

# Anwendung von Schalenkonstruktionen im Tiefbau

Autor(en): **Gruner, G. / Jaggi, A. / Soldan, B.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **66 (1948)**

Heft 32

PDF erstellt am: **20.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-56775>

## **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.

tiger Symbolik von den Vertretern aller Volksstämme des Reiches gestützt, Bild der Macht des Grosskönigs, der seinerseits in verhältnismässig kleiner Figur gewissermassen nur als Hieroglyphe darauf steht und keineswegs in realistischer Weise von dem Bette Gebrauch macht.

Als dann in einer späteren Zeit, im Laufe des 4. Jahrhunderts v. Chr., ein Vasall des Perserkönigs, der Kleinkönig von Karien Maussollos, ein prunkhaftes Grab für sich in Halikarnassos erbaute — als solches ist es sprichwörtlich und als *Mausoleum* der Begriff jedes aufwendigen Grabhauses geworden — da hat er mit dem Grosskönig wetteifern wollen, im gewohnten Schema. Wieder ist es das Haus auf hohem Sockel, das vom Thron bekrönt ist, und um seinen Oberherrn noch zu übertrumpfen, liess er es von ersten griechischen Bildhauern ausführen und den babylonischen Bagedanken gewissermassen ins Griechische übersetzen. Zu dieser Uebersetzung gehört denn auch, dass als Requisit der königlichen Repräsentation nicht das Thronbett, sondern wie bei den Griechen häufig die Quadriga auftritt, in der er dann eben nur zu stehen hat, ohne gerade kutschieren zu müssen.

Auch von diesem Bauwerk, das die Alten zu den sieben Weltwundern zählten, ist uns so viel an Mass und Zahl überliefert, dass eine überzeugende Rekonstruktion möglich ist. Sie baut sich wie der Turm auf eine Zahlenharmonie auf und lässt darin auch Anklänge an das babylonische Vorbild vernehmen. Den genauen Nachweis des Aufbaus findet der interessierte Leser in der «Preussischen Zeitschrift für Bauwesen» im Jahrgang 1927, Heft 10 bis 12. Hier sei nur das Schema von Mass und Zahl erläutert, das sich aus dem Ausgrabungsbefund ergibt — der Engländer Newton grub 1857 in Halikarnassos aus — und den Angaben, die sich bei Vitruvius und namentlich bei Plinius finden. Danach muss der entwerfende Architekt, dessen Namen Pytheos überliefert ist, in folgender Weise vorgegangen sein: Das Neue der Aufgabe war für ihn ohne Zweifel die Höhenentwicklung. Griechische Monumentalbauten sind immer eingeschossig. Auch hier bedeutet die Uebereinanderschichtung, die unser Diagramm Bild 5 erkennen lässt, noch nicht Mehrgeschossigkeit, sondern nur einen Aufbau auf sehr hohem Sockel, und die Pyramide über dem Säulenhause, griechisch Pteron, ist nur das Dach, bekrönt von einer Quadriga. Dafür gibt Plinius, der fast wie ein Fremdenführer besonders die grossen Zahlen liebt, die Gesamthöhe 140 Fuss an, und man darf sich fragen, wie diese Zahl zustande kommt. Griechen gehen meist von noch einfacheren Zahlen aus, gern von 100 Fuss. Setzen wir diese für Sockel und Pteron und teilen wir sie harmonisch; gleich und gleich ist kein harmonisches Verhältnis, sondern nur eine Summe; wir würden in der Hundert zunächst  $10 \times 10$

sehen, aber die Alten kannten den Dezimalbruch nicht, sondern verwendeten die Teilung nach Potenzen der 2, wie wir das ja auch bei den Ziegelschichten des Turmes sahen und wie es bei Anwendung des Zirkels praktisch ist. Das führt beim Mausoleum rechnerisch zu  $8 \times 12\frac{1}{2}$  Fuss. Da die vorhandenen Bruchstücke des Pterons seine ungefähre Höhe erkennen lassen, müssen  $3 \times 12\frac{1}{2}$  für dieses und  $5 \times 12\frac{1}{2}$  für den Sockel gewählt sein, übrigens das Verhältnis des Goldenen Schnittes.  $3 \times 12\frac{1}{2} = 37\frac{1}{2}$  Fuss bedeuten aber 25 Ellen (1 Elle =  $1\frac{1}{2}$  Fuss) und die überliefert Plinius. Auch sagt er «supra pteron pyramis altitudinem inferiorem aequat» das kann sowohl heissen «die Pyramide über dem Pteron kommt der unteren Höhe gleich» und hat dadurch verheerend auf verschiedene Herstellungsversuche gewirkt, oder «stellt eine Gleichung mit der unteren Höhe her»; aequare bedeutet nämlich ebensogut gleichkommen wie gleichmachen. Nun ergibt sich die Höhe der Pyramide aus dem Steigungsverhältnis ihrer Stufen, die erhalten sind, und dem Grundriss, der eingelegt ist durch die vorhandene Felsbettung und die Ueberlieferung eines rechteckigen Pterons mit 36 Säulen, die im Verhältnis  $8 \times 10$  anzuordnen sind, da zweierlei Pyramidenstufen in diesem Verhältnis vorhanden und erforderlich sind, um bei rechteckigem Grundriss zu einer Pyramidenspitze und nicht zu einem Grat zu gelangen. Das Rechteck ist genau wie bei dem babylonischen Vorbild architektonisch nicht zu erwarten und wohl auf die selbe Tradition wie dort zurückzuführen. Die also gesicherte Pyramide — sie ist selbst in ihren Grundlinien durch die Spuren auf dem Hauptgesims zuverlässig festgelegt — ergibt aufs Haar  $25 = 2 \times 12\frac{1}{2}$  Fuss Höhe. Die Pyramide verhält sich also zu Pteron wie 2:3, Pteron zu Sockel wie 3:5. Wir denken an die oberen Partien des Babelturms. Damit hätten wir aber erst 125 Fuss Höhe, fehlen an 140 noch 15 Fuss für die überlieferte Quadriga. Von dieser sind erhebliche Reste gefunden und ergeben mit der zugehörigen Figur ihres Inhabers, die nur den Maussollos selber vorstellen kann, etwa 15 Fuss. Die Quadriga verhält sich also zur Pyramide wie  $15:25 = 3:5$  wie Pteron zum Sockel, Pyramide zu Pteron zu Sockel 2:3:5, eine Verschränkung der Masse, die durchaus dem babylonischen Verfahren entspricht. Also hier und noch in klassischer Zeit die alte babylonisch-ionische Mischung, die auch von Alexander dem Grossen gefördert wurde und heute hellenistisch genannt wird, und es ist gewiss kein Zufall, dass gerade die prominentesten Beispiele diesen Zusammenhang verraten. Hier sollten sie namentlich zeigen, wie viel Mass und Zahl aussagen können, nicht nur dem Architekten, sondern auch dem Historiker, wenn wir auch vornehmlich dem modernen Baumeister gedient oder ihn wenigstens interessiert haben möchten.

