Zeitschrift: IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH Kongressbericht

Band: 2 (1936)

Artikel: Neue Trockendocks in den Häfen von Genua und Neapel

Autor: Krall, G. / Straub, H.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-2739

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.08.2025

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

VI 4

Neue Trockendocks in den Häfen von Genua und Neapel.

Nouvelles cales sèches dans les ports de Gênes et Naples.

New Dry-Docks in the Harbours of Genoa and Naples.

Professor Ing. G. Krall und Dipl.-Ing. H. Straub,
Rom.

Die Projektierung der beiden neuen großen Trockendocks in den Häfen von Genua und Neapel, mit deren Bau inzwischen begonnen worden ist, und die zu den größten und kühnsten Bauwerken ihrer Art gehören werden, hat einige statische Probleme aufgeworfen, die von allgemeinem Interesse sind.

Beide Bauwerke besitzen dieselben Querdimensionen: Lichte Breite zwischen den Längswänden: 40,0 m; Tiefe der Docksohle: 14 m unter Mittelwasser; Stärke der Längswände: 9,0 m (vgl. Fig. 1—3).

Das statische Verhalten der beiden Objekte ist jedoch grundsätzlich verschieden, indem das Dock in Genua auf Fels gegründet ist, während dasjenige in Neapel auf Sandboden zu stehen kommt.

A. Trockendock Genua.

Um die unter Anwendung von Druckluft auszuführenden Arbeiten einzuschränken, wurde folgender Bauvorgang gewählt: es werden zuerst die Längswände und die Stirnwand erstellt, sowie die Anschlagfalze des äußersten Drempels. Nach Versetzen des Schwimmtors ist der Dockraum allseitig geschlossen und kann ausgepumpt werden, so daß das Betonieren der Docksohle und die Ausführung des Verkleidungsmauerwerks im Trockenen erfolgen können. Diese Bauweise besitzt jedoch den Nachteil, daß in der Zwischenzeit, vor Erstellung der Sohle, die Längswände den gesamten äußeren Wasserdruck direkt auf den Felsboden übertragen müssen, da während dieses Bauabschnittes die Sohle, die beim fertigen Bauwerk die beiden Längswände gegeneinander versteift, noch nicht vorhanden ist. Da im Falle des neuen Trockendocks in Genua der gesunde Fels durchschnittlich 5—7 m tiefer liegt als die künftige Sohle, ist die Beanspruchung der Längswände während dieses Bauabschnittes ungleich ungünstiger als im fertigen Bauwerk, welcher Umstand den Anlaß gegeben hat zu der im folgenden darzustellenden Berechnungsweise.

Die Stirnwand und die Längswände bestehen aus Eisenbetonsenkkästen, die mit Hilfe von Druckluft bis auf den tragfähigen und wasserundurchlässigen Fels abgesenkt werden. Aus den obenerwähnten Gründen ist die in Fig. 4 und 5 ersichtliche Anordnung der Senkkästen gewählt worden. Die einzelnen Kästen sind

