3 mm abgehoben. Als Seitendichtungen dient eine auf nachstellbaren Federn gelagerte Holzschwelle, die jederzeit im Innern des Staukörpers nachgesehen werden kann (s. Abb. 4c).

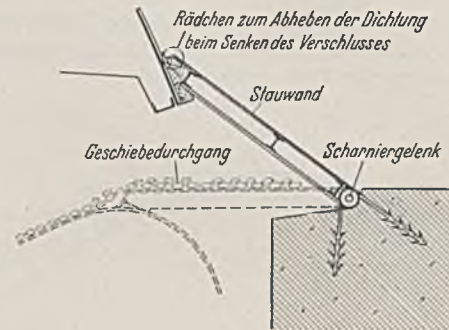


Abb. 4a.

Sektorwehre mit hydraulischer Steuerung, die durch den Druck des Oberwassers gehoben und abgesenkt werden, wurden schon mehrfach ausgeführt. Der Sektorscheitel muß dann luftdicht abgeschlossen oder durch ein Rohr gebildet werden. (Die hydraulische Steuerung wird beim Doppelklappenverschluß näher beschrieben.) Erfahrungsgemäß bringt der hydraulische Antrieb

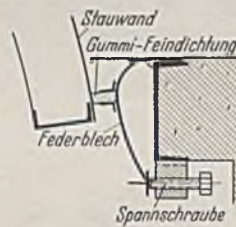


Abb. 4b.

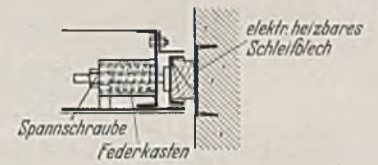


Abb. 4c.

wohl eine Eiseneinsparung, aber wegen vieler Zubehörteile keine wesentliche Kostensenkung, daher wählen manche Wasserbauer, die der hydraulischen Steuerung bei Frost nicht so recht trauen (ich rate aber jedem, die Wartung eines durch Wasserdruck bewegten Wehres im Winter selbst zu beobachten) aus Sicherheitsgründen den maschinellen Antrieb. Werden in diesem Fall bei größeren Wehrweiten die Verdrehungsmomente bei einseitigem Antrieb zu groß, so empfiehlt sich der beiderseitige Antrieb.

Die Gleichschaltung der beiden Antriebsmotoren geschieht dann unter Zuhilfenahme von Ausgleichs-

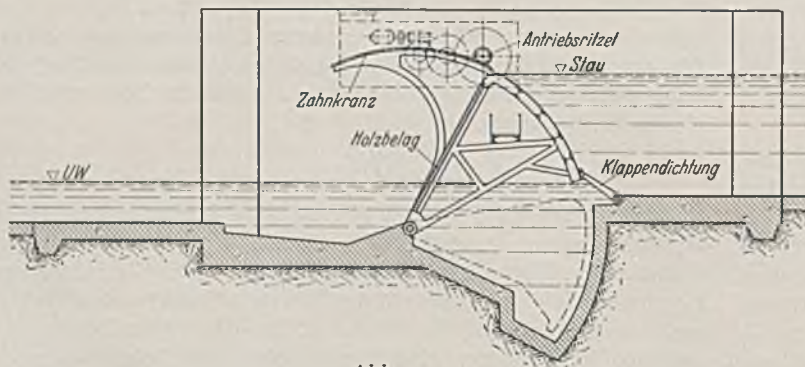


Abb. 4.

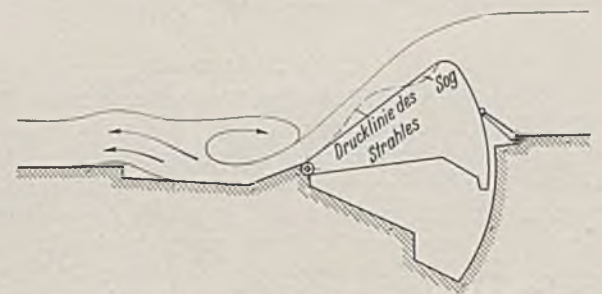


Abb. 4d.

leidige Sache, selbst anpreßbare Federblechdichtungen (s. Abb. 4b) befriedigen wegen der Schleifwirkung des zwischen die Gummidichtung kommenden Sandes u. dgl. auf der Stauwand nicht. Bei teilweise abgesenktem Wehr, wie auch bei hydraulisch bedienten Sektoren auf den dichten Abschluß gegen Oberwasser zu verzichten, ist wegen des Einpressens von sperrendem Sohlentreibzeug zwischen die Fuge ebenfalls nicht ratsam. Von Vorteil ist es jedoch, die Dichtung mittels einer Scharnierklappe von der

motoren, d. h. jeder Antriebsmotor wird mit einer einfachen Asynchronmaschine gekuppelt, die zusammen mit ihren Kabelverbindungen die Gleichlaufanordnung „elektrische Welle“ bilden.

Obwohl der beim Absenken des Wehres über den Rücken des Sektors schießende Strahl (s. Abb. 4d), durch Umsetzen von Druckhöhe in Geschwindigkeit das Schütz nicht stark belastet, lassen sich Versuche im größeren Maßstab zur Ermittlung der Drehmomente nicht vermeiden. Im Falle einer starken Abhebung

des Strahles können Schwingungserscheinungen auftreten. Kostengünstig entsteht durch die tiefe Versenkgrube im harten Felsen ein Nachteil, bei durchlässigem Untergrund, wo gegen Umläufigkeit des O. W. und Grundbruchgefahr eine tiefe Herdmauer erforderlich ist, dagegen nicht. Als Vorteil des Sektorschützes ist anzuführen, daß es eine statisch einwandfreie, robuste Konstruktion ist, deren Kosten und Baustoffaufwand, namentlich beim hydraulischen Antrieb, nur linear der Spannweite zunehmen.

Der Doppelklappenverschluß (Dachwehr).

Das Bestreben, das Eigengewicht des Sektors zu vermindern und namentlich auch an der Tiefe der Versenkgrube zu sparen, führt zwangsläufig dazu, die Scharnierklappe am Sektorverschluß so hoch wie möglich zu legen (s. Abb. 5). Zur Herstellung eines schon bei geringem Überdruck des Oberwassers gesicherten Auftriebs wird im Scheitel ein geschlossenes Schwimmrohr eingebaut. Heben und Senken des Dachwehres geschieht bei den bis heute gebauten ausschließlich durch den Druck des Oberwassers, das durch seitliche, mit Schieber verschließbare Kanäle, beim Heben dem Dachraum zu, bzw. beim Senken daraus teilweise oder ganz abgeleitet wird. Die gewünschte Höhenlage wird also durch die Steuerung des Druckwassers in der Kammer eingestellt. Wasserverluste müssen jedoch durch entsprechenden Zufluß des Oberwassers stetig ersetzt werden. Um Wasserverluste bei Stauhaltung zu vermeiden, ist daher eine sorgfältige Dichtung nur im Innern des Dachraums gegen U. W. erforderlich. Die Betätigung der Wasserein- und Auslaßschieber kann entweder von Hand oder auf elektrischem Wege mittels Hubwerk und Motor geschehen. In letzterem Falle, in Verbindung mit Fernpegel, von beliebigem Ort aus durch Fernsteuerung.