### Anwendung von Schalenkonstruktionen im Tiefbau

DK 634.074.4

Von G. GRUNER, A. JAGGI und B. SOLDAN, Ingenieure, Basel

Die Kriegszeit mit ihren Einschränkungen in der Verwendung von Baumaterialien aller Art, besonders von Zement und Armierungseisen, hat uns dazu gebracht, auch im Tiefbau die materialeinsparenden Schalenkonstruktionen, wie sie in den letzten Jahrzehnten im Hochbau aufgekommen sind, zu verwenden, und deren Anwendungsgebiete zu studieren.

Schalenkonstruktionen scheinen besonders für Durchlässe, Untertunnelungen, Rohrleitungen, Kanalüberdeckungen, Reservoirüberdeckungen und ähnliches in Frage zu kommen; in Sonderfällen auch für Stauwauern (vor allem dort, wo man an eine Gewölbestauwauer denkt). Auf diese soll hier nicht näher eingetreten werden. Hingegen sollen einige Beispiele zur Darstellung kommen, bei denen die Schalenbauweise entweder studiert worden ist oder zur Ausführung kam. Sämtliche Beispiele dieses Aufsatzes behandeln längs aufgelagerte Schalen. Im allgemeinen weisen diese Bauwerktypen rechteckigen Grundriss auf, so dass für deren Ueberdeckung zylindrische Schalengewölbe zur Anwendung kommen können.

Die Theorie wird an Hand des im 1. Beispiel beschriebenen kreisförmigen Schalenprofils dargestellt.

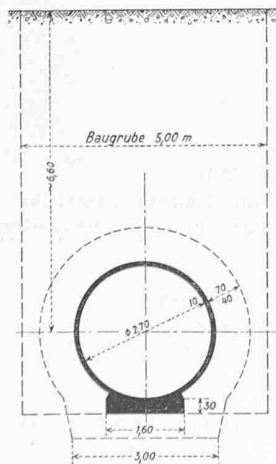


Bild 1a. Querschnitt 1:150

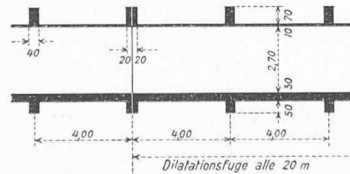


Bild 1b. Längsschnitt 1:300

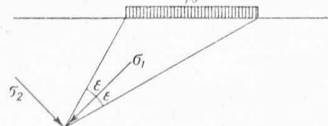


Bild 2

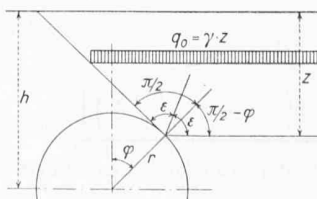


Bild 3a

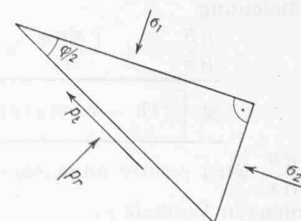


Bild 3b

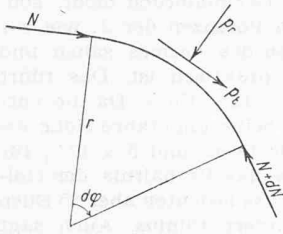


Bild 4

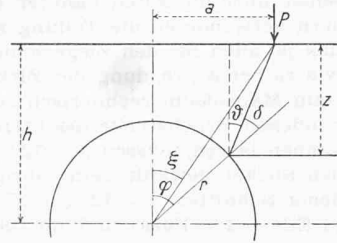


Bild 5a

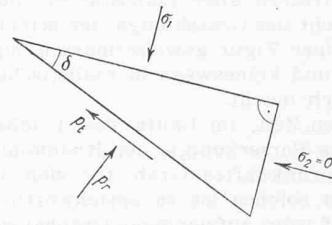


Bild 5b

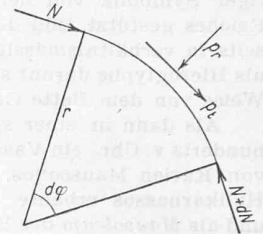


Bild 6

**Erstes Beispiel: Geschlossenes Kreisprofil**

**1. Anwendung**

Das Bauwerk wurde vorgesehen als Unterwasserstollen mit freiem Spiegel für ein Industriekraftwerk. Der ganze Kanal, der in den Bereich des Fabrikareals zu liegen kommt, kann in offener Baugrube erstellt werden. Die Abmessungen gehen aus Bild 1 hervor. Der lichte Durchmesser beträgt 2,70 m, die Gesamtlänge rd. 300 m, die Ueberdeckung über dem Scheitel rd. 5,20 m. Die Stollenwandung besteht aus einer zylindrischen Schale von 10 cm Wandstärke mit kreisförmigem Querschnitt, die in Abständen von 4,00 m durch ringförmige Rippen versteift wird. Alle 20 m ist eine Dilatationsfuge vorgesehen, die durch einen doppelten Versteifungsring gebildet wird.

