

# Schlammbehälter aus Vorspannbeton

Autor(en): **Schubiger, E.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **74 (1956)**

Heft 28

PDF erstellt am: **17.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-62670>

## Nutzungsbedingungen

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

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

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

## Haftungsausschluss

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

## Schlammbehälter aus Vorspannbeton

DK 624.953:624.012.47

Von Dipl. Ing. E. Schubiger, Zürich

### 1. Zweck und Funktion

Im Zuge der Erweiterung ihres Werkes in Wildeggen stellten die Jura-Cement-Fabriken in den Jahren 1954/55 einen kreisrunden Schlammbehälter von 5500 m<sup>3</sup> Inhalt. Darin wird der Kalk- und Tonstein als dickflüssiger Brei (Dickschlammverfahren) gerührt und zur Beschickung der Brennöfen vorbereitet. Aus den Schlammmühlen gelangt der Schlamm, gefördert durch starke Pumpen, ins Zentrum des Behälters und steigt im Innern eines Betonturmes hoch. Um diesen rotiert das Rührwerk, mit welchem eine gute Verteilung des Schlammeinlaufes erreicht wird. Durch ein zweites Rohrsystem wird unmittelbar über dem Behälterboden Druckluft eingeblasen, die eine Entmischung des Ofengutes verhindert. Die äussere Führung des Rührwerkes besteht aus einer kreisrunden Schiene, auf welcher der Antriebsmotor fährt. Im Behälterboden befinden sich die Auslaufrichter, die rohrförmig zu den Pumpen ausmünden, welche das Material zu den Schlammeinlaufgefässen der Ofen pumpen. Da der Schlamm in keinem Teile des Behälters ungerührt belassen werden darf, ist es von besonderer Bedeutung, dass das Rührwerk die Behälterwand genau bestreicht. Die Wände müssen deshalb absolut kreiszylindrisch sein, was grosse Anforderungen an die Ausführung der Schalung stellte.

### 2. Konstruktion

Aus Bild 1 gehen die Abmessungen des Schlammbehälters und des Pumpenkellers hervor. Als Baugrund lag ein alter Kraftwerkkanal vor, der später aufgefüllt worden war. Da die Konstruktion keine örtlichen Setzungen erträgt, musste

die Auffüllung weggebaggert und durch einen einviertelten Kieskoffer ersetzt werden. Die oberste Schicht wurde nach genauen Profilen gestampft, entsprechend der unteren Begrenzung des Behälterbodens. Darauf kam eine Magerbetonschicht und die armierte Bodenplatte des Behälters von 15 cm Stärke, doppelseitig armiert mit einem orthogonalen Netz. Dem Rande entlang ist die Bodenplatte verstärkt und radial armiert, indem sie biegefest mit den Wänden verbunden ist (Bilder 2 und 7). Diese biegebeste Verbindung bringt schwierige Probleme der Dimensionierung mit sich, falls die Bettungsziffer des Baugrundes nicht bekannt ist. In unserem Falle war deshalb die Einbringung eines genau bekannten Kieskoffers von Vorteil. Die in Amerika gelegentlich angewandte Anordnung einer verschiebbaren Fuge am Fusse von Behälterwänden oder von regelrechten Gelenken vereinfacht die statische Berechnung, wurde aber aus drei Gründen hier nicht gewählt: Erstens ist sie konstruktiv umständlich, zweitens ist sie statisch nicht ökonomisch und drittens im speziellen Fall mit massivem Kieskoffer überflüssig.

Der Behälter ist horizontal und vertikal vorgespannt. Bei den im Vergleich zum Durchmesser niederen Wänden spielt die vertikale Vorspannung eine ebenso grosse Rolle wie die horizontale. Im Vorprojekt waren zwei Methoden der Ringvorspannung einander gegenübergestellt: erstens das spiralförmige Umwickeln der fertig betonierten und ausgeschalteten