Bei der selbsttätigen Steuerung der Firma Voith, Heidenheim (s. Abb. 5a) wird der elektrisch betriebene Auslaßschieber durch einen Schwimmer, der beim Überschreiten einer gewissen Stauhöhe einen Kontakt schließt, gehoben. Das Wasser im Dachraum strömt aus, die Klappe senkt sich und prorselt gleichzeitig durch eine Rückführung die Bewegung des Schiebers bis auf die Menge des stetig einströmenden Oberwassers. Der Vorgang wiederholt sich solange, bis das Wasser nicht mehr über das Stauziel steigt. Fällt das Oberwasser unter das Stauziel, so schließt der Schwimmer den Auslaßschieber vollständig, und das stetig einströmende Oberwasser hebt das Wehr. Zum Heben des vollständig umgelegten Wehres genügt ein Rückstau des Oberwassers von etwa 20 cm, der auch bei geringer Wasserführung des Flusses durch eine Sohlenschwelle, die an Wehrstellen leicht einschaltbar ist, hergestellt werden kann. Läßt sich ein ausreichender Gefällsunterschied nicht herstellen, dann ist eine Kompressoranlage zum Einpressen von Druckluft oder Druckwasser erforderlich. Bei Instandsetzungsarbeiten im Innern des Dachraumes ist eine Vorrichtung zur Verriegelung des Wehres in Staustellung und ein Pumpaggregat zum Leerpumpen des Dachraumes notwendig. Abb. 5 zeigt ein Dachwehr unter einer Straßenbrücke.

Wenn auch erfahrungsgemäß das Wasser im Dachraum, das durch den Bohlenbelag gegen Wärmeabgabe geschützt ist und auch stetig vom Oberwasser her erneuert werden kann, selbst bei scharfem langanhaltendem Frost nicht leicht einfriert, so erfordert doch auch die Verhütung der Eisbildung entlang der Wehrkuppe im Oberwasser eine aufmerksame Wartung. Ebenfalls ist im Steuerraum eine elektrische Heizung notwendig. Namentlich bei stark sinkstoffhaltigem Wasser wird, trotz Spülschacht, von Zeit zu Zeit eine Entfernung des im Dachraum abgelagerten Schlickes von Hand notwendig werden. Ein Vorteil des Dachwehres ist vor allem der durch die Einfachheit der statischen Kräfteübertragung bedingte geringe Eisenaufwand, der namentlich dadurch noch vermindert wird, wenn man die ganze Dachhaut aus Holz her-

stellt. Die Betriebssicherheit bei Frost wird durch eine elektrische Beheizung des Schwimmrohres wesentlich erhöht.

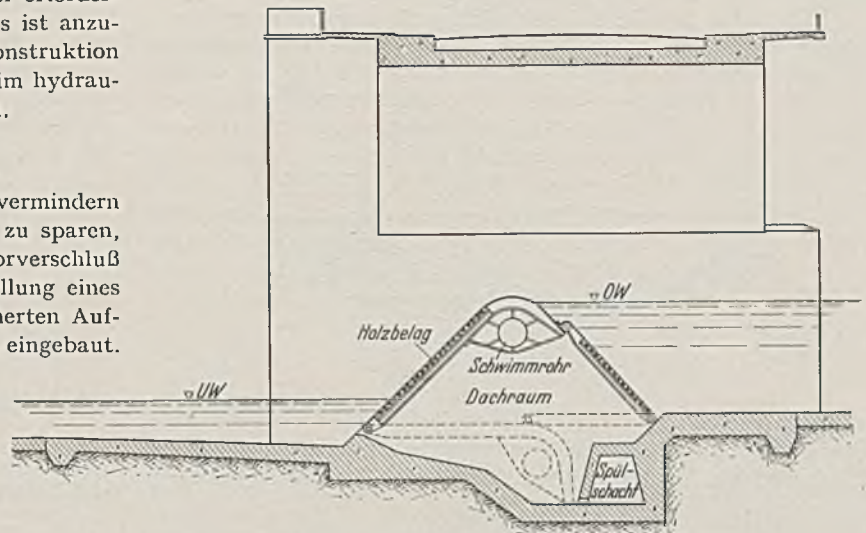


Abb. 5.

Der Klappenverschluß (Stauklappe, s. Abb. 6).

Hier ist es notwendig, daß wir uns zuvor mit den statischen Grundlagen mehr beschäftigen. Bei jedem Belastungsfall ist die

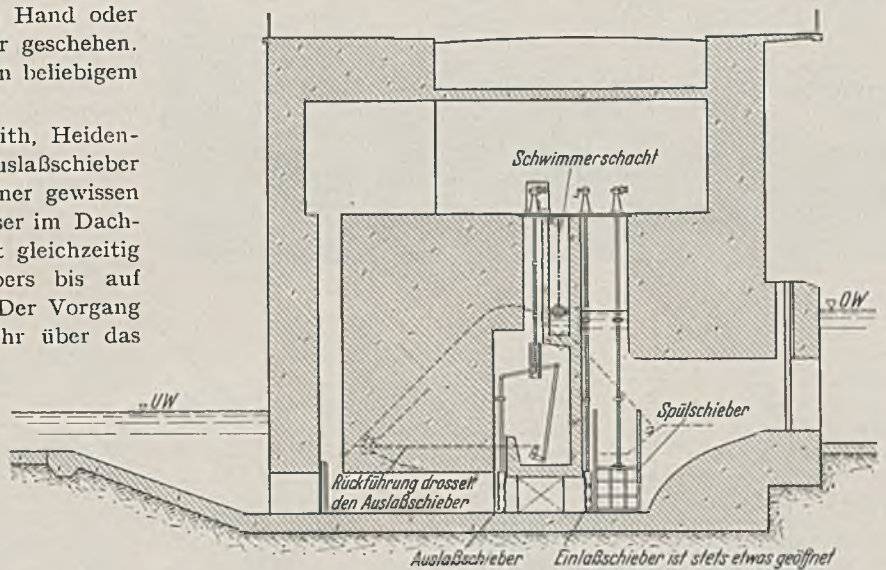


Abb. 5a.

Verteilung der Pressungen entlang dem Scharniergelenk unbekannt. Wer daher den beschwerlichen Weg ihrer Berechnung

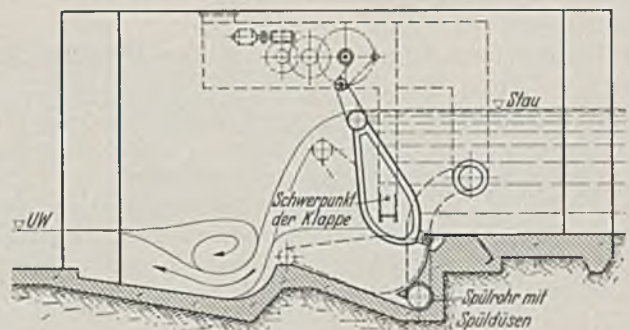


Abb. 6.

über die Elastizitätstheorie vermeiden will, wird das Gesetz ihrer Verteilung entlang diesem Rand durch den Versuch ermitteln müssen. Im folgenden ist, auf empirischem Weg ermittelt,

genau genug parabolische Verteilung der Auflagerreaktion vorausgesetzt.

a) Die auf zwei Ecken und entlang dem unteren Rand gelagerte Rechteckplatte (I. Belastungsfall) (s. Abb. 7a).

Dieser Fall kommt bei der beiderseitig angetriebenen Stauklappe vor (s. Abb. 7). Die Größe des gesamten Wasserdruckes



Abb. 7.

auf die Klappe ist $P = 1 \cdot h^2 / 2$. Die entlastende Wirkung der Auflagerung des durch den nach unten zunehmenden Wasserdruck stark belasteten Randes zeigt sich in dem verhältnismäßig geringen Wert des Größenmomentes $M_b = \frac{Pl}{40}$.