**2. Belastungsannahmen**

Von den auf die Schale wirkenden äusseren Lasten wurde nur der Erddruck berücksichtigt, herrührend vom Gewicht des Ueberdeckungsmaterials selbst und von der auf der Erdoberfläche (Fabrikareal) angenommenen Nutzlast von 3 t/m<sup>2</sup>. Der Einfluss des Wasser-Innendruckes und des Eigengewichtes der Stollenwandung wurde vernachlässigt, da diese Belastungen gegenüber dem Erddruck sehr klein sind. Der auf das Schalengewölbe wirkende Erddruck wurde nach der Theorie von Fröhlich<sup>1)</sup> berechnet. Die Schubbeanspruchung der Schale infolge der Erdauffüllung wurde direkt, diejenige infolge der Nutzlast mit Hilfe von Einflusslinien berechnet, damit die Nutzlast in der jeweils ungünstigsten Stellung eingesetzt werden konnte. In der gleichen Weise wurde auch die Biegebeanspruchung der Versteifungsrippen ermittelt.

**3. Durchführung der Berechnung**

*Beanspruchung der Schale infolge Auffüllung*

Erddruck nach Fröhlich (Bild 2)

$$\sigma_2 = \frac{q_0}{\pi} (2\varepsilon \pm \sin 2\varepsilon)$$

Auf den vorliegenden Fall angewendet, ergibt sich (Bild 3) mit  $2\varepsilon = \pi - \varphi$

$$\sigma_2 = \frac{q_0}{\pi} (\pi - \varphi \pm \sin \varphi)$$

Daraus berechnet man die Radial- und Tangentialkomponente des Erddruckes wie folgt:

$$p_r = \frac{q_0}{\pi} \left\{ \pi - \varphi + \sin \varphi \cos \varphi \right\}$$

$$p_t = \frac{q_0}{\pi} \sin^2 \varphi$$

wobei  $q_0 = \gamma z = \gamma (h - r \cos \varphi)$

Die beiden Komponenten  $p_r$  und  $p_t$  wirken nun als äussere Lasten auf die Schale (Bild 4).

Beanspruchung der Schale  $N = p_r r$

$$\frac{\partial S}{\partial x} = - \frac{\partial N}{r \partial \varphi} + p_t = - \frac{\partial p_r}{\partial \varphi} + p_t$$

Wenn man die Werte für  $p_r$  und  $p_t$  einsetzt, ergibt sich für die Variation der Schubkraft längs der Schale die folgende Gleichung

$$\frac{\partial S}{\partial x} = + \frac{\gamma \sin \varphi}{\pi} \times \left[ 3(h - r \cos \varphi) \sin \varphi - r \left( \pi - \varphi + \frac{\sin 2\varphi}{2} \right) \right]$$

$\frac{\partial S}{\partial x}$  wird positiv angenommen in der Richtung des zunehmenden Winkels  $\varphi$ .

<sup>1)</sup> Fröhlich: Druckverteilung im Baugrund, Wien 1934, Jul. Springer.

*Beanspruchung der Schale infolge Nutzlast*

Um für eine bestimmte Erzeugende der Schale (Polar-Koordinate  $\varphi$ ) die Einflusslinie der Schubkräfte zu bestimmen, wird die Linienlast  $P$  in verschiedenen Abständen  $a$  von der Kanalaxe angebracht und für jede Laststellung die dazugehörige Schubkraft berechnet (Bild 5).

Erddruck nach Fröhlich

$$\sigma_1 = \frac{2P}{\pi z} \cos^2 \vartheta$$

$$\sigma_2 = 0$$

Im vorliegenden Fall ist

$$\vartheta = \varphi - \delta$$

Daraus berechnet man die Radial- und Tangentialkomponente des Erddruckes wie folgt:

$$p_r = \frac{2P}{\pi z} \cos^2 \vartheta \cos^2 \delta$$

$$p_t = \frac{2P}{\pi z} \cos^2 \vartheta \sin \delta \cos \delta$$

wobei  $\vartheta = \varphi - \delta$  und  $z = h - r \cos \varphi$

Die beiden Komponenten  $p_r$  und  $p_t$  des Erddruckes wirken als äussere Lasten auf die Schale und rufen in ihr die folgenden Beanspruchungen hervor (Bild 6):

$$N = p_r r$$

$$\frac{\partial S}{\partial \varphi} = - \frac{\partial N}{r \partial \varphi} + p_t = - \frac{\partial p_r}{\partial \varphi} + p_t$$

Die Ableitung von  $p_r$  nach  $\varphi$ , wobei  $z$ ,  $\vartheta$  und  $\delta$  Funktionen von  $\varphi$  sind, ergibt folgenden Wert

$$\frac{\partial p_r}{\partial \varphi} = - \frac{2P}{\pi z} \cos^2 \vartheta \cos \delta \times \left\{ 2 \sin \delta + \frac{r}{z} \cos \delta (3 \sin \delta \cos \vartheta - \sin \vartheta \cos \delta) \right\}$$

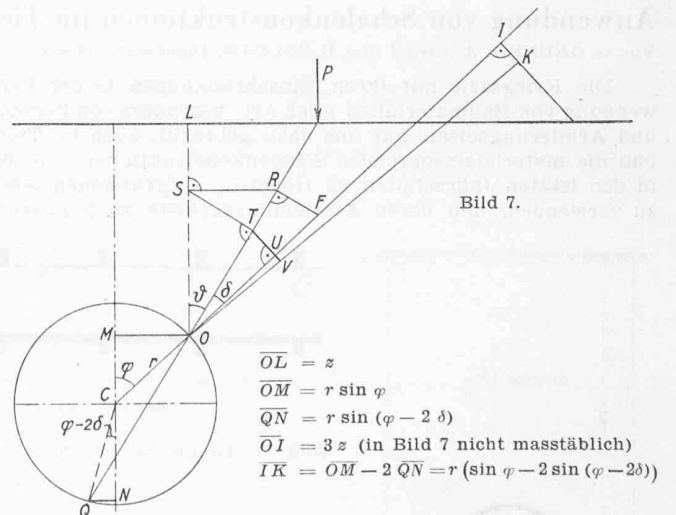


Bild 7.