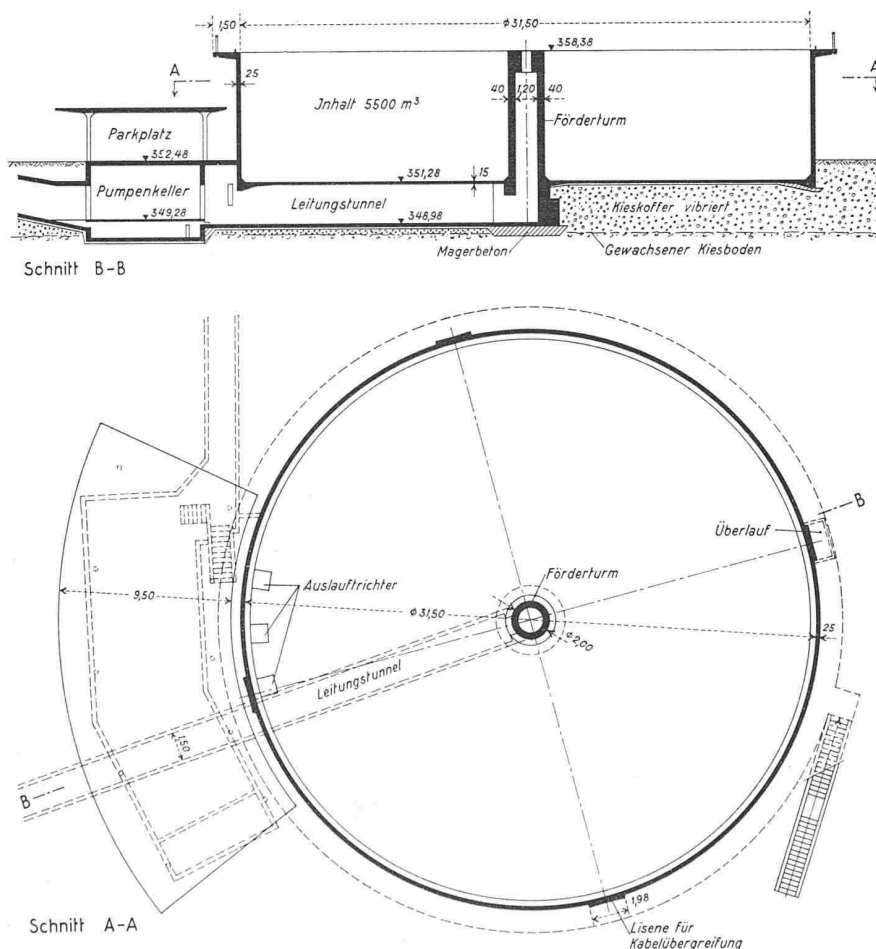


Bild 1. Behälter für 5500 m<sup>3</sup> Zementschlamm vom spezifischen Gewicht  $\gamma = 1,7$ ; Grundriss und Schnitt 1 : 400

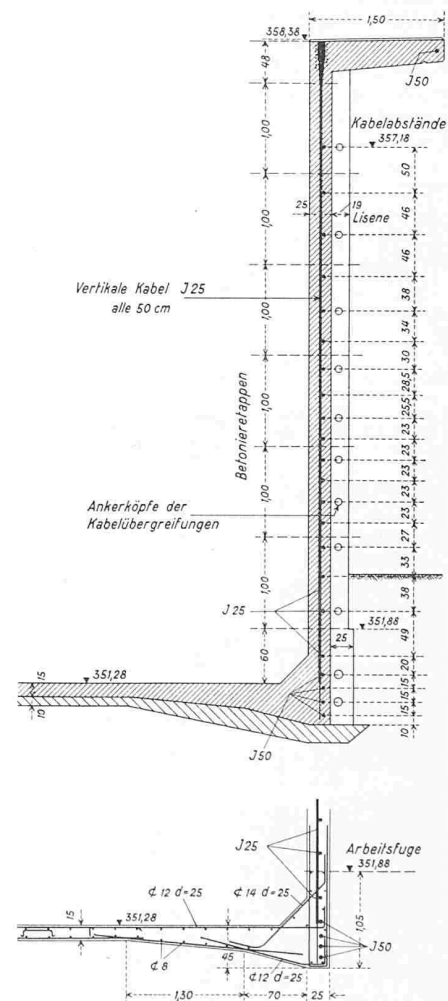


Bild 2. Vertikalschnitt der Behälterwand 1:80, mit Anordnung der Spannkabel BBRV, Typ J25 und J50. Unten Armierung der biegefesten Verbindung zwischen Wand und Boden mit Caronstahl

Wand mit einem endlosen Draht und zweitens das Einlegen von umhüllten Einzelkabeln in die Schalung der Wände vor dem Betonieren. Eine Kette von Gründen führte zur Wahl der zweiten Methode. Der Schuttmörtel über dem endlos gewickelten Draht des ersten Systemes muss bei gefülltem Behälter aufgebracht werden. Der Behälter darf erst im fertigen Zustand des Rührwerkes gefüllt werden. Das Rührwerk ist nicht montierbar, bevor der Laufsteg über der Wand betoniert ist. Der auskragende Laufsteg und die Ueberläufe, welche ebenfalls vorspringen, verhindern das Funktionieren der Wickelmaschine. Neben diesen zwingenden Gründen mussten preisliche Ueberlegungen in den Hintergrund treten, aber auch diese hätten nicht zur Wahl des ersten Systems geführt.