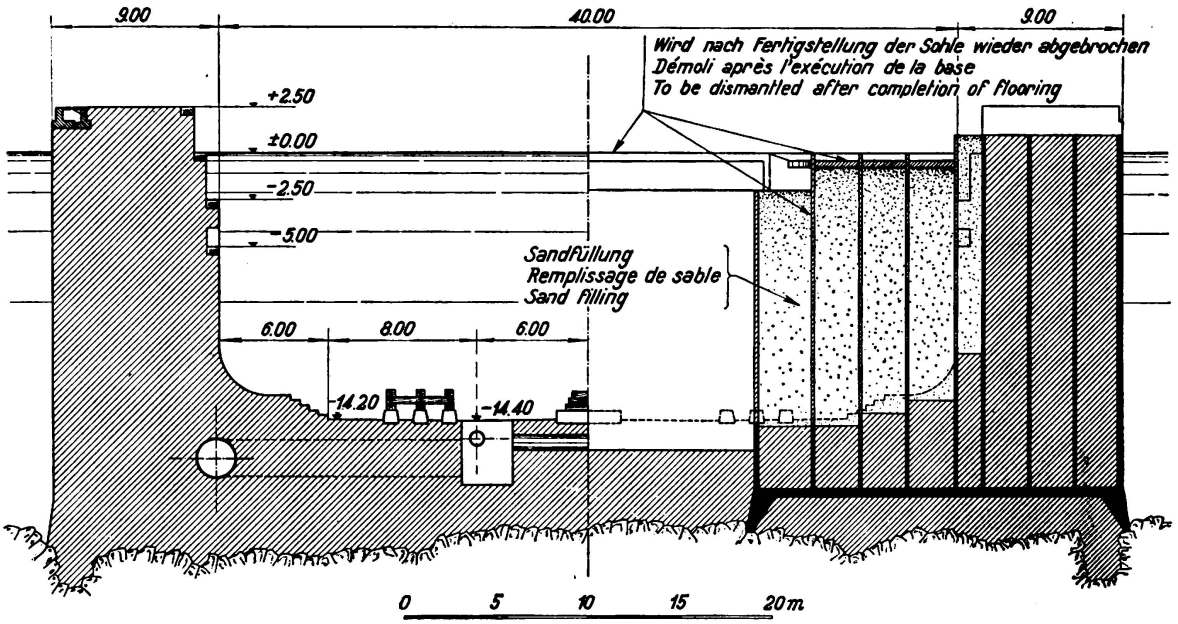


Fig. 1.
Querschnitt des Trockendocks in Genua.

abwechslungsweise längs- und quergestellt, so daß sie in ihrer Gesamtheit gewissermaßen eine aufgelöste Stauwand bilden. In den längsgestellten Kästen sind die Zwischenwände so angeordnet, daß durch Füllung einer Anzahl von Zellen mit widerstandsfähigerem Beton ein lotrechtes Gewölbe entsteht; die quergestellten Kästen arbeiten als Strebepfeiler. Je zwei gegenüberstehende Pfeiler sind überdies oben durch eine Druckstrebe verbunden. Nach Fertigstellung des Dockbodens werden die Druckstreben und die in den Dockraum hineinragenden Teile der Strebepfeiler wieder abgebrochen.

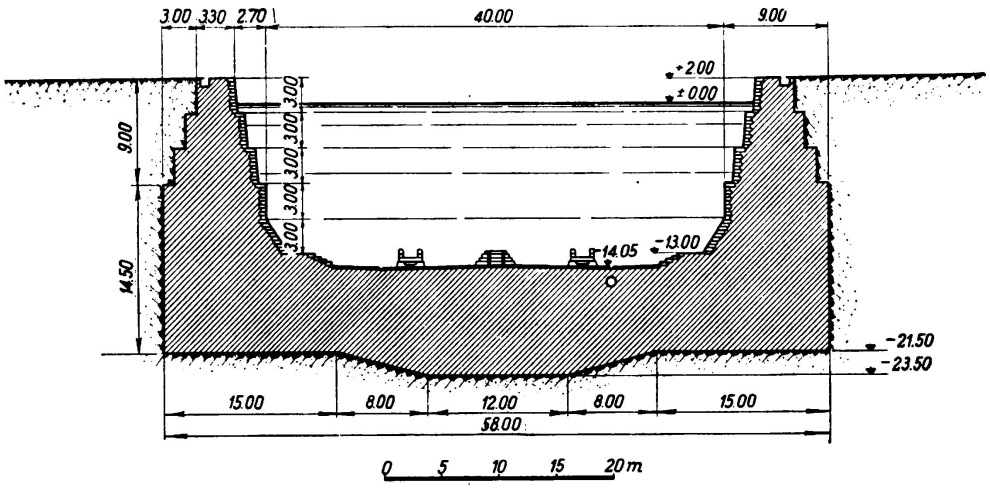


Fig. 2.
Querschnitt des Trockendocks in Neapel.