$$\begin{aligned} \overline{OL} &= z \\ \overline{OM} &= r \sin \varphi \\ \overline{QN} &= r \sin (\varphi - 2\delta) \\ \overline{OI} &= 3z \text{ (in Bild 7 nicht maßstäblich)} \\ \overline{IK} &= \overline{OM} - 2 \overline{QN} = r (\sin \varphi - 2 \sin (\varphi - 2\delta)) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \overline{OU} &= \overline{OF} \cos^2 \vartheta \cos \delta \sin \delta \\ \overline{OV} &= \overline{OF} \cos^2 \vartheta \cos^2 \delta \\ \overline{UV} &= \overline{OU} \frac{\overline{IK}}{3z} \end{aligned}$$

$$\overline{OF} = \frac{6P}{\pi z}$$

$$\begin{aligned} \overline{TV} &= \overline{TU} + \overline{UV} = \overline{OF} \cos^2 \vartheta \cos \delta \sin \delta + \\ &+ \overline{OF} \cos^2 \vartheta \cos^2 \delta \frac{r (\sin \varphi - 2 \sin (\varphi - 2\delta))}{3z} \end{aligned}$$

$$\overline{TV} = \frac{\partial S}{\partial x}$$

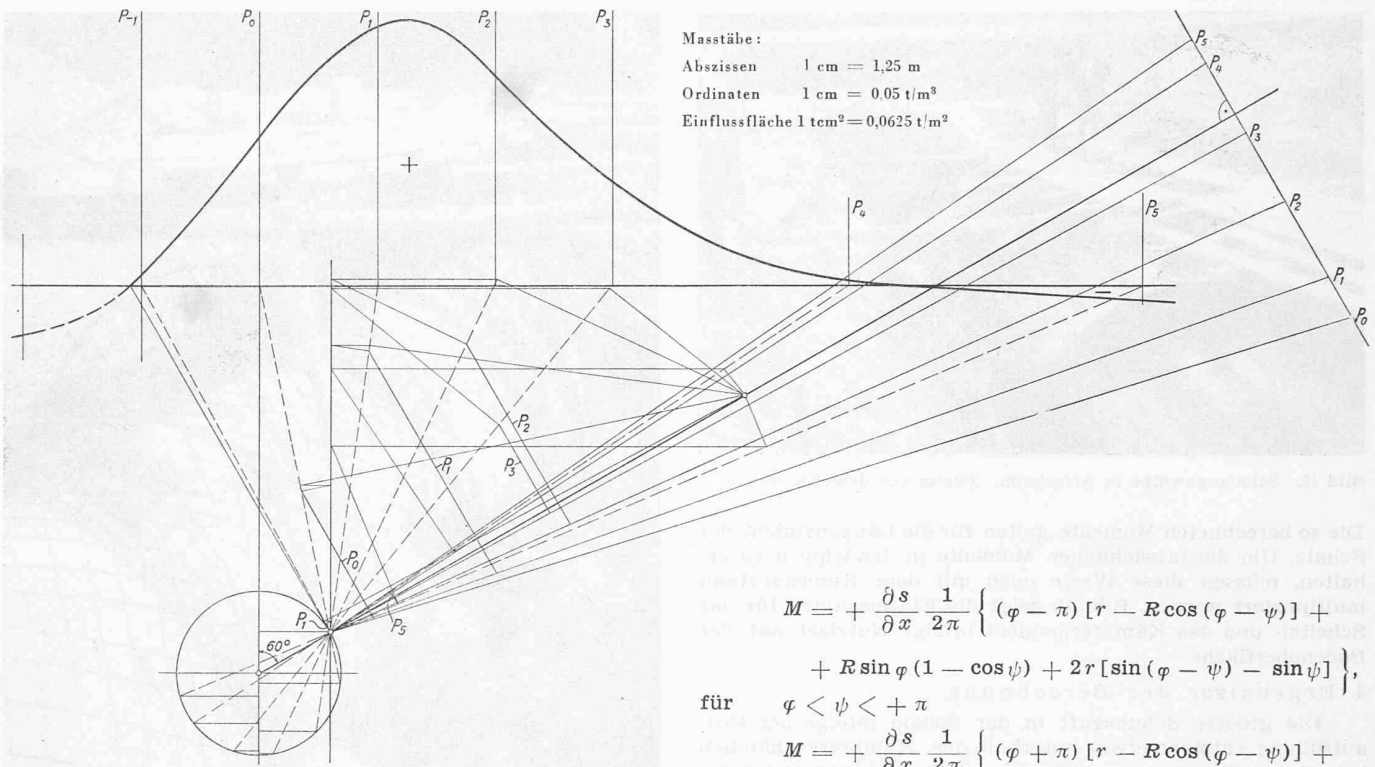


Bild 8. Schubspannungen in der Schale bei  $\varphi = 60^\circ$ . Einflusslinie für die Nutzlast

Damit wird

$$\frac{\partial S}{\partial x} = \frac{6P}{\pi z} \cos^2 \vartheta \cos \delta \sin \delta + \frac{6P}{\pi z} \cos^2 \vartheta \cos^2 \delta \frac{r [\sin \varphi - 2 \sin (\varphi - 2\delta)]}{3z}$$

Für die Berechnung dieses Ausdruckes wurde die einfache graphische Konstruktion (Bild 7) durchgeführt.

Als Beispiel wird in Bild 8 die Einflusslinie für die Schubspannungen in der Schale bei  $\varphi = 60^\circ$  infolge Nutzlast auf der Bodenoberfläche dargestellt.