Wie die Bilder 1 bis 4 zeigen, werden die einzelnen horizontalen Kabel um die Hälfte des Behälterumfanges geführt, also alle  $180^\circ$  überlappt. Die Stossfuge ist von einem Kabel zum andern um  $90^\circ$  versetzt, so dass sich vier vertikale Lisenen an der Aussenwand ergeben, entsprechend den Kabelstössen. Die Vorderfläche der Lisenen zeigt entsprechend der Kabelführung konkave Form und hebt sich dadurch angenehm von der konvexen Behälterwand ab. Die beiden seitlichen Rippenflächen bergen die Ankerplatten der Kabel, die nach System BBRV ausgeführt sind. Die Pressen zur Vorspannung wurden auf diesen Seitenflächen tangential zum Behälterumfang angesetzt. Durch das Versetzen der Stösse wird die Auswirkung der Kabelreibung auf ein Minimum gebracht und die Vorspannkraft möglichst gleichmässig über den Umfang verteilt. Für die absolute Wahrung der kreisrunden Form ist die Forderung nach konstanter radialer Umlenkkraft besonders wichtig. Aus Bild 2 geht die variable Verteilung der horizontalen Kabel hervor; die Anzahl Drähte pro Kabel variiert zwischen 13 und 26 Stück. Rings um die Bodenplatte sind vier Spannkabel J 50 angebracht; sie dienen zur Aufnahme der radialen Zugkräfte im Behälterboden infolge Schlammdruck. Von unten nach oben nehmen die Abstände zuerst ab, dann ständig zu. In der Konsole am oberen Rand des Behälters ist nochmals ein Kabel J 50 eingelegt zur Bekämpfung der zu erwartenden Temperatur- und Schwindrisse. Wegen des anbrechenden Winters musste die Konsole mit schnellbindendem

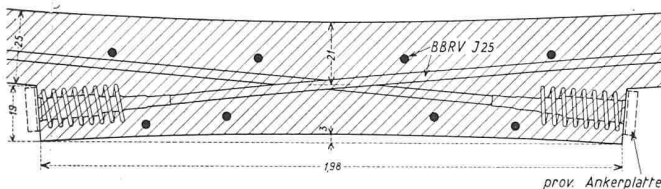


Bild 3. Kabelverankerung an den Lisenen, 1 : 25

Spezialzement betoniert werden, dessen Schwindmass eher grösser ist. Die vertikalen Spannkabel J 25 sind alle 50 cm angeordnet mit beweglichem Spannkopf auf Oberkante Konsole und U-förmiger Schleife am Fusse der Wand. Die Verankerungsplatten sind also nur oben notwendig. Unten wird die Kraft durch die Schleife mit 50 cm Radius in Form von Umlenkkomponenten aufgenommen (Bild 10).

### 3. Statische Berechnung

Der Behälter ist für die drei Lastfälle a) Schlammfüllung, b) Vorspannung und c) Temperatur berechnet. Das spezifische Gewicht des Steinmehlschlammes beträgt 1,7. Die durch das Einvibrieren des Kieskoffers erzielte hohe Bettungsziffer und die grosse Bodensteifigkeit kommt einer Einspannung des Wandfusses im Boden gleich, wobei die Einspannstelle 15 cm unterhalb der Bodenplatte liegt (Bild 6c).