1. Beispiel: Spannweite $l = 30$ m, Verschlusshöhe $h = 5,0$ m. Als obere Randversteifung wird ein Kreiszyylinder mit $r = 70$ cm Halbmesser und $\delta = 1,0$ cm Wandstärke gewählt. Wie groß ist die größte Beanspruchung?

$$P = \frac{lh^2}{2} = \frac{30 \cdot 5^2}{2} = 375 \text{ t}, \quad M_b = \frac{P \cdot l}{40} = \frac{375 \cdot 30}{40} = 280 \text{ mt},$$

$$W = \pi \cdot \delta \cdot r^2 = 3,14 \cdot 0,01 \cdot 0,70^2 = 0,0154 \text{ m}^3;$$

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{280}{0,0154} = 18000 \text{ t/m}^2 = 1800 \text{ kg/cm}^2 \text{ (zul. für St 52)}.$$

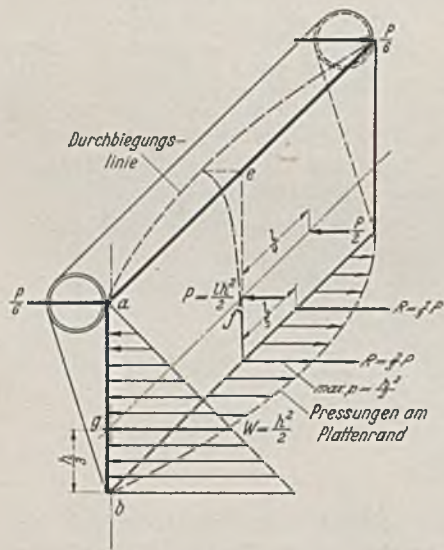


Abb. 7a.

b) Die auf einer Ecke und entlang dem unteren Rand gelagerte Platte.

Das ist der Fall der einseitig angetriebenen Stauklappe, den wir dann erhalten, wenn die Auflagerkraft der einen Ecke in einem II. Belastungsfall als entgegengesetzte Kraft angebracht und die Platte mit dieser Last ins Gleichgewicht gesetzt wird. Dieser Belastungsfall ist dann mit dem obigen zusammzusetzen (s. Abb. 7b). Es ist leicht ersichtlich, daß nunmehr außer Biegemomenten noch Verdrehungsmomente auftreten. Die wichtigsten dieser Momente sind:

$$\text{im Punkt e, } M_e = \frac{Ph}{4,2}$$

$$\text{„ „ f, } M_d = \frac{Ph}{5,2}$$

$$\text{„ „ g, } M_d = \frac{2}{5} Ph.$$

2. Beispiel: Verdrehungssteifes Rohr, $r = 88$ cm, $\delta = 1$ cm, entlang dem oberen Rand.

Biegemoment wie beim 1. Beispiel in Punkt e $M_b = 280$ mt

$$\text{Verdrehungsmoment in Punkt e } M_d = \frac{Ph}{4,2} = \frac{375 \cdot 5}{4,2} = 450 \text{ mt},$$

$$W = 3,14 \cdot 0,01 \cdot 0,88^2 = 0,0244 \text{ m}^3 \quad W_{\text{polar}} = 2 W.$$

Die Hauptspannung ergibt sich zu

$$\sigma = 0,35 \sigma_b + 0,65 \sqrt{\sigma_b^2 + 4 \tau^2} = \frac{0,35 M_b + 0,65 \sqrt{M_b^2 + M_d^2}}{W}$$

$$= \frac{0,35 \cdot 280 + 0,65 \sqrt{280^2 + 450^2}}{0,0244} = 1800 \text{ kg/cm}^2.$$

3. Beispiel: Verdrehungssteifes Rohr in Höhe $h/3$, $r = 84$ cm, $\delta = 1,0$ cm.

$$M_b = 280 \text{ mt}$$

$$M_d \text{ im Punkte f} = \frac{Ph}{5,2} = \frac{375 \cdot 5}{5,2} = 363 \text{ mt},$$

$$W = 3,14 \cdot 0,01 \cdot 0,84^2 = 0,022 \text{ m}^3.$$

$$\sigma = \frac{0,35 \cdot 280 + 0,65 \sqrt{280^2 + 363^2}}{0,022} = \frac{396}{0,022} = 1800 \text{ kg/cm}^2.$$

Rechnet man mit dem größten Drehmoment im Punkt g am angetriebenen Ende, so kommt $M_d = 2/9 Ph = 2/9 \cdot 375 \cdot 5 = 420$ mt

$$\tau = \frac{M_d}{2 W} = \frac{420}{2 \cdot 0,022} = 950 \text{ kg/cm}^2,$$

zulässig ist $1800 \cdot 0,8 = 1440 \text{ kg/cm}^2$ bei St 52. Zum Schluß soll erwähnt werden, daß in der Praxis oft nur mit dem Drehmoment in Punkt b am angetriebenen Ende

$$M_d = \frac{Ph}{3}$$

gerechnet und mit diesem Moment die größte Beanspruchung der Klappe bestimmt wird, weil die Durchbiegung des oberen Klappenrandes am nicht angetriebenen Ende, Versuchen entsprechend, sich genau genug mit Hilfe dieses Drehmomentes bestimmen läßt. Demnach wäre einfach aus

$$M_d = \frac{375 \cdot 5}{3} = 628 \text{ mt}$$

die Schubspannung

$$\tau = \frac{628}{2 \cdot 0,022} = 1430 \text{ kg/cm}^2 \text{ (zulässig)}$$

$$0,8 \cdot 1800 = 1440 \text{ kg/cm}^2)$$

zu bestimmen, was jedoch, wenn das Rohr am oberen Klappenrand liegt, wie Beispiel 2 zeigt, ein zu günstiges Ergebnis gibt.

Wie die statische Untersuchung erwies, ist es nicht gleichgültig, in welcher Höhenlage das verdrehungssteife Rohr angebracht wird, aber schon rein gefühlsmäßig wird man es bei der beiderseitig angetriebenen Klappe in den oberen Rand und bei der ein-

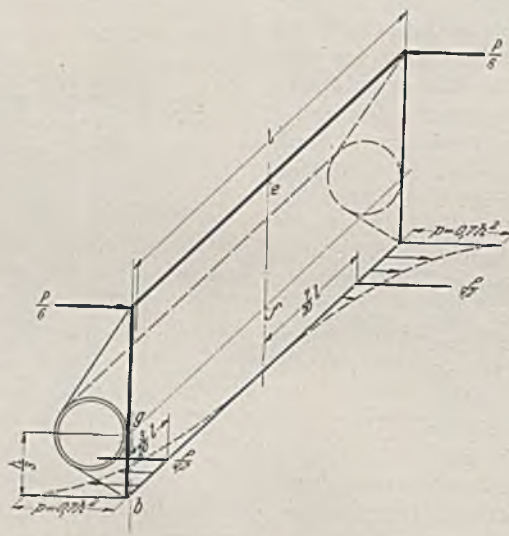


Abb. 7b.

seitig angetriebenen in die Nähe des unteren Randes legen. Im einzelnen Fall wird jedoch über die Lage der Achsen des Hauptwiderstandsmomentes der Klappe auch die hydraulisch zweckmäßige Ausbildung der Wehrpflitsche, die das Lager der umgelegten Klappe bildet, unter Rücksichtnahme auf den Geschiebedurchgang entscheiden, wobei Versuche, die auch über Schwingungserscheinungen der Klappe Aufschluß geben, oft notwendig sind. Wird, wie im Falle der Abb. 6, darauf geachtet, daß zum Brechen einer Eisedecke auf dem Unterwasser von etwa 30 cm Dicke eine genügend große Auflast durch das Drehmoment infolge Eigengewicht und Oberwasserdruck ausgeübt werden kann, so ist zweifellos der Kettenantrieb, bei dem das Windwerk nur die halbe Last zu übernehmen hat, die einfachste Bewegungsart; werden die Vereisungs- und Reibungswiderstände für besonders groß gehalten, so kann zur Ausübung einer zusätzlichen Druckkraft Zahnstangenantrieb gewählt werden. Im allgemeinen wird

aber die Eisbildung auf dem Unterwasser durch dauernde Zuleitung von Oberwasser mittelst der Spülrohre verhindert werden.