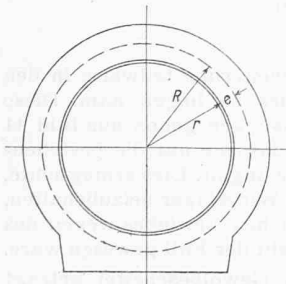


Bild 9a

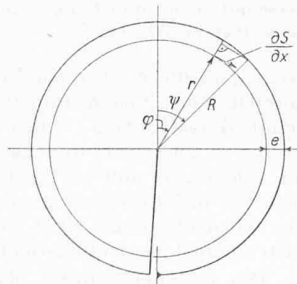


Bild 9b

**Beanspruchung der Versteifungsrippen**

Die Versteifungsrippen bilden geschlossene Ringe, die durch die Schubkräfte der Schale auf Biegung beansprucht werden. Sie sind äusserlich statisch bestimmt, innerlich dreifach statisch unbestimmt und werden nach der normalen Rahmentheorie berechnet. Die Momente  $M_0$  im Grundsystem an der Stelle  $\psi$  des Ringes haben folgende Werte (Bild 9b):

Für  $-\pi < \varphi < \psi$

$$M_{0\psi} = + \frac{\partial S}{\partial x} \left\{ r - R \cos (\psi - \varphi) \right\},$$

für  $\psi < \varphi < +\pi$   $M_{0\psi} = 0$ .

Nach Berechnung der überzähligen Grössen  $M_1$ ,  $H$  und  $V$  ergeben sich für die Biegemomente  $M = M_0 + M_1 + Hy + Vz$  die folgenden Gleichungen:

Für  $-\pi < \psi < \varphi$

$$M = + \frac{\partial s}{\partial x} \frac{1}{2\pi} \left\{ (\varphi - \pi) [r - R \cos (\varphi - \psi)] + R \sin \varphi (1 - \cos \psi) + 2r [\sin (\varphi - \psi) - \sin \psi] \right\},$$

für  $\varphi < \psi < +\pi$

$$M = + \frac{\partial s}{\partial x} \frac{1}{2\pi} \left\{ (\varphi + \pi) [r - R \cos (\varphi - \psi)] + R \sin \varphi (1 - \cos \psi) + 2r [\sin (\varphi - \psi) - \sin \psi] \right\}.$$

Dabei werden diejenigen Momente als positiv bezeichnet, die auf der Innenseite Zug bewirken.

Für den Scheitel ( $\psi = 0^\circ$ ) und den Kämpfer ( $\psi = 90^\circ$ ) lauten die Gleichungen folgendermassen:

**Scheitel**

$$0 < \varphi < \pi$$

$$M = + \frac{\partial s}{\partial x} \frac{1}{2\pi} \left\{ (\varphi - \pi) (r - R \cos \varphi) + 2r \sin \varphi \right\}$$

$$-\pi < \varphi < 0$$

$$M = + \frac{\partial s}{\partial x} \frac{1}{2\pi} \left\{ (\varphi + \pi) (r - R \cos \varphi) + 2r \sin \varphi \right\}$$

**Kämpfer**

$$\pi/2 < \varphi < \pi$$

$$M = + \frac{\partial s}{\partial x} \frac{1}{2\pi} \times \left\{ (\varphi - \pi) (r - R \sin \varphi) + R \sin \varphi - 2r (1 + \cos \varphi) \right\}$$

$$-\pi < \varphi < \pi/2$$

$$M = + \frac{\partial s}{\partial x} \frac{1}{2\pi} \times \left\{ (\varphi + \pi) (r - R \sin \varphi) + R \sin \varphi - 2r (1 + \cos \varphi) \right\}$$

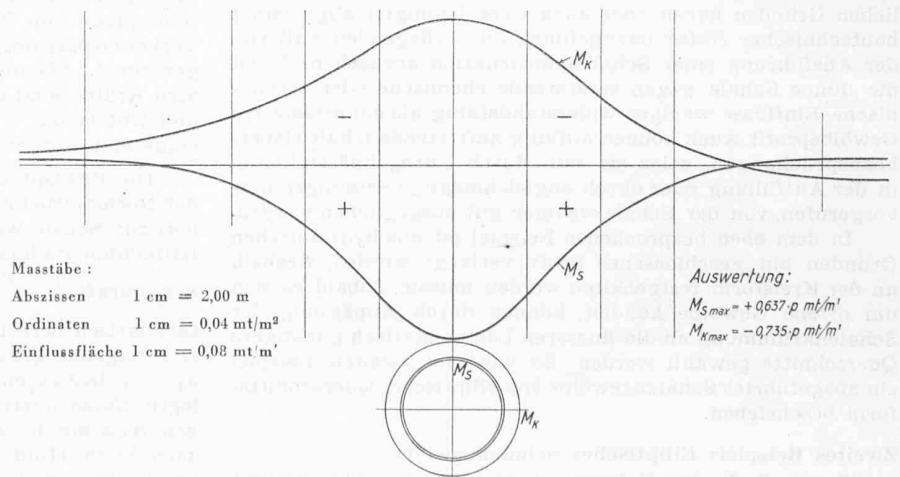


Bild 10. Biegemomente in den Versteifungsrippen. Einflusslinien für die Nutzlast

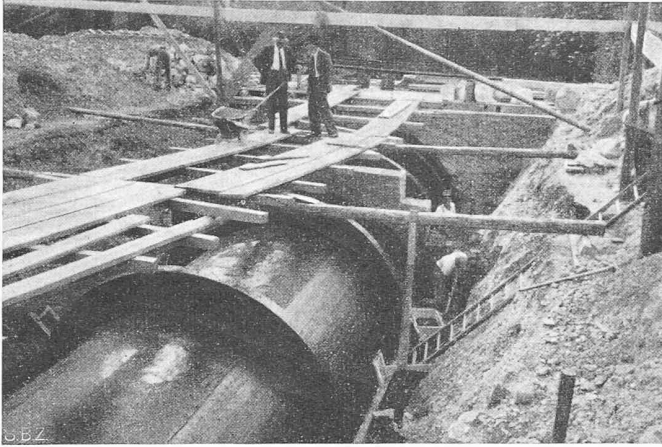


Bild 13. Schalengewölbe in Arlesheim. Fertig vor dem Eindecken

Die so berechneten Momente gelten für die Längeneinheit der Schale. Um die tatsächlichen Momente in den Rippen zu erhalten, müssen diese Werte noch mit dem Rippenabstand multipliziert werden. Bild 10 zeigt die Einflusslinien für das Scheitel- und das Kämpfermoment infolge Nutzlast auf der Bodenoberfläche.