Während des geschilderten Bauabschnitts wird der Wasserdruck offensichtlich zum Teil von der unten im Fels eingespannten Längswand aufgenommen, zum Teil aber durch die Gewölbewirkung auf die Strebepfeiler übertragen. Zur Beurteilung der Standsicherheit ist es notwendig, sich Rechenschaft zu geben, wie sich der Druck vorraussichtlich auf die beiden Systeme verteilt.[1]

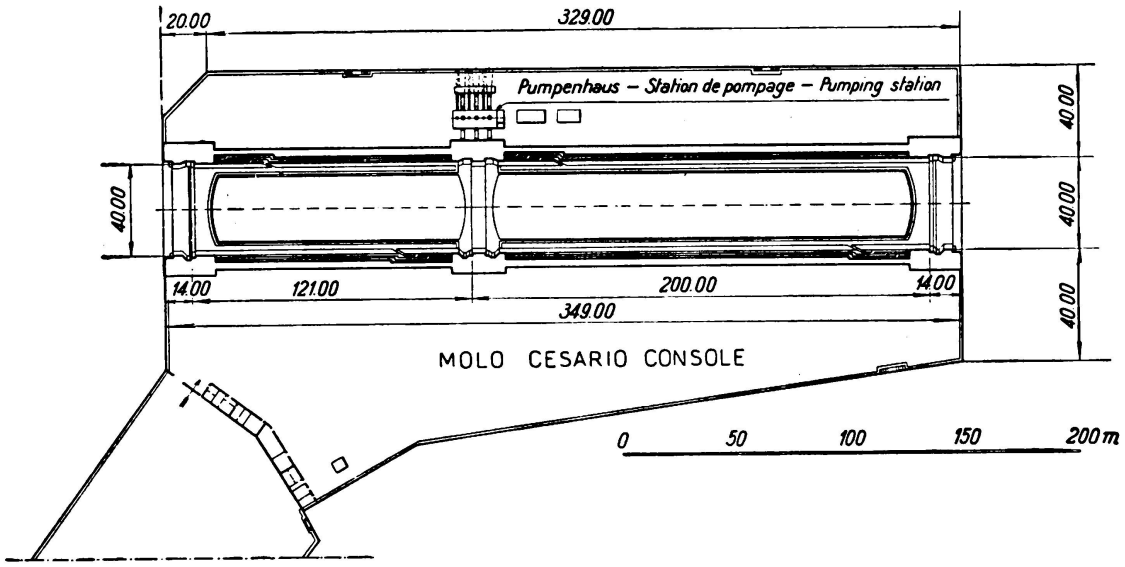


Fig. 3.

Grundriß des Trockendocks in Neapel.

Wenn mit p_o der größte an der Einspannstelle auftretende Wasserdruck bezeichnet wird, kann für den von der Längswand direkt auf den Fels übertragenen Anteil der Ausdruck aufgestellt werden:

$$p'(x, y) = p_o \left(\frac{x}{h}\right)^m \cdot \frac{1 - \cos\frac{2\pi}{l} \cdot y}{2} \qquad \text{(vgl. Fig. 6)} \tag{1}$$

Der annähernd sinusförmige Verlauf der Fläche p′ im waagrechten Sinne ergibt sich ohne weiteres aus der geschilderten Arbeitsweise der Stauwand; eine eventuelle geringe Abweichung hat übrigens kaum Einfluß auf das Schlußergebnis.

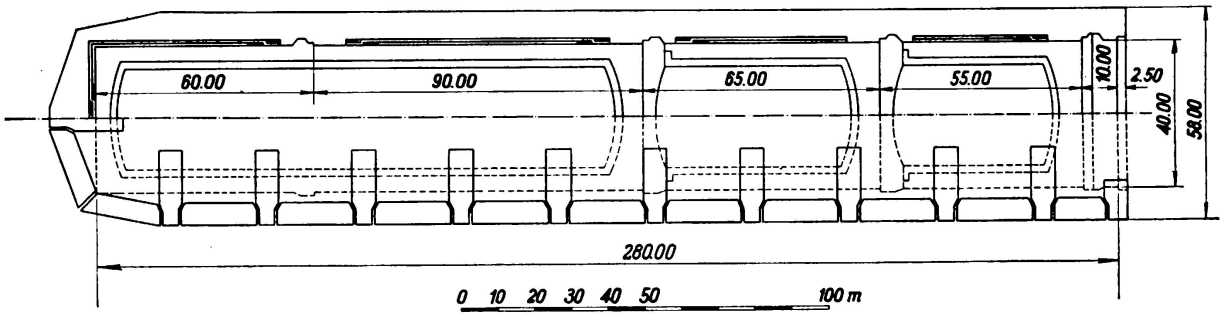


Fig. 4.