Zweifellos ist für den Wasserbauer, dem der hydraulische Antrieb eines umlegbaren Verschlusses nicht sicher genug ist, oder der besonderen Wert auf eine einteilige geschlossene Form des Verschlusses und seiner Dichtungen legt, die Stauklappe ein idealer Verschuß. Ihre gedrungene, einfache Form sichert trotz der mit der Spannweite zunehmenden Momente, die jedoch gegenüber denjenigen, die bei den hebbaren Verschlüssen auftreten, äußerst gering sind, die Wettbewerbfähigkeit im Baustoffverbrauch mit den anderen umlegbaren Verschlüssen. Bei besonders großen Spannweiten ist eine Halbierung derselben durch eine in der Schließlage des Verschlusses leicht zu dichtende Mittelfuge, die auch eine Halbierung des Drehmomentes bringt, zweckmäßig. Der Klappenantrieb kann selbsttätig nachgiebig kon-

struiert werden, so daß eine Überbeanspruchung der Klappe durch einen unerwarteten Eisstoß unmöglich ist.

Schlußbemerkung.

Grundsätzlich wurde es unterlassen, für oder gegen einen der umlegbaren Verschlüsse Stellung zu nehmen, weil diese Wehrform einschließlich der Antriebe noch in der Entwicklung begriffen ist. Jeder verantwortungsbewußte Wasserbauer wird sich aber die Mühe nehmen, Verschlüsse der angegebenen Art in der Praxis selbst zu beobachten und bei Neubauten an ihrer Verbesserung mitarbeiten. Das eine aber ist gewiß, wir müssen den Weg zum idealen Wehrverschuß, das ist der unmittelbar auf der Wehrschwelle gelagerte und umlegbare Verschuß, mutig und unverdrossen weiterschreiten.

KURZE TECHNISCHE BERICHTE.

Die neue Seinebrücke bei Neuilly.

Über die Seinebrücke bei Neuilly führt eine nach Westen gerichtete Pariser Ausfallstraße, die eine sehr starke Verkehrsbeanspruchung aufweist. Das alte Brückenbauwerk, das dort die beiden eine Insel umgebenden Seinearme in fünf gemauerten Bogen überspannte, war diesem starken Verkehr bei weitem nicht mehr gewachsen, so daß eine dringende Notwendigkeit bestand, eine neue, modernen Ansprüchen genügende Brücke zu errichten. Für die Wahl des Systems und die Montage waren drei Gesichtspunkte maßgebend: Der Verkehr sollte während des Abrisses der alten und Montage der neuen Brücke keine größeren Einschränkungen erleiden als dies auf dem alten Bauwerk der Fall war, das neue Bauwerk sollte so beschaffen sein, daß die die beiden Seineufer verbindende Straße über die Seinekais hinweggeht, so daß keine direkte Überschneidung des Verkehrs auf den beiden Wegen entsteht, und endlich war gefordert, daß alle Gründungen in offener Baugrube herzustellen waren.

Die beiden Strombrücken sind geschweißte Zweigelenkbogen aus einer Stahlsorte, die dem deutschen St 52 entspricht, ihre Spannweiten sind 67,0 m und 82,0 m mit den recht flachen Stichen von $\frac{1}{10}$ und $\frac{1}{12}$. Diese beiden Bogen stellen in Frankreich den ersten Versuch dar, ein so bedeutendes Bauwerk in vollkommen geschweißter Bauweise auszuführen. Die Insel wird durch einen mit Werksteinen verblendeten eingespannten Eisenbetonbogen von 32 m Spannweite überbrückt (Abb. 1).

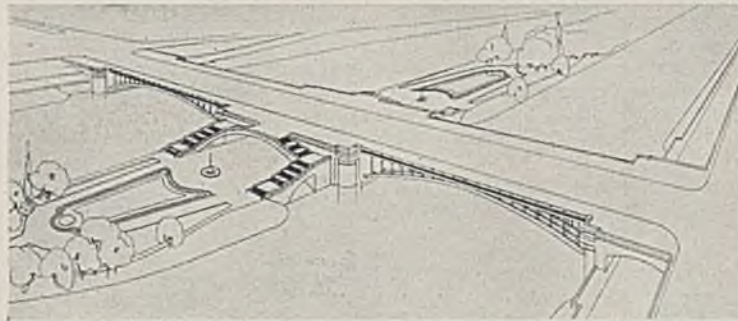


Abb. 1.

Die Fahrbahnbreite beträgt 20,0 m, die Breite der beiden seitlichen Fußwege je 7,50 m.

Die Bogen ruhen auf Betonwiderlagern, die ebenso wie die Bogen über der Insel und über den Kais mit Werksteinen verblendet sind. Der tragfähige Boden, auf den die Widerlager gegründet wurden, besteht aus Kalkstein, der aber auf der Insel und am westlichen Bogenwiderlager so zerklüftet ist, daß es ratsam erschien, durch Einpressen von Zement die Klüfte auszufüllen. Nur die äußersten, untergeordneten Widerlager der kleinen Bogen über den Kais ruhen auf 10,5—15,0 m langen Betonpfählen von quadratischem Querschnitt. Alle übrigen Gründungen wurden in offener Baugrube hinter Spundwänden ausgeführt, die Spundbohlen wurden 20 cm in den Kalkstein eingerammt, ihre Oberkante lag auf 6,50 m über Mittelwasser.

Auf der Insel befinden sich die Widerlager der beiden Stahlbogen und des Betonbogens. Die Sohlen der Widerlager, die eine Grundfläche von rd. 60 · 20 m haben, wurden zwischen den Spundwänden so hergestellt, daß zunächst einzelne rechteckige Blöcke von 5—6 m Breite und 6—12 m Länge betoniert wurden. Daraufhin wurde der dazwischen befindliche Boden ausgehoben und die Zwischenräume ebenfalls mit Beton ausgefüllt. Dieses Verfahren hatte den Vorteil eines gefahrlosen Arbeitens zwischen den Spundwänden, die nur 20 cm tief in dem Kalk-

stein standen, da sich die Spundbohlen an ihrem unteren Teil zunächst gegen den stehengebliebenen Boden und dann gegen die fertigen Blöcke abstützen konnten, ohne daß innerhalb der Baugrube eine schwierige Aussteifung vorgenommen zu werden brauchte. Oberhalb der Blöcke der Widerlagersohle ordnete man eine stark bewehrte lastverteilende Betonbank von 95 cm Stärke an.



Abb. 2.

Über der Insel sind die Fußwege der Brücke verbreitert. Die Parkanlagen, die sich auf der Insel befinden, sind durch Treppen zugänglich gemacht worden, die von dem verbreiterten Brückenteil hinabführen. Durch die architektonische Betonung des Mittelstücks erhält die Brücke ein besonders schönes Aussehen.

Den mittleren Teil des Gesamtbauwerks bildet ein eingespannter Eisenbetonbogen von 32 m Spannweite und 64 m Breite. Die Herstellung des Bogens erfolgte in Ringen von 7—8 m Breite, die in 11 Lamellen aufgeteilt wurden. Die Fugen zwischen den Gewölberingen sind auf der oberen Leibung der Gewölbe durch Dichtungen gegen Feuchtigkeit geschützt. Der Bogen ist zum größten Teil mit Dammerde überschüttet, nur die Treppenanlage gibt ihre Lasten mittels einer aufgelösten Eisenbetonkonstruktion auf das Gewölbe ab.



Abb. 3.