Prinzipiell kann für die Berechnung auf zwei Arten verfahren werden: Entweder wird der Behälter als Flächentragwerk nach den Methoden der Elastizitätstheorie berechnet, oder er wird näherungsweise als Rost von vertikalen Konsolstreifen und horizontalen Ringen betrachtet. Obwohl der erste Weg bei konstanter Wandstärke und totaler Einspannung am Fuss nicht schwer gangbar ist und die Behältergleichungen für den Schlammdruck leicht integriert werden können, wurde doch die zweite Methode gewählt, wegen der Wahl des horizontalen Vorspannmasses. Dieses ist ja nicht von vorneherein gegeben. Auf den ersten Blick möchte man den gesamten Schlammdruck durch Vorspannung kompensieren. In diesem Falle wird aber der leere Zustand des Behälters für die Dimensionierung massgebend, was weder logisch noch ökonomisch ist. Die Gefahr der Entstehung horizontaler Risse am Wandfuss verlagert sich einfach von innen nach aussen, was eher schädlicher ist. Der denkbare Kompromiss, nur den halben Schlammdruck durch Ringkabel zu kompensieren, würde wohl die Momente in den vertikalen Konsolstreifen auf die Hälfte reduzieren, aber dafür gegen die Forderung genügender Sicherung gegen vertikale Wandrisse verstossen. Die Kunst der statischen Berechnung besteht hauptsächlich in einer solchen Bemessung und Verteilung der Ringkabel, dass sowohl vertikale wie horizontale Zugspannungen mit einem Minimum an Kabelaufwand quasi vermieden werden. Weil in vertikaler Richtung beim leeren und vollen Behälter ungefähr gleich grosse, aber entgegengesetzt gerichtete Momente entstehen, wird die vertikale Vorspannung am besten zentrisch angeordnet.

Zur Bestimmung der ökonomischsten Verteilung der horizontalen Kabel müsste man bei der erstgenannten Berechnungsmethode als Flächentragwerk einen Ansatz in Form einer Fourier-Reihe wählen und sich dabei aus praktischen