Grundriß des Trockendocks in Genua.

[1] Vgl. *G. Krall:* Problemi inerenti alla costruzione del nuovo Bacino di Carenaggio a Genova: Annali dei Lavori Pubblici 1935 — Fasc. II Roma.

Die Annahme eines parabolischen Verlaufs im lotrechten Sinne gibt die Möglichkeit, das Problem rechnerisch zu erfassen. Die für die Standfestigkeit ausschlaggebende Art der Verteilung des Drucks zwischen Wand und Strebepfeiler kommt voll und ganz in der Größe des Exponenten m zum Ausdruck.

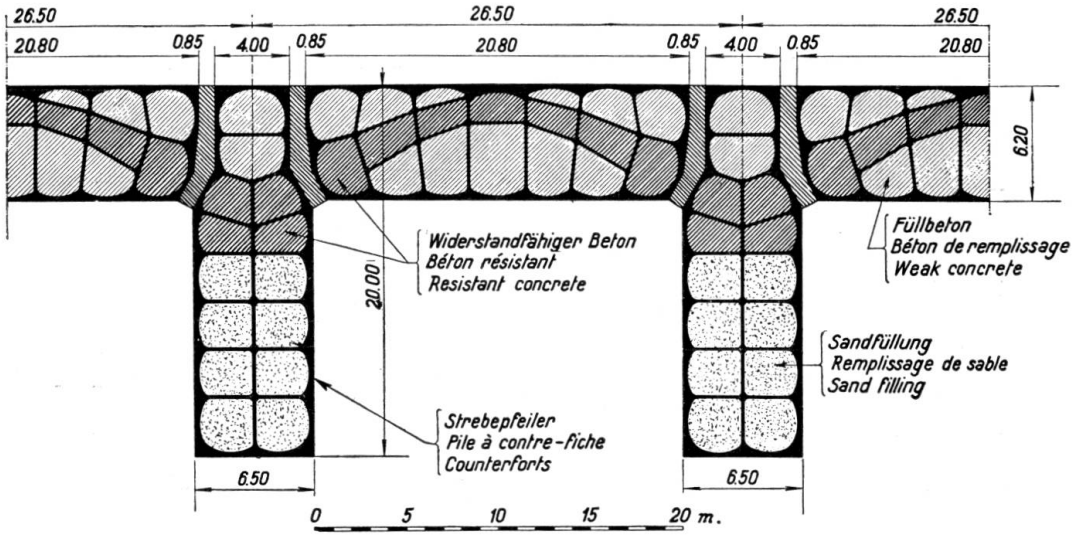


Fig. 5.

Trockendock Genua: Anordnung der Senkkästen.

Die Lösung erfolgt, wie üblich, durch Gleichsetzung der Verschiebungen der beiden elastischen Systeme, in der Form:

$$\varphi\,(m) = \psi\,[X\,(m);\,m] \tag{2}$$

worin X die Kraft in der obern Druckstrebe bedeutet, und zwar sollen die Bedingungen gestellt werden, daß Gleichheit besteht:

1. zwischen der halben Verkürzung der Druckstrebe und der Verschiebung des oberen Randes des Strebepfeilers, und
2. zwischen der Durchbiegung des am Fuß eingespannten mittleren Wandstreifens und der Scheitelverschiebung des auf die Strebepfeiler abgestützten Gewölbes. Diese letztere Gleichheit soll genau bestehen für einen auf halber Höhe gelegenen Punkt; eine nachträgliche Prüfung zeigt, daß dabei auf die ganze Höhe annähernd Gleichheit besteht.