Vor den Stirnflächen des Eisenbetonbogens mit der Scheitelstärke von 60 cm ist ein 1,25 m breiter Bogen aus Werksteinen vorgesetzt, der im Scheitel 1,50 m dick und mit dem Betonbogen nicht verzahnt ist

(Abb. 2). Während die Ausrüstung des Betonbogens durch Absenken des Lehrgerüsts vor sich ging, wurde beim Verblenderbogen ein anderes Verfahren angewendet. Man mauerte ihn zunächst auf dem Lehrgerüst bis auf den Schlußstein im Scheitel fertig, dann wurden in der offenen geliebten Fuge vier Pressen zu je 100 t Tragkraft angesetzt und durch Auspressen vom Scheitel der Verblenderbogen ausgerüstet. Darauf bewehrte man die Räume zwischen den Pressen und betonierte sie zu. Nach genügender Erhärtung des Betons wurden die Pressen entfernt, die Scheitelfuge vollständig geschlossen und in die Stirnfläche die noch fehlende Werksteinplatte eingesetzt.

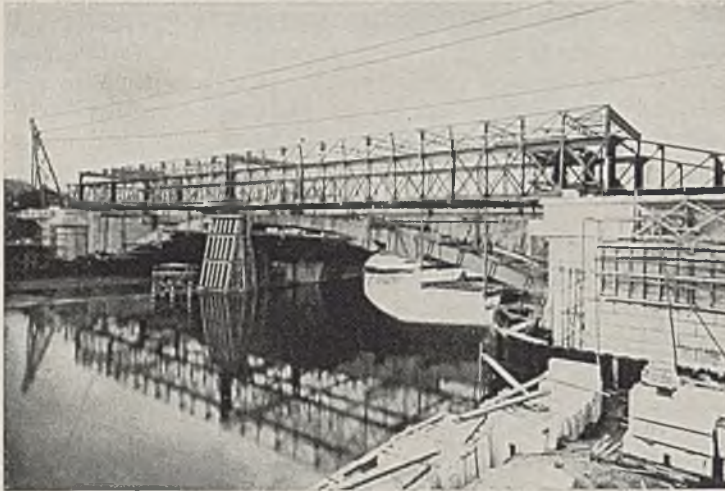


Abb. 4.

Der interessanteste Teil des Bauwerks sind die über die beiden Seinearme führenden geschweißten, sehr flachen Zweigelenkbogen mit ihren Aufbauten (Abb. 3). Jedes Bogensystem besteht aus 12 nebeneinander liegenden Einzelbogen von konstantem, kastenförmigem Querschnitt. Sie sind an ihrer Unterseite durch angeschweißte Bleche so verbunden, daß die Brücke von unten den Eindruck eines einzigen Bogens macht. Die Bleche ersetzen im Verein mit zwischen den Bogen angeordneten Riegeln in vollkommener Weise den unteren Windverband. Die Fahrbahn ist mittels Stützen und Riegel aufgeständert.

Bei der Herstellung der Stahlbogen achtete man besonders darauf, möglichst den größten Teil der Schweißarbeit in die Werkstatt zu verlegen, um so die nicht immer einwandfrei ausführbare Baustellenschwei-

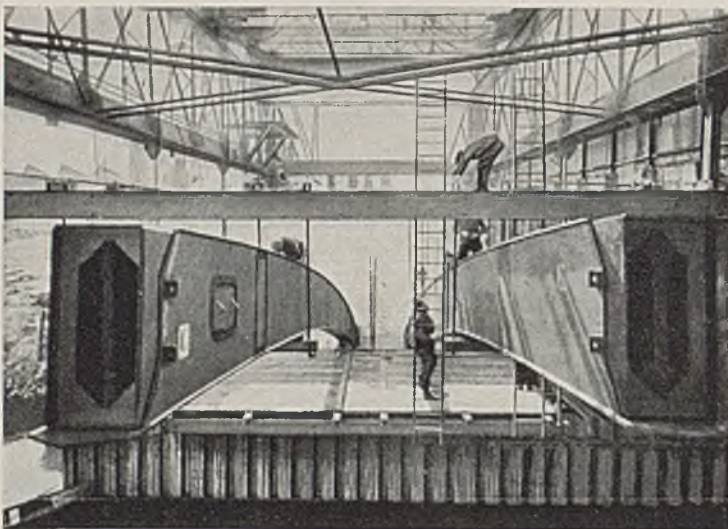


Abb. 5.

Bung weitgehendst einzuschränken. Die Bogen von 67 m Spannweite wurden daher in der Werkstatt in drei Stücken von je 15 t Gewicht, die Bogen von 82 m Spannweite in vier Stücken von je 13 t Gewicht hergestellt. Diese Abmessungen waren die größten, die man mit Rücksicht auf den Transport zulassen konnte.

Die Hilfsbrücke für die Montage besteht aus einem Fachwerkparallelträger, der auf den Widerlagern des Stahlbogens aufgelagert ist und in der Mitte durch einen Pfahlbock unterstützt wird (Abb. 4). Die Montagebrücke trägt zwei Laufkrane von 8 t und 10 t Tragkraft, sie kann nach Bedarf auch seitlich verschoben werden.

Als Bogenlager wurden Zylinderzapfenlager gewählt. Um die fertig

geschweißten Bogen auf die gewünschte Höhe zu bringen, wurden zwischen der unteren Lagerplatte und dem Bogen, der zu diesem Zweck an seinen Enden mit aufgeschweißten Rippen versehen wurde, Pressen angesetzt, mit deren Hilfe der fertige Bogen in die endgültige Lage gebracht wurde. Zur Ausfüllung des durch das Einregulieren entstandenen Zwischenraumes an der oberen Lagerplatte legte man nach Bedarf dünne Bleche ein und schweißte darauf Lagerplatte und Bogen zusammen.

Die Herstellung eines Bogens erfolgte so, daß die einzelnen, auf die Baustelle angelieferten Stücke an Traversen aufgehängt (Abb. 5), ausgerichtet und dann verschweißte wurden. Bemerkenswert ist die Ausbildung eines Baustellenstoßes, die ebenfalls in der Abb. 5 zu erkennen ist. Beide Stegbleche eines Bogens sind an derselben Stelle in einer zweifach geknickten Linie gestoßen, die Kopfplatten sind zungenförmig ausgebildet. An der Stoßstelle befindet sich innerhalb des Bogenquerschnitts eine Art Lasche, welche die Stöße der Stege und Kopfplatten deckt. Dieses Gebilde hat einen ebenfalls rechteckigen Querschnitt. An einem Ende ist diese kastenförmige Lasche an einem Bogenstück in der Werkstatt angeschweißte worden. Auf der Baustelle wird der anschließende Bogenteil über die Lasche geschoben und die Stoßfugen der Stege und Kopfbleche zusammengeschweißte. Durch ein Mannloch, das im Steg angeordnet ist, kann man in das Innere des Bogens gelangen und die noch freie Seite der Lasche innen an das angefügte Bogenstück schweißen. Die geschilderte Ausbildung des Stoßes bewirkt, daß an jeder Stelle, an der sich eine Schweißnaht befindet, auch ein nicht gestoßener Stahlquerschnitt vorhanden ist, so daß die Spannungen in den Nähten nur klein bleiben. Nach Abschluß aller Schweißarbeiten werden die Mannlöcher ebenfalls geschlossen, bis auf diejenigen, die sich in der Nähe der Widerlager befinden und die mit einer Tür versehen werden.

Nach Montage von vier nebeneinander liegenden Bogen wird die Fahrbahn aufgesetzt. Die Fahrbahnstützen haben oben und unten Kugelgelenke. Die Fahrbahnplatte aus Eisenbeton ruht auf einem geschweißten Trägerrost, welcher an seiner Oberseite mit Krallen zur Befestigung der Fahrbahnplatte versehen ist.