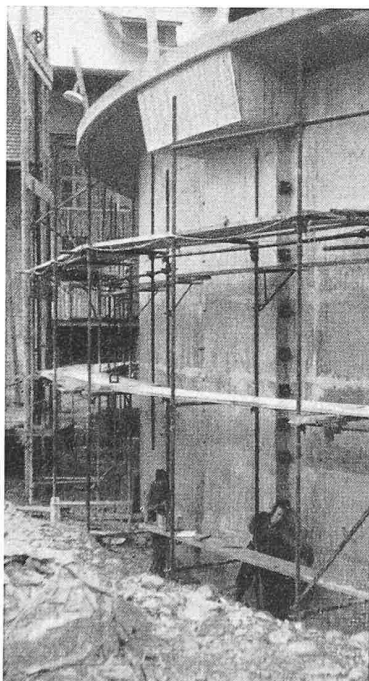


Bild 4. Lisene mit Spannköpfen während dem Vorspannen

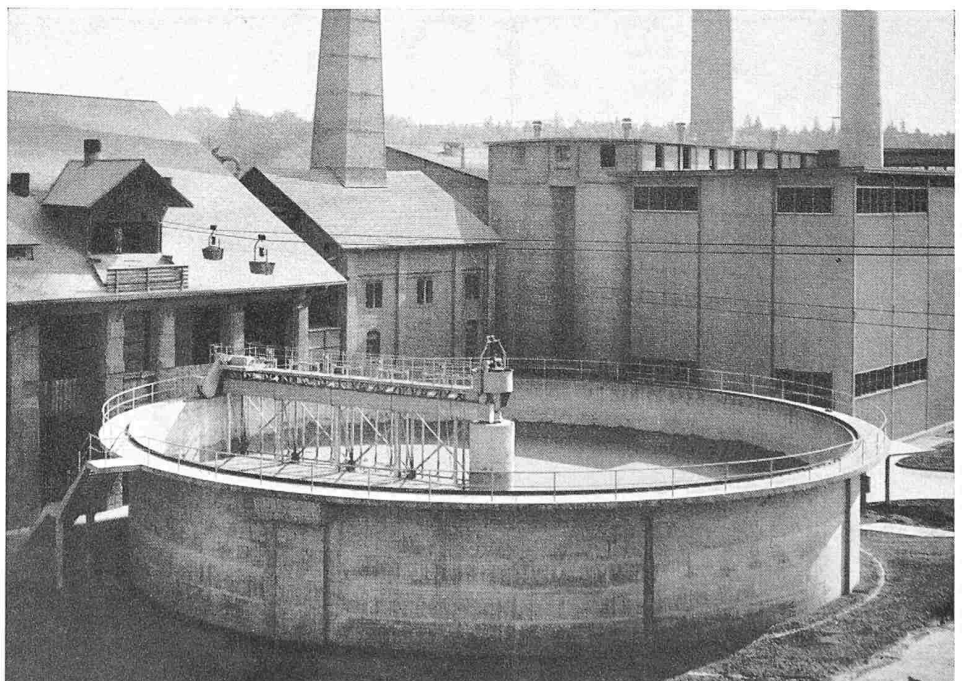


Bild 5. Der fertige Behälter mit Rührwerk, dreiviertel gefüllt

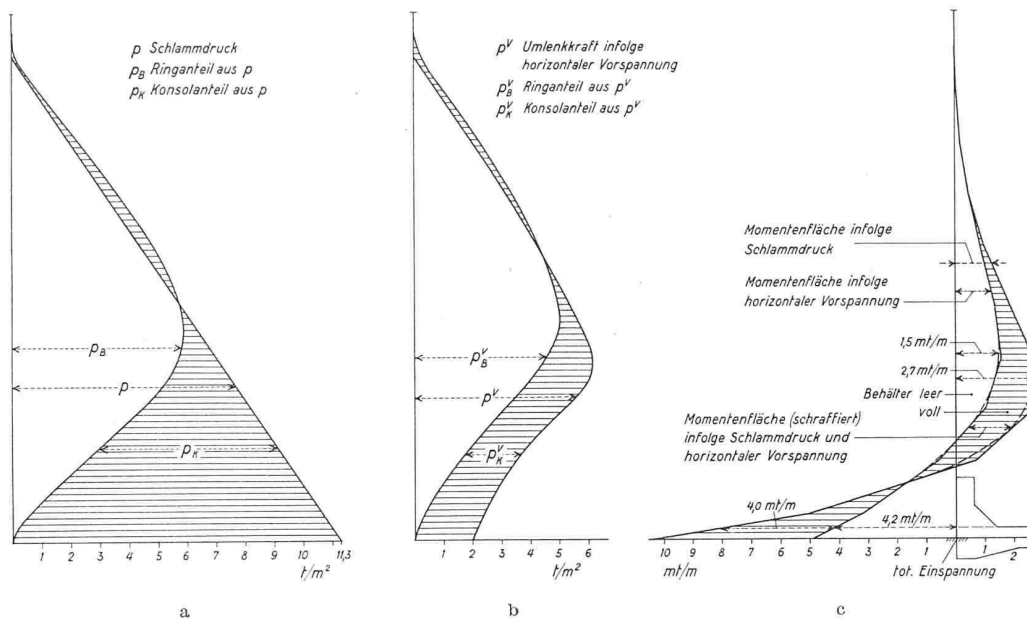


Bild 6. Beanspruchung der Behälterwand, Längensstab 1 : 100. a) Verteilung des Schlammdruckes auf Ring- und Konsolstreifen. b) Verteilung der Umlenkkräfte auf Ring- und Konsolstreifen. c) Biegemomente der Behälterwand

Gründen mit den ersten Gliedern zufriedengeben. Dies bedeutet einen grossen Arbeitsaufwand und keinen Weg, um das Optimum zu finden. Bei der zweiten Methode der Auflösung des Behälters in einen Trägerrost ist jede Kombination möglich und jede Ueberlagerung, so dass die optimale Lösung relativ anschaulich und leicht gefunden wird.

In unserem Fall wurde die Wand in fünf Ringe von anderthalb Meter Höhe aufgeteilt. Die Verteilung der Belastung auf die horizontalen Ringe und vertikalen Konsolen erfolgt aus der Bedingung, dass in den fünf Punkten die radialen Durchbiegungen gleich sein müssen. Bild 6a zeigt die Verteilung des Schlammdruckes auf die Ringe und die Konsolstreifen, Bild 6b diejenige der Umlenkkräfte infolge horizontaler Vorspannung. Aus den gefundenen Belastungen errechnen sich die Konsolmomente aus Schlammdruck einerseits und aus Vorspannung andererseits. Man sieht aus Bild 6c, dass diese

Momente bei leerem und bei vollem Behälter ungefähr die gleiche Grösse auf beiden Seiten erreichen. Die vertikalen Kabel verlaufen deshalb im Zentrum der Wand.

Der Behälter wurde für Temperaturschwankungen von  $20^\circ \text{C}$  wie folgt berechnet: 1. Spannungen bei vollständig verhinderten Dehnungen (méthode de blocage), 2. Spannungen infolge von äusseren Lasten, die Punkt 1 negativ entsprächen. 3. Superposition von Punkt 1 und Punkt 2.