#### 4. Ergebnisse der Berechnung

Die grösste Schubkraft in der Schale infolge der Erdauauffüllung entsteht etwas unterhalb des «Kämpfers», nämlich bei einem Winkel  $\varphi$  von  $105^\circ$ , die grösste Schubkraft infolge einseitiger Nutzlast beim Winkel  $\varphi = 30^\circ$ . Im vorliegenden Beispiel beträgt die grösste am Rippenrand auftretende Schubkraft  $S = 20,6 \text{ t/m}$  und die dazugehörige Normalkraft  $N = 17,3 \text{ t/m}$ . Bei der Wandstärke von  $10 \text{ cm}$  ergeben sich somit die folgenden Spannungen:  $\sigma_d = 17,3 \text{ kg/cm}^2$ ,  $\tau = 20,6 \text{ kg/cm}^2$ . Die Hauptzugspannung beträgt  $13,5 \text{ kg/cm}^2$ , die Hauptdruckspannung  $31,0 \text{ kg/cm}^2$ . Die Hauptzugspannung ist am Rippenrand um  $33^\circ$  gegenüber der Erzeugenden abgedreht. Die grössten Biegemomente in den Versteifungsrippen betragen für den Scheitel  $M_s = +23,6 \text{ mt}$ , für den Kämpfer  $M_k = -29,3 \text{ mt}$ .

#### 5. Vergleich mit einem normalen Stollenprofil

Ein Kostenvergleich des kreisrunden Schalengewölbes mit einem biegesteifen Kreisprofil ergab, dass das Schalengewölbe  $20\%$  teurer wird. Wohl kann fast die Hälfte an Betonkubatur eingespart werden ohne gleichzeitig den Bedarf an Armierungseisen wesentlich zu erhöhen, jedoch wird der Beton wegen des schwierigeren Einbringens teurer, und vor allem erfordert das Schalengewölbe mehr und teurere Schalung. Eine weitere Kostenvermehrung entsteht, weil wegen der Versteifungsrippen die Baugrube breiter ausgehoben werden muss als beim normalen Profil. Die Ausarbeitung des Projektes fiel noch in die Zeit der Zementknappheit. Damals wäre das Schalengewölbe trotz der höheren Kosten gegenüber einem biegesteifen Profil gerechtfertigt gewesen. Ausser den wirtschaftlichen Gründen haben aber auch Ueberlegungen allgemeiner bautechnischer Natur dazugeführt, im vorliegenden Fall von der Ausführung einer Schalengewölbe abzugehen. So ist die dünne Schale gegen zerstörende chemische oder mechanische Einflüsse weniger widerstandsfähig als ein massiveres Gewölbeprofil. Auch können allfällig auftretende lokale Ueberbeanspruchungen, seien sie nun durch Unregelmässigkeiten in der Auffüllung oder durch ungleichmässige Setzungen hervorgerufen, von der Schale weniger gut ausgeglichen werden.

In dem eben besprochenen Beispiel ist aus hydraulischen Gründen ein geschlossenes Profil verlangt worden, weshalb an der Kreisform festgehalten werden musste. Sobald es sich um offene Gewölbe handelt, können durch Anpassung der Schalengewölbe an die äusseren Lasten statisch günstigere Querschnitte gewählt werden. So wird im zweiten Beispiel ein ausgeführtes Schalengewölbe von elliptischer Querschnittsform beschrieben.

#### Zweites Beispiel: Elliptisches Schalengewölbe

Gegen Ende des Krieges ist uns die Aufgabe gestellt worden, eine Abwasserkläranlage in Arlesheim neu zu über-

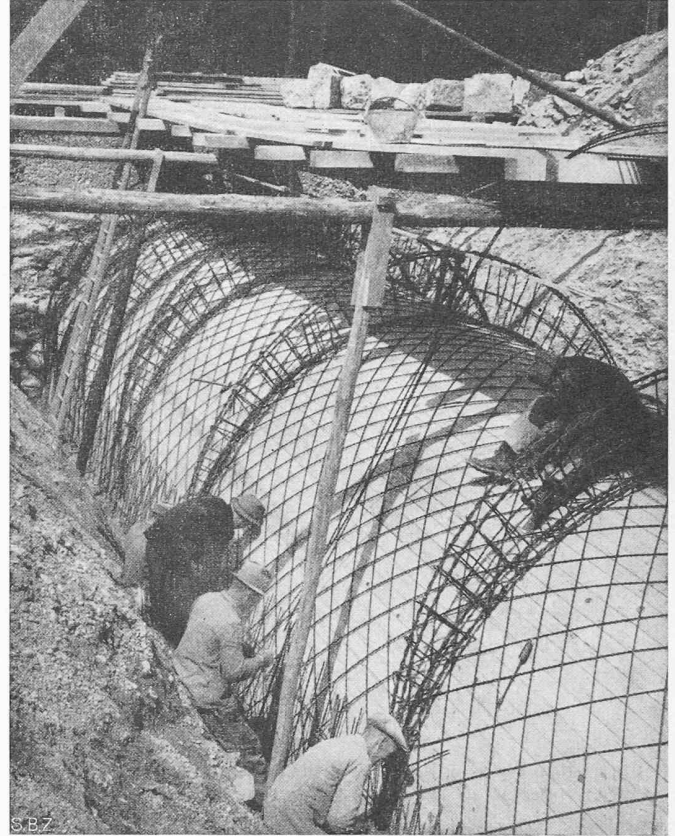


Bild 12. Armierung

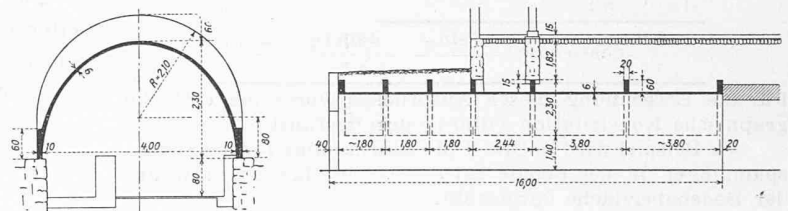


Bild 11. Querschnitt 1:150 und Längsschnitt 1:300 des Schalengewölbes in Arlesheim

decken, da diese bei einer Fabrikenerweiterung teilweise in den Bereich eines neuen Fabrikgebäudes zu liegen kam. Diese Schalengewölbe — ihre Abmessungen gehen aus Bild 11 hervor — ist derart dimensioniert, dass sie auf die bestehenden Widerlager nur vertikale Kräfte abgibt. Dies ermöglichte, die alten in Naturstein gemauerten Widerlager beizubehalten, was bei Anwendung eines gewöhnlichen Gewölbes wegen des auftretenden Horizontal-Schubes nicht der Fall gewesen wäre.