Zur Montage des Bauwerks bediente man sich eines Kabelkrans von 300 m Spannweite mit einer festen Stütze und einer mit einem Gegengewicht ausgerüsteten Pendelstütze, die beide in seitlicher Richtung verfahrbar waren. Bemerkenswert an diesem Kabelkran ist die Tatsache, daß der Bedienungsstand mit dem Hubwerk verbunden und längs des Kabels beweglich ist, im Gegensatz zu den bisher üblichen Ausführungen, bei welchen die Bedienung von dem in einer Stütze untergebrachten Führerstand erfolgte. [Nach Techn. d. Trav. 15 (1939) S. 253.]

K o e p k e, Berlin-Charlottenburg.

Eisenbetonbrücke über die Seine von Villeneuve—Saint Georges bei Paris.

Als Ersatz für eine alte Hängebrücke wurde in den Jahren 1936 bis 1939 in Villeneuve-Saint Georges bei Paris im Zug einer Hauptdurchgangsstraße eine Eisenbetonbrücke über die Seine gebaut, die durch ihre Stützweiten bemerkenswert ist. Verfasser des Entwurfs ist Henry Lossier.

Das Bauwerk besteht aus einer kontinuierlichen Balkenbrücke auf dem linken Vorland mit 11 Öffnungen von je 10,45 m Stützweite und der eigentlichen Seine-Brücke mit drei Öffnungen von 41,78 und 41 m (Abb. 1). Durch zwei Fugen zwischen der vierten und fünften Öffnung

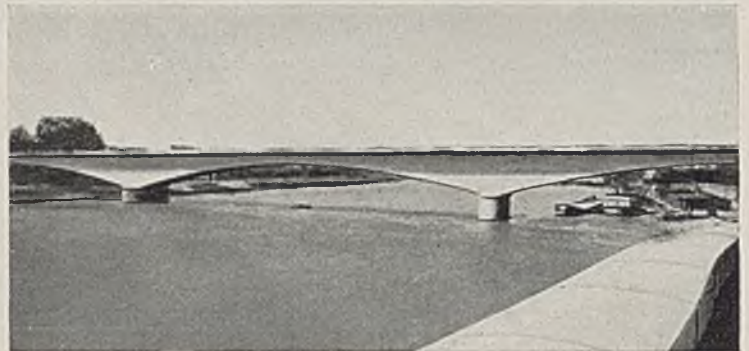


Abb. 1. Brücke von Villeneuve—Saint Georges mit dem Strom gesehen.

und der achten und neunten Öffnung ist die Rampenbrücke unterteilt. Ihre Eisenbetonpfeilerjoche sind auf je zwei Brunnen gegründet.

Die Brücke über den Strom ist eine Auslegerbrücke, deren Mittelteil eine Länge von 137,20 m besitzt und über die beiden Strompfeiler je 29,6 m ausragt. Zwei frei aufliegende Träger verbinden die Auslegerenden mit den Uferwiderlagern (Abb. 2). Diese von der üblichen abweichende Anordnung ergab sich aus dem Umstand, daß das rechte Widerlager auf unsicherem Baugrund steht und nur beschränkt belastungsfähig war.

Die Strompfeiler aus Stampfbeton ruhen auf 1 m dicken Eisenbetonplatten, welche die Köpfe von je 53 Bohrpfeilen System Rodio verbinden.

Die Pfähle von ungefähr 8 m Länge stehen auf einer sehr widerstandsfähigen Kalkbank auf. Ihre Tragfähigkeit beträgt 66 t je Pfahl.

Das feste Lager auf dem linken Pfeiler besteht ebenso wie das Pendel auf dem rechten aus umschürtem Beton. Die Lagerkörper gehen über die ganze Brückenbreite durch und haben eine Last von

von 4,875 m getragen; unter den Geländern angeordnete Längsbalken schließen sie nach außen ab (Abb. 3).

Das Haupttragwerk der Brücke ist ein Hohlkasten, bestehend aus der Fahrbahnplatte von je nach der Beanspruchung 18—36 cm Stärke, vier Stegen von veränderlicher Höhe und einer Stärke von 18—45 cm und einer unteren bogenförmigen Platte von 8—35 cm Dicke. Die Platten schließen mit kräftigen Vuten an die Stege an, Querwände von 16 cm Stärke in den Achsen der Fußwegkonsolen steifen das Tragwerk

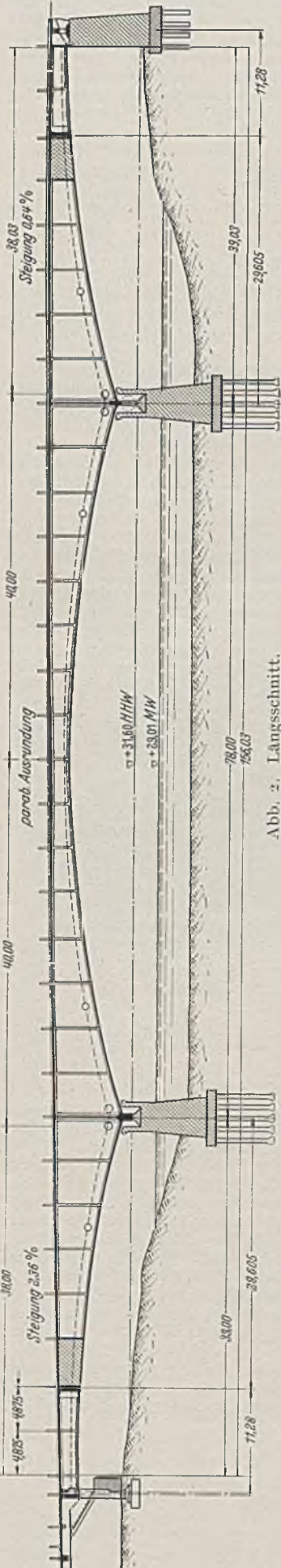


Abb. 2. Langsschnitt.

je rd. 2600 t aufzunehmen. Durch höher geführte Teile der Pfeiler werden sie in der Ansicht verdeckt (Abb. 4 und 5).

Der Brückenquerschnitt weist eine Fahrbahn von 8,4 m Breite auf, an die sich beiderseits 2,80 m breite Fußwege anschließen. Diese werden von Konsolen im Abstand

aus. Die Endabschnitte der Ausleger sind zur Erzielung einer Entlastungswirkung für die Mittelöffnung mit Beton ausgefüllt. Um die Einflüsse verschiedener Temperaturen innen und außen und der Luftfeuchtigkeit auszuschalten, sind Öffnungen in den Querwänden angeordnet, die an den Auflagern Verbindung mit der Außenluft haben.

Der Berechnung wurden als Nutzlast für die Fußwege 400 kg/m² und für die Fahrbahn (820—4 L) kg/m² bzw. drei nebeneinander fahrende Lastzüge aus zwei Wagen mit je 16 t Gewicht mit Stoßzuschlag zugrunde gelegt. Der Winddruck auf die leere Brücke ist mit 250 kg/m² berücksichtigt.

Als zulässige Spannung wurden 90 kg/cm² für Beton und 1600 kg/cm² für hochwertigen Baustahl gewählt.

Die Einrüstung der Brücke erfolgte in den seitlichen Öffnungen und in den den Pfeilern zunächst gelegenen Partien der Mittelöffnung in der üblichen Weise durch fächerartig angeordnete Streben, die sich auf Pfahljoche abstützten. Für die Schifffahrt wurden in Strommitte zwei Öffnungen von je 18 m Breite durch eiserne Fachwerkträger von 50 m Länge überbrückt, an denen die Schalungen aufgehängt wurden.

Betoniert wurden zunächst die seitlichen Öffnungen und die Teile der Mittelöffnung, die auf festen Gerüsten ruhten, zum Schluß der mittlere aufgehängte Teil. Die Fußwege wurden erst nach dem Absenken des Leegerüsts und der Ausschalung der Brücke vermittelt einer auf der Brücke fahrbaren Rüstung betoniert, die viermal verschoben wurde.