Die maximalen Zugspannungen aus Schlammdruck und Vorspannung erreichen den Wert von  $7 \text{ kg/cm}^2$  und die maximalen Druckspannungen  $47 \text{ kg/cm}^2$ . Unter Berücksichtigung des genannten Temperaturunterschiedes erreichen diese Zahlen Werte von 15 und  $57 \text{ kg/cm}^2$ . Die Zugspannungen sind durch schlaffe Armierungen gedeckt.

Der Behälterboden wurde als Kreisplatte auf elastisch nachgiebiger Unterlage mit Auflast und Randmoment nach Girkmann (Der Stahlbau, 1931, S. 205) berechnet. Die Auflösung der vereinfachten Differentialgleichung der elastischen Linie der Durchbiegung lautet:

$$\xi = \frac{q}{\beta} + e^{\frac{lr}{\sqrt{2}}} \left[ A \cos \frac{lr}{\sqrt{2}} + B \sin \frac{lr}{\sqrt{2}} \right]$$

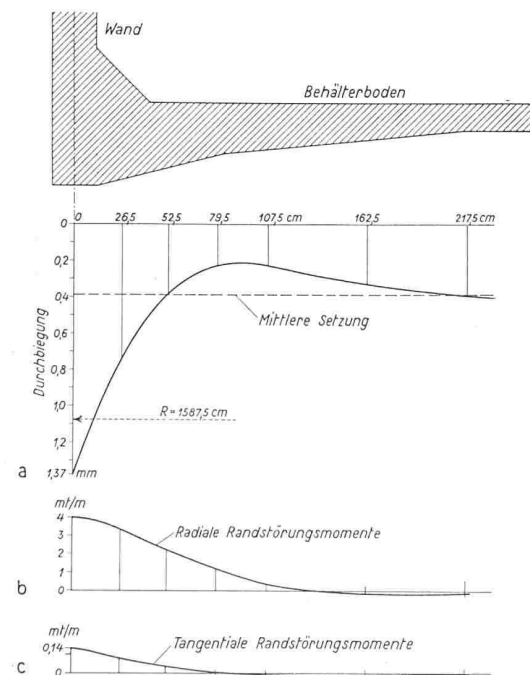


Bild 7. Verformung und Beanspruchung der Bodenplatte. a) Durchbiegung für die Bettungsziffer  $30 \text{ kg/cm}^2$ . b und c) Randmomente der Kreisplatte auf elastisch nachgiebiger Unterlage (nach Girkmann)

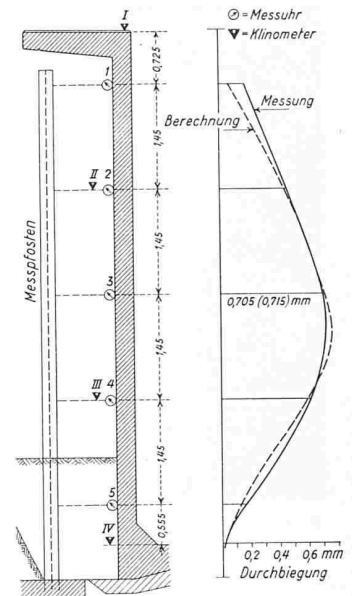


Bild 8. Messungen am ausgeführten Behälter, links Anordnung der Instrumente, rechts Verformung unter 60 % Vorspannung