Die Erdüberdeckung über dem Gewölbescheitel beträgt maximal  $2,60 \text{ m}$ . Als Nutzlast auf der Oberfläche der Auffüllung wurde im Gebäudeinnern mit einer gleichmässig verteilten Last von  $600 \text{ kg/m}^2$ , ausserhalb des Gebäudes mit einer Verkehrsbelastung durch eine Dampfwalze mit  $12 \text{ t}$  Achsdruck gerechnet. Als unmittelbar auf das Gewölbe wirkende äussere Kräfte sind die spezifischen Erddrücke aus Auffüllung und Nutzlasten — nach der Theorie von Coulomb berechnet — eingesetzt worden.

Die Beanspruchung der Schale setzt sich zusammen aus der Normaldruckkraft  $N$  und der Schubkraft  $S$ . Mit dem normal zur Schale wirkenden spezifischen Erddruck  $q$  und dem Krümmungsradius  $R$  der Schale ergibt sich  $N = qR$ . Die Schubkraft  $S = \frac{dN}{ds}$  wurde mittels Differenzenrechnung

tabellarisch berechnet. Als Resultat der Berechnung ergaben sich folgende grösste Hauptspannungen in der Schale: Druck  $\sigma_d = +18,2 \text{ kg/cm}^2$ , Zug  $\sigma_z = -2,5 \text{ kg/cm}^2$ . Die diagonal verlegte Netzarmierung (1 ISteg  $\varnothing 5$  alle  $20 \text{ cm}$ ) ist so bemessen, dass sie die auftretenden Zugspannungen ganz aufnehmen kann (Bild 12). Die Binder werden durch die Schubkräfte  $S$  in der Schale auf Druck und Biegung beansprucht. Sie wirken als einfache Balken, da im Auflager kein Hori-

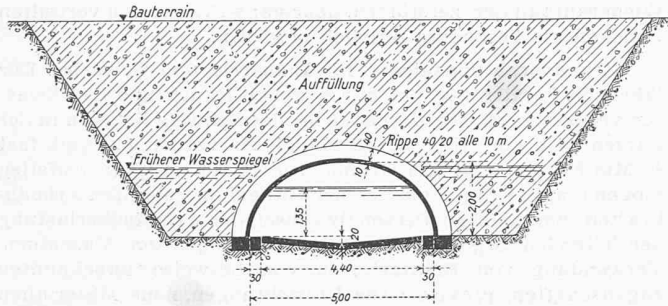


Bild 14. Eindeckung eines Kanals, 1 : 200

zontalschub aufgenommen werden kann. Somit ist die Berechnung sehr einfach.

Die Ausführung des Schalengewölbes erfolgte in Beton PC 300. Die äusseren Flächen wurden mit einem Isolieranstrich gegen die Erdfeuchtigkeit geschützt. Bild 13 zeigt das fertige Gewölbe, bereit zum Eindecken. Dies ist mit besonderer Sorgfalt geschehen. Zuerst wurde das ganze Gewölbe mit einer rd. 20 cm starken Sandschicht überdeckt, die die Aufgabe hat, Unregelmässigkeiten in der Auffüllung auszugleichen, um die dünne Schale vor lokalen Ueberbeanspruchungen zu schützen. Ausführung der Schale: Bauunternehmung Renfer & Wetterwald, Dornach-Arlesheim.

### Drittes Beispiel: Vorschlag für die Ueberdeckung eines offenen Kanals

Es handelte sich hier darum, einen Werkkanal mit einem breiten, möglichst gedrückten Gewölbe zu überdecken. Dazu wurde eine Schalenkonstruktion vorgesehen, deren Abmessungen in Bild 14 gezeigt werden. Durch die Formgebung der Schale — es wurde eine Ellipse gewählt — konnten die Schubspannungen verhältnismässig klein gehalten werden.

### Schlussfolgerungen

Diese und verschiedene andere Beispiele für die Anwendung von Schalenkonstruktionen im Tiefbau haben gezeigt, dass solche nur in Spezialfällen zur Anwendung kommen können. Genaue Vergleichsrechnungen mit den klassischen Konstruktionen für diese Bauwerke zeigen, dass wohl Material, nämlich Beton und Armierungseisen, eingespart werden kann, dass aber die Schalungen wesentlich komplizierter werden und die Ausführung der Bauwerke höhere Einheitspreise verlangt, so dass vom wirtschaftlichen Standpunkt aus gewöhnlich die normalen Konstruktionen günstiger sind.

Immerhin gibt es Spezialfälle, wo solche Schalenkonstruktionen zweckmässig sind, z. B. bei kurzen Durchlässen, bei denen die Stirnmauern an beiden Enden als Versteifungsrippen verwendet werden können, oder wie im Falle von Arlesheim, wo der Abbruch und die Neuerstellung eines Widerlagermauer durch die Verwendung eines Schalengewölbes eingespart werden konnte. Bei grossen Kanälen, Druckleitungen und ähnlichem haben sich hingegen die Schalenkonstruktionen bei genauen Vergleichsrechnungen als teuer erwiesen, so dass sie höchstens bei herrschender Materialknappheit in Frage kommen können.