Das Bauwerk zeigte nach dem Ausrüsten Sackungen des linken Strompfeilers von 5 mm, des rechten von 12,5 mm, eine Einsenkung des Scheitels von 37 mm und eine Hebung der Auslegerenden von 3,5 mm. In den letzten beiden Zahlen sind die Senkungen der Fundamente bereits berücksichtigt. [Nach „Le Génie civ.“ 115 (1939) S. 1.]

Merkle, Breslau.

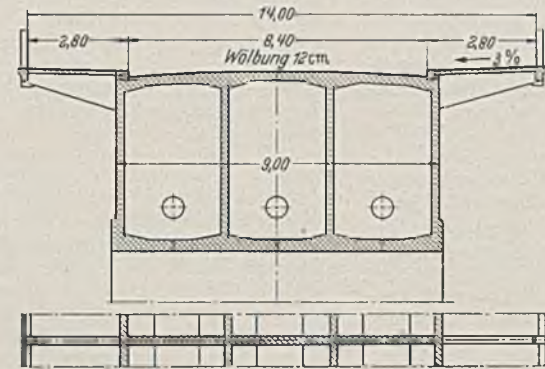


Abb. 3. Querschnitt des Hauptträgers.

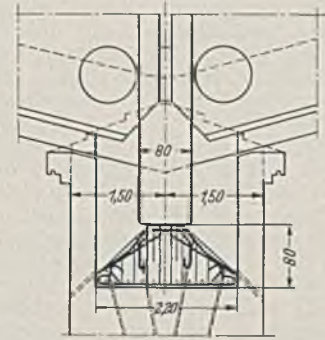


Abb. 4. Schnitt durch das feste Lager.

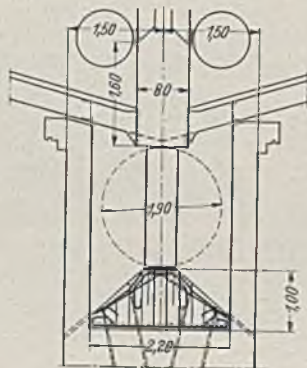


Abb. 5. Schnitt durch das Pendellager.

BUCHBESPRECHUNGEN.

Kreß, Fr.: Der Zimmerpolier. Band II des „Buch der Zimmerleute“. Mit 1136 Abb. 6. völlig neubearbeitete Auflage. Ravensburg: Verlag Otto Maier. 385 S. Preis geb. RM 29,50.

Seit dem Erscheinen der 5. Auflage sind knapp 3 Jahre verflossen. Eine so frühzeitige Neubearbeitung war vor allem dadurch bedingt, daß sich in den letzten 3 Jahren die Konstruktionen im Holzbau sowie die Abbund- und Arbeitsmethoden unter den bauwirtschaftlichen Verhältnissen rasch weiter entwickelten und nun eher einen gewissen Stillstand erreicht haben oder vollends erreichen werden.

Einige Teile, die in früheren Ausgaben des „Zimmerpolier“ enthalten waren, fehlen; es handelt sich um Gebiete (z. B. Werkzeug), die ihren Platz in dem einführenden Band „Der praktische Zimmerer“ finden. Von den neu hinzu gekommenen Teilen „Eigenarten und Verschiedenheiten der Konstruktionen im Holzbau, der alpenländische Holz- und Wohnhausbau und Vorschläge zum Bau holzsparender Dachstühle für Wohnhäuser“ verdient gerade der letzte Abschnitt allgemeinstes Interesse. Es handelt sich dabei keineswegs nur um etliche neue Spar Konstruktionen, sondern um die Herausarbeitung von allgemeinen Gesichtspunkten für die Holzsparsnis, von denen jeder konstruktiv denkende Fachmann ganz selbständig ausgehen muß.

Daß die Abschiftung einen Hauptplatz einnimmt (etwa 1/4 des ganzen Buches), ist ohne weiteres verständlich. Die Nagelbauweise, die in den letzten Jahren in den Vordergrund des Interesses getreten ist, wird an den verschiedensten Stellen kurz erwähnt, ohne daß sie jedoch eingehend systematisch behandelt worden ist.

Stoy, Hildesheim.

Schwedfsky, K.: Einführung in die Luft- und Erdbildmessung. 2. erweit. und verbess. Aufl. Mit 73 Abb. Leipzig u. Berlin: B. G. Teubner 1939. V, 137 S. Gr. 8°. Preis kart. RM 7,40, geb. RM 8,—.

Das Buch, dem bereits bei seinem ersten Erscheinen eine gute Aufnahme in Aussicht gestellt wurde, hat in seiner zweiten Auflage nicht nur eine vorteilhafte Abrundung erfahren, es fanden in ihr auch die ir-

zwischen auf dem Gebiete der Photogrammetrie gemachten Fortschritte Berücksichtigung, so daß es dem heutigen Stand der Bildmessung entspricht. In gedrängter, aber trotzdem leicht verständlicher Form sind die Aufnahme- und Auswertverfahren der Erd- und Luftbildmessung zur Darstellung gebracht, wobei ein besonderes Kapitel der Luftbildauswertung mit einfachen Hilfsmitteln gewidmet ist. Da auch die mathematischen, physikalischen und physiologischen Grundlagen in dem Buche behandelt werden, erhält der Leser rasch einen sehr guten Einblick in das Wesen, die Hilfsmittel und Verfahren, sowie in die Leistungsfähigkeit der neuzeitlichen Photogrammetrie. Wer aber tiefer in die Materie einzudringen wünscht, dem weist eine umfassende Literaturauswahl auch hierfür den Weg. Das vom Verlage gut ausgestattete Buch dürfte somit vielen Wünschen aus dem Leserkreise dieser Zeitschrift in besonders hohem Maße entsprechen. L a c m a n n, Berlin.

Kranz, E.: Über die Verankerung von Spundwänden. Heft 11 der Mitteilungen aus dem Gebiete des Wasserbaues und der Baugrundforschung. Mit 33 Abb. Berlin: Wilhelm Ernst & Sohn 1940. IV, 53 S. Gr. 8°. Preis geh. RM 5,60.

Diese wissenschaftliche Arbeit behandelt ein besonders wichtiges Teilproblem der Spundwandverankerung, nämlich die Ermittlung des Erdwiderstandes vor durchgehenden Ankerwänden bei „kurzer“ Verankerung. Es wird gezeigt, daß die Haltekraft des „kurzen“ Ankers nicht mehr unabhängig von dem gegen die gehaltene Wand angreifenden Erddruck ist, sondern durch dessen Reaktion beeinflusst wird. Durch eine Reihe von Vergleichsrechnungen für verschiedene angenommene Gleitebenen und gekrümmte Gleitflächen des Widerstandsbodens wird nachgewiesen, daß die maßgebende Gleitlinie die gerade Verbindung zwischen Ankerwandfußpunkt und Spundwandfußpunkt ist. Dieses Ergebnis ermöglicht es, „kurze“ Verankerungen nunmehr einwandfrei zu berechnen; es wird außerdem für die Beurteilung mancher „langer“ Anker Bedeutung gewinnen. Bei dem Entwurf von Spundwandankern wird der Ingenieur an den durch dieses Büchlein vermittelten Erkenntnissen nicht mehr vorbeigehen dürfen. S c h ü t t e, Hamburg.

Fritz, B.: Berechnung von Kreisgewölben. Berlin: Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn 1940. 8°. 34 Seiten.