Um die Aufgabe rechnerisch zu lösen, wurden zunächst für die einzelnen Durchbiegungen bzw. elastischen Linien formelmäßige Ausdrücke aufgestellt, und zwar wurden getrennt bestimmt:

1. die elastische Linie des am Fuß elastisch eingespannten Wandstreifens unter der Belastung $p_0\left(\frac{x}{h}\right)^m$;
2. die Scheitelverschiebung des Gewölbes, unter der veränderlichen Belastung $p_0 \cdot \frac{x}{h} - p'\,(x, y)$, bei unveränderlich gedachten Widerlagern;

3. die elastische Linie des am Fuß eingespannten Strebepfeilers, dessen Belastung sich zusammensetzt aus den Auflagerreaktionen der anliegenden Gewölbe, dem über die Breite des Pfeilers direkt von diesem aufgenommenen vollen Wasserdruck und der Reaktion X in der Druckstrebe. Dabei ist der Strebepfeiler vorerst als am Fuße starr eingespannt angenommen worden;
4. die zusätzliche Drehung des Strebepfeilers, infolge der elastischen Nachgiebigkeit des Einspannquerschnittes;
5. die Verkürzung der Druckstrebe unter der Last X.

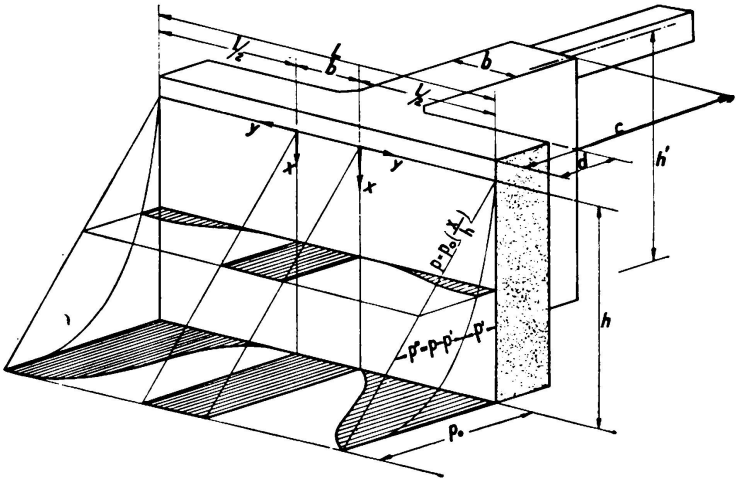


Fig. 6.

Trockendock Genua: Verteilung des äußeren Wasserdruckes auf Längswand und Strebepfeiler.

In diesen Ausdrücken erscheinen die Durchbiegungen als Funktionen der Größe m, der Druckstrebenkraft X und, wenn es sich um elastische Linien handelt, der Ordinate x. Als Konstante treten, neben den Abmessungen der einzelnen Bauteile, die Elastizitätsmodule der Baustoffe und die Bodenkonstante C (sog. Bettungsziffer) auf.

Wenn die einzelnen Verschiebungen gemäß obenstehender Reihenfolge mit $w_1, \ldots, w_5$ bezeichnet werden, so nehmen die Bedingungsgleichungen folgende Form an:

$$\frac{1}{2} w_5 = w_3 (h') + w_4 (h') \tag{3}$$

und

$$w_1 (x) = w_2 (x) + w_3 (x) + w_4 (x) \text{ mit } x = \frac{h}{2} \tag{4}$$

Wenn der in (4), wie schon angedeutet, $x = \frac{1}{2} h$ gesetzt wird, enthalten diese beiden Gleichungen als Unbekannte nur noch die Größen m und X, und die Lösung ergibt den schon erwähnten Ansatz (2):

$$\varphi (m) = \psi [X (m); m]$$

worin

$$\varphi\ (m) = \frac{h^4}{E_m\, i}\left\{\frac{\left[\frac{m}{2} + 1 + \left(\frac{1}{2}\right)^{m+4}\right]}{(m+1)\,(m+2)\,(m+3)\,(m+4)} + \frac{E_m}{2\,C\,h}\,\frac{1}{(m+1)\,(m+2)}\right\}$$

$$\Psi\,[X\,(m);\,m] = \frac{l^4\left[1 + \left(\frac{f}{a}\right)^2\right]}{64\,f^2\,E_a \cdot s}\left[1 - 0{,}6\left(\frac{1}{2}\right)^{m-1}\right]$$

$$+ \frac{h^4\,L}{120\,E_m\,I}\left\{1{,}50 + \left(\frac{1}{2}\right)^4 - \frac{1}{2\,L}\,\frac{120\left[\frac{m}{2} + 1 + \left(\frac{1}{2}\right)^{m+4}\right]}{(m+1)\,(m+2)\,(m+3)\,(m+4)}\right.$$