## Ein Torsionsschwingungsdämpfer nach dem Kreiselprinzip

DK 621.752.4

Prof. Arnold beschreibt in «Proc. Inst. Mech. Eng.», Vol. 157, 1947, War Emergency Issue, Nr. 25 einen Schwingungsdämpfer nach Bild 1, bestehend aus einem Kreiselmechanismus, der auf einer Torsionswelle derart befestigt ist, dass seine zwei Hauptachsen senkrecht zur Achse der Torsionswelle stehen. Er ist mit Spiralfedern und einem Oelflächen-Reibungsdämpfer versehen, die eine beschränkte Schwingung um die Kreiselachse gestatten. Diese Anordnung ist eine Verbesserung des Schlicksches Schiffskreisels. Sie ist sowohl bei hohen Schwingfrequenzen wie bei Ueberlagerungsschwingungen über eine konstante Drehzahl anwendbar. Im Gegensatz zu anderen Schwingungsdämpfern (Lanchester System und gleitende Trägheitsmassen) ist die Dämpfungswirkung des Kreiseldämpfers nicht nur von den Dimensionen, sondern auch von der Umdrehungsgeschwindigkeit des Kreiseltorsors abhängig. Die Rotation der Torsionswelle erzeugt ein schwingendes Drehmoment um die Kreiselaufhängungs-

axe, die resultierenden Schwingungen der Aufhängung wirken dem störenden Erzeugungsmoment entgegen und führen gleichzeitig zur Energieaufnahme im Reibungsdämpfer. Wenn Feder und Stossdämpfer richtig gewählt sind, kann die Schwingungsamplitude unabhängig von der Schwingfrequenz des Drehmomentes in gewissen engen Grenzen gehalten werden. Je höher die Kreiseltorsordrehzahl im Vergleich zur störenden Schwingfrequenz, desto kleiner ist das benötigte Drehmoment. Da dieses sowie die Drehzahl nicht beliebig gesteigert werden können, ist die dämpfbare Schwingungsfrequenz begrenzt, jedoch scheint der Kreiseldämpfer in weiteren Frequenzbereichen wirksamer anwendbar zu sein als die zur Zeit bekannten Reibungsdämpfer. Wenn Ueberlagerungsschwingungen abgedämpft werden sollen, so entstehen Schwierigkeiten, wenn die mittlere Frequenz grösser als etwa ein Viertel der freien Schwingungsfrequenz des Kreiselsystems ist.

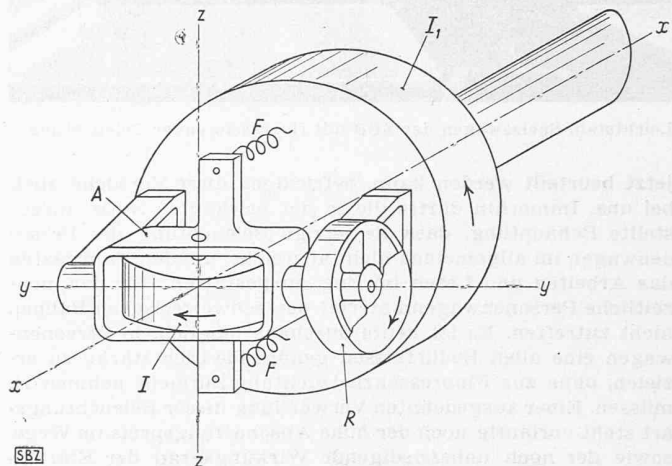


Bild 1. I Kreiselrotor, A Aufhängung, F Feder, R Reibungsdämpfer,  $I_1$  Torsionsmasse, X-X Wellenachse, Y-Y Aufhängungsachse, Z-Z Kreiselrotorachse

In der ersten praktischen Anwendung wurde der Kreiseldämpfer auf die Ritzelwelle einer Langhobelmaschine montiert, die schwere Schnittvibrationen beim Hobeln hochwertiger Stahlplatten zeigte. Der Kreiselrotor lief mit 2950 U/min, ein Elektromotor war direkt auf die Kreiselaufhängung montiert, und das Kreiselssystem war im Gleichgewicht, wenn sich das Ritzel mit 10 U/min drehte. Beim Rücklauf drückte der Dämpfer gegen einstellbare Endstoppen und war somit ausser Tätigkeit gesetzt. Die ohne Dämpfer starken Tischvibrationen wurden nach dessen Einschalten allmählich geringer und waren nach dem sechsten Schnitt mit dem Dämpfer kaum mehr merkbar. Die Oberfläche der gehobelten Platte zeigte dementsprechend ein glatteres Aussehen. Die nur allmähliche Dämpfung rührte vom ohne Dämpfer geschnittenen Profil her, das die Vibrationen der spätern Schnitte beeinflusste. Während die Maschine ohne Dämpfer der Vibrationen wegen nur mit einem Vorschub von 3,05 bis 3,65 m/s arbeiten konnte, betrug der Vorschub während des Versuches 5,35 m/s, und selbst grössere Vorschübe hätten ohne nachteilige Wirkung angewandt werden können. Leider ist die Bearbeitbarkeit verschiedener hochwertiger Stahlsorten so verschieden, dass nicht immer die gleiche Einstellung, ja sogar nicht immer die gleiche Baugrösse des Dämpfers mit gleichem Erfolg anwendbar ist. Dieser erste Versuch zeigt jedoch, dass das Prinzip sehr brauchbar ist.

## MITTEILUNGEN

**Fluoreszierende Beleuchtung in Eisenbahnwagen.** Wir verdanken Ing. H. Huber, Chef der Abteilung für Zugförderungs- und Werkstättendienst der Generaldirektion der SBB in Bern, folgende Mitteilung: «In der Nr. 29 der SBZ befindet sich auf S. 406 eine Notiz über «Fluoreszierende Beleuchtung in Personenwagen der SNCF», worin am Schluss gesagt wird, dass diese Versuche auch bei uns volle Beachtung verdienen. Wir gestatten uns daher, darauf hinzuweisen, dass ähnliche Versuche auch in der Schweiz im Gange sind. So haben die SBB bereits einen neuen Leichtstahl-Speisewagen (Bild) mit einer solchen Beleuchtung in Betrieb. Ferner hat die PTT einen neuen Bahnpostwagen damit ausgerüstet. Soweit bis