Die zunehmende Verwendung gewölbter Brücken und die stärkere Beachtung schönheitlicher Rücksichten führt zu einer häufigen Ausführung von Gewölben mit kreisbogenförmiger Achse. Für solche Bögen kann man, wenn für die Veränderlichkeit der Querschnittsgrößen bestimmte Annahmen gemacht werden, die statische Berechnung in all-

gemeiner Form so durchführen, daß die Ergebnisse für alle vorkommenden Fälle verwendbar sind. F r i t z legt Unveränderlichkeit des Trägheitsmomentes und der Querschnittsfläche zugrunde und berechnet für diese zweckmäßig erscheinende Annahme die Einflußlinien für eine größere Zahl von Kreisgewölben verschiedenen Zentriwinkels. Der Einfluß der Normalkräfte wird in geeigneter Form berücksichtigt. Die Ableitung der Tabellenwerte wird kurz erklärt, ihre Anwendung leicht faßlich dargestellt und durch ein Zahlenbeispiel erläutert. Wertvoll ist auch der Abschnitt über die Maßnahmen zur Verbesserung der Stützlinie, die bei Kreisgewölben in vielen Fällen zur Einhaltung der zulässigen Beanspruchungen und zur Baustoffersparnis unerlässlich ist.

Fachgenossen, die gewölbte Brücken der angegebenen Form zu berechnen haben, werden dem Verfasser für die große auch für sie aufgewandte Rechenarbeit dankbar sein und das kleine Werk mit Nutzen verwenden. G a e d e, Hannover.

Neue Bauarten. Allgemeine baupolizeiliche Zulassungen des Reichsarbeitsministers. Nach Veröffentlichungen des Zentralblatts der Bauverwaltung zusammengestellt von Karl Berlitz. Berlin: Wilhelm Ernst & Sohn 1940. Mit 112 Abb. VIII, 115 S. 8°. Preis geh. RM 2,—.

Die Anwendung von Neuerungen auf dem Gebiete des Bauwesens wird oft dadurch gehemmt, daß es dem in der Praxis stehenden Fachmann sehr schwer ist, sich hierüber schnell und ausreichend zu unterrichten. Auch kann sich die Entwicklung einer Verbesserung oder Erfindung dadurch verzögern, daß die Wege zur Erlangung allgemeiner Zulassungen vielfach nicht bekannt sind. Deshalb wird das Erscheinen der vorliegenden Veröffentlichung weiten Kreisen des Bauwesens willkommen sein. Sie bringt nach einer erläuternden Einleitung von Oberreg.- und -baurat Wedler zunächst den Wortlaut der zahlreichen für die Zulassung neuer Baustoffe und Bauweisen maßgebenden amtlichen Bestimmungen und dann eine Übersicht über die bisher ausgestellten oder widerrufenen Zulassungen, sowie knapp gefaßte, aber das Wesentliche wiedergebende Auszüge aus den Zulassungsurkunden. Es ist zu begrüßen, daß diese Veröffentlichung in Zukunft durch Ergänzungen ständig auf dem Laufenden gehalten werden soll. So wird sie allen Bauschaffenden, Bauherren, bauleitenden Architekten und Ingenieuren, Bauunternehmern und Baupolizeistellen ein unentbehrliches Hilfsmittel, eine Ergänzung zu den allgemeinen Vorschriften und eine Quelle wertvoller Anregungen werden.

Prof. Dr.-Ing. G a e d e, Hannover.

PATENTBERICHTE.

Bekanntgemachte Anmeldungen.

Bekanntgemacht im Patentblatt Nr. 17 vom 25. April 1940 und von demselben Tage an im Reichspatentamt ausgelegt.

- Kl. 19 d, Gr. 3. M 127 986. Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg A.-G., Nürnberg. Stahlzellendecke für Straßenbrücken. 9. VII. 34.
 Kl. 37 a, Gr. 4. Sch 110 070. Dr.-Ing. Otto Schwachheim, Leimen b. Heidelberg. Trockenbauweise mit in den Lagerfugen angeordneten Faserplatten. 28. V. 36.
 Kl. 59 c, Gr. 6. R 99 492. Erfinder: Dr.-Ing. Friedrich Pickert, Berlin-Tegel. Anmelder: Rheinmetall-Borsig Akt.-Ges., Berlin. Mischluftwasserheber, insbesondere für die Förderung von Sand und Kies. 31. V. 37.
 Kl. 72 g, Gr. 7/02. D 71 085. Dr.-Ing. Rudolf Ditmar, Graz. Zusätzliche Schutzdecke für Hauseindeckungen und Dachböden. 11. IX. 35.
 Kl. 80 b, Gr. 3/08. H 155 423. Erfinder, zugleich Anmelder: Dr.-Ing. Friedrich Häußer, Dortmund. Verfahren zur Herstellung hydraulischer Bindemittel aus Asche. 8. IV. 38. Österreich.
 Kl. 80 b, Gr. 3/07. H 158 363. Erfinder, zugleich Anmelder: Dr.-Ing. Friedrich Häußer, Dortmund. Verfahren zum Herstellen hydraulischer Bindemittel; Zus. z. Anm. H 155 423. 19. I. 39.
 Kl. 84 c, Gr. 1. H 157 874. Erfinder, zugleich Anmelder: Dr.-Ing. August Hertwig, Berlin-Wilmersdorf. Verfahren zur Verminderung der Schrumpfungen nachgiebiger Bodenschichten bei insbesondere künstlichen Grundwasserabsenkungen. 2. XII. 38.
 Kl. 84 c, Gr. 2. H 156 082. Erfinder, zugleich Anmelder: Dipl.-Ing. Feodor Hörnlmann, Berlin-Wilmersdorf. Vorrichtung zur Herstellung von Ortpfählen. 4. VI. 38.

Bekanntgemachte Anmeldungen.

Bekanntgemacht im Patentblatt Nr. 18 vom 2. Mai 1940 und von demselben Tage an im Reichspatentamt ausgelegt.

- Kl. 37 b, Gr. 1/01. R 99 886. Erfinder, zugleich Anmelder: August Röseler, Berlin-Lichterfelde. Deckenhohlstein für Steineisendecken; Zus. z. Pat. 612 446. 22. VII. 37. Österreich.
 Kl. 37 e, Gr. 8/01. St 54 397. Erich Stark, Berlin. Klammer, insbesondere zur Aufhängung von Dachbügelrüstungen; Zus. z. Pat. 661 100. 30. I. 36.
 Kl. 84 a, Gr. 3/07. K 148 080. Erfinder: Ernst Kluger u. Heinrich Blume, Magdeburg. Anmelder: Friedr. Krupp Grusonwerk Akt.-Ges., Magdeburg-Buckau. Wehranlage mit uferseitig angeordneten Torkammern. 30. IX. 37. Österreich.
 Kl. 84 a, Gr. 3/11. K 148 545. Erfinder: Fritz Schrödter, Magdeburg-Sudenburg. Anmelder: Fried. Krupp Grusonwerk Akt.-Ges., Magdeburg-Buckau. Klappenwehr. 16. XI. 37. Österreich.
 Kl. 84 c, Gr. 2. H 154 673. Erfinder, zugleich Anmelder: Dipl.-Ing. Feodor Hörnlmann, Berlin-Wilmersdorf. Verfahren zum Absenken und gegebenenfalls Wiederziehen von Bauhilfsgeräten und Bauteilen im Erdreich. 8. II. 38. Österreich.
 Kl. 85 c, Gr. 6/05. P 72 540. Passavant-Werke Kom.-Ges., Michelbacher Hütte, Nassau. Verfahren zum Ausfaulen des Schwimmschlammes der Absetzbecken in Kläranlagen für Abwässer. 23. I. 36.
 Kl. 85 e, Gr. 10. H 157 458. Erfinder: Paul Hörnemann, Essen-Borbeck. Anmelder: Hörnemann & Co., Essen-Borbeck. Aus Stahlblech gepreßter Rahmen für Schachtabdeckungen. 24. X. 38.