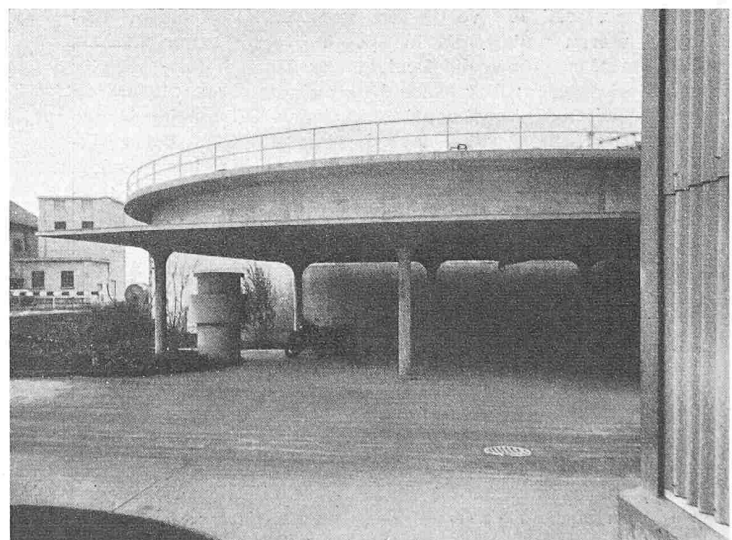


Bild 9. Fertiger Behälter, davor Motorradunterstand



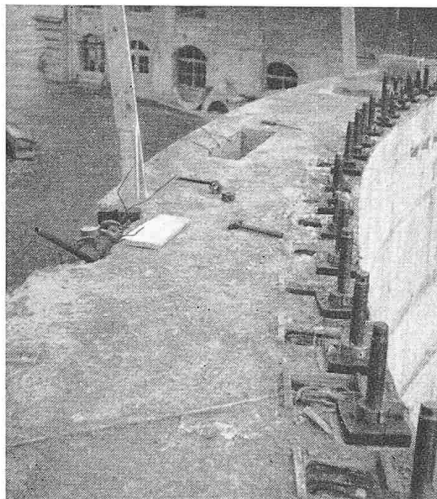


Bild 10. Detail der Konsole

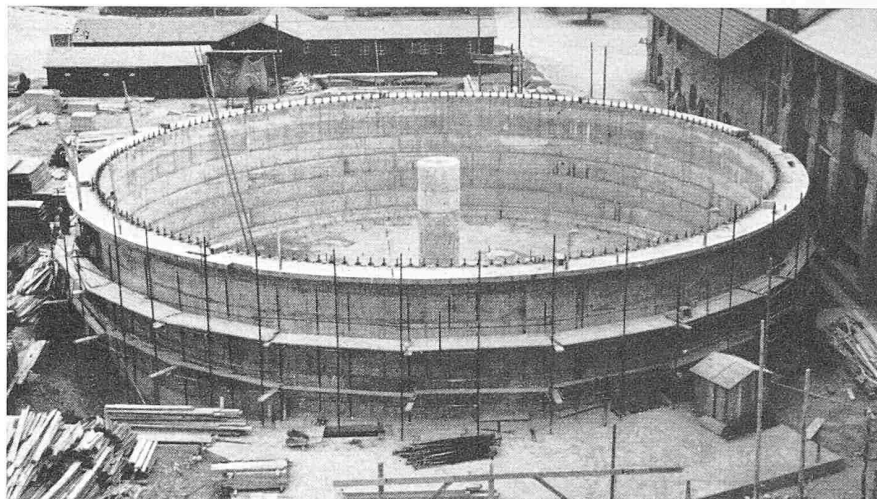


Bild 11. Gerüstung für Behälterwand; Betonieretappen deutlich erkennbar

Auf Bild 10 sieht man links die Spannpresse während dem Vorspannen des Konsolkabels, rechts die Spannköpfe der vertikalen Vorspannkabel J 25, welche nach dem Injizieren entfernt werden

In diesem Ausdruck bedeuten:

$r$  = Abstand vom Kreismittelpunkt

$q$  = 11,58 t/m<sup>2</sup>, Auflast

$\beta$  = 30 kg/cm<sup>3</sup>, Bettungsziffer

$\frac{q}{\beta}$  = 0,0386 cm, theoretische Setzung für unendlich grosse Bodenplatte

$\delta$  = Plattenstärke (Mittelwert)

$m$  = Poissonzahl = 7

$$l = \sqrt[4]{\frac{12(m^2 - 1)\beta}{m^2 E \delta^3}}$$

Die Konstanten  $A$  und  $B$  werden aus den Randbedingungen am Behälterfuss für das Randmoment und für die Randquerkraft erhalten. Aus der Durchbiegung  $\xi$  können dann durch Differentiation die radialen und tangentialen Momente ( $M_r$  und  $M_\phi$ ) abgeleitet werden. Auf den Bildern 7 a, b und c sind die Diagramme der Werte  $\xi$ ,  $M_r$  und  $M_\phi$  zu sehen. Wie aus diesen Kurven hervorgeht, klingt die Randstörung praktisch auf eine Breite von 2 m am Umfang der Bodenplatte ab. Die Berechnung ist natürlich eine Näherung, weil die Vereinfachungen von Girkmann eine dünne Stahlplatte voraussetzen und weil die Veränderlichkeit der Plattenstärke am Rande nicht berücksichtigt ist.

#### 4. Bauvorgang, Materialaufwand und Kosten

Die Ausführung der Bauarbeiten wurden der Unternehmung H. Hatt-Haller AG. übertragen. Die Betonarbeiten dauerten vom 28. Okt. bis 17. Dez. 1954. Die Wand wurde in Ringen von rd. 1 m Höhe zwischen Kletterschalungen hochgeführt. Das Stahlrohrgerüst verlangte besonders sorgfältige Versteifung, weil die vertikalen Vorspannkabel daran aufgehängt waren und genau in Wandmitte zu liegen kamen. Vor allem aber mußte die Zentrierung der Schalung ständig kontrolliert werden; dies geschah mit einem eigens dafür von der Unternehmung konstruierten Ausleger. Tatsächlich ist die Forderung erfüllt worden, dass die innere Fläche der zylindrischen Wand nicht mehr als 2 cm von der theoretischen abweichen durfte (Durchmesser 31 m). Die Vorspannung erfolgte in zwei Etappen, zuerst mit 60 und dann mit 40 %.

Zuerst wurden alle vertikalen und dann alle horizontalen Kabel gespannt. Die Injektion nahm man nach Beendigung der Winterkälte vor. Für die Behälterwand einschl. Laufsteg, jedoch ohne Bodenplatte, wurden folgende Quantitäten benötigt: Beton 230 m<sup>3</sup>, schlaaffe Armierung 8000 kg, Spannkabel 9000 kg.

Die Kosten (Bauinstallationen, Eisenbetonarbeiten, Projekt und Bauleitung) betrugen für den eigentlichen Behälter rund 200 000 Fr. entsprechend einem Einheitspreis von rd. 36 Fr./m<sup>3</sup> Fassungsvermögen. Die Kosten für die Aushubarbeiten, für das Pumpenhaus sowie für die Umgebungsarbeiten sind in diesen Preisen nicht enthalten.

#### 5. Messungen

Zum Vergleich mit der statischen Berechnung wurden durch die Eidg. Materialprüfungsanstalt Messungen am Bauwerk vorgenommen. Es war vorerst geplant, während beiden Vorspannetappen und während dem Füllen des Behälters die Deformationen zu beobachten. Der Umstand, dass bei der zweiten Vorspannung sonniges Wetter herrschte und die Temperaturdifferenzen stärkere Einflüsse als die Vorspannung hatten, wirkte sich ungünstig aus. Aus betrieblichen Gründen erfolgte die Füllung des Behälters in mehreren Etappen während einer längeren Zeitperiode, während der die Instrumente nicht montiert belassen werden konnten. Aus diesem Grund ist nur die Messung während der ersten Vorspannetappe bei konstanter Tagestemperatur und nebligem Wetter brauchbar. In verschiedenen Richtungen waren Invardrähte quer durch die Behälter gespannt zur Beobachtung der Durchmesserverkürzung. An zwei Stellen waren stabile Eisenstäbe ausserhalb der Behälterwände im Boden einbetoniert. Mit Stoppnadeln-Uhren konnte die Einbuchtung der Wand beobachtet werden. Zur Kontrolle des Einspannungsgrades am Fusse der Wand waren dort Klinometer angeheftet. Die Anordnung der Instrumente geht aus Bild 8 hervor, welches auch die befriedigende Uebereinstimmung der Messungen mit der statischen Berechnung zeigt.

Adresse des Verfassers: Ing. E. Schubiger, Universitätstrasse 86, Zürich 6.

## Die Entwicklung auf dem Gebiet der Dampfkraftanlagen

DK 621.181

Von Dipl. Ing. Jacques Gastpar †, Direktor bei Gebrüder Sulzer AG., Winterthur

Fortsetzung von S. 410

### 2. Industrielle Anlagen

Im Gegensatz zu den USA, in denen Hochdruck-Dampfanlagen in der Hauptsache nur für reine Kraftzentralen in Betracht gezogen wurden, hat in Europa der Hochdruckkessel und insbesondere der Einrohr-Dampferzeuger zunächst für industrielle Anlagen als Gegendruck- oder Vorschaltanlage Eingang gefunden. Es handelte sich um Anlagen, die der Strom- und gleichzeitig der Wärmeversorgung dienen.

Die Anforderungen in bezug auf die Regelfähigkeit und die Betriebssicherheit waren dementsprechend beträchtlich hoch.

Die in systematischer Entwicklungsarbeit durchgeführten Untersuchungen und Konstruktionen waren vielseitig und verschafften den europäischen Konstrukteuren eine günstige Gelegenheit, wertvolle Erfahrungen zu sammeln, welche für die spätere Weiterentwicklung auch im Sektor der reinen Kraftzentralen sehr nützlich waren.