$$\left. - \frac{X}{L\,h}\left[60\,\frac{E_m}{C\,h}\cdot\frac{h'}{h} + 40\left(1 - \frac{3}{2}\left(\frac{x'}{h'}\right) + \frac{1}{2}\left(\frac{x'}{h'}\right)^3\right]\right\} + \frac{10\,E^m}{C\,h}\left(1 - \frac{1}{2L}\,\frac{6}{(m+1)\,(m+2)}\right)$$

$$X\,(m) = \frac{1}{30}\left(\frac{h}{h'}\right)^2 \frac{C\,h}{E_m}\,(L \cdot h)\left\{\frac{1 - \frac{1}{2L}\,\frac{30\left[(m+3) - (m+4)\,\frac{h - h'}{h}\right]}{(m+1)\,(m+2)\,(m+3)\,(m+4)}}{1 + \frac{I}{F_p\,h'^2} - \frac{D\,C}{2\,E_p} + \frac{C\,h'}{3\,E_m}}\right.$$

$$\left. + \frac{\frac{5\,E_m\,\frac{h'}{h}}{C\,h}\left(\frac{1}{2L}\,\frac{6}{(m+1)\,(m+2)}\right)}{1 + \frac{I}{F_p\,h_1{}^2} - \frac{D\,C}{2\,E_p} + \frac{C\,h'}{3\,E_m}}\right\}$$

Darin bedeuten:

E_m = Elastizitätsmodul der Senkkästen + Füllbeton (Mittelwert)
E_a = „ des lotrechten Gewölbes
E_p = „ der Druckstrebe
I = Trägheitsmoment des wirksamen Querschnitts des Strebepfeilers
i = „ „ Wandstreifens von der Länge 1 $i = \frac{d^3}{12}$
F_p = Querschnitt der Druckstrebe
s = Gewölbestärke im Scheitel
f = Pfeilhöhe des lotrechten Gewölbes
$a = \frac{l}{2}$
D = Länge der Druckstrebe
h' = Höhe der Druckstrebenachse über dem Einspannquerschnitt des Strebepfeilers
$x' = x + (h' - h)$

Die ziffernmäßige Ausrechnung erfolgt in der Weise, daß für eine Anzahl Werte von m (m = 2, 3, 4 ...) zuerst die Reaktion X (m = 2, 3, 4 ...) und dann die Funktionen φ für m = 2, 3, 4 ... und ψ für m = 2, 3, 4 ... ausgerechnet werden. Zeichnet man in einem Koordinatensystem die Kurven φ (m) und ψ (m), so ergibt deren Schnittpunkt den gesuchten Wert m.

Im konkreten Fall des Trockendocks in Genua wurde m = ~6 gefunden, wobei, in Übereinstimmung mit der Ausführung und den verschiedenen zur Anwendung gelangenden Betonqualitäten, mit folgenden konstanten Größen gerechnet wurde:

Elastizitätsmodul
- für die am Fuß eingespannte Wand $E_m = 1{,}2 \cdot 10^6$ t/m²
- für das Gewölbe . . . . . $E_a = 1{,}8 \cdot 10^6$ t/m²
- für die Druckstrebe . . . . . $E_p = 2{,}2 \cdot 10^6$ t/m²

für die Bodenkonstante C wurde vorsichtshalber eine erheblich unter dem in Wirklichkeit zu erwartenden Wert liegende Ziffer, nämlich C = 15 kg/cm³ = $1{,}5 \cdot 10^4$ tm³ gewählt. Für so große Belastungsflächen wie die vorliegende (~ 6,6 × 20,0 m) liegen für C keine Versuchswerte vor. Wenn C umgekehrt proportional zum Durchmesser der belasteten Fläche angenommen wird, was für Felsboden ohne Zweifel annähernd zutrifft[2], so entspricht der angenommene Wert C = 15 einem Wert von ca. 300 kg/cm³ für eine Fläche, wie sie bei Versuchen üblich ist (~ 1,00 × 0,30 m).

Bauausführung.

Für die Ausführung des Bauwerks ist die verhältnismäßig sehr kurze Bauzeit von ca. $3^1/_2$ Jahren vorgesehen. Von größter Wichtigkeit für die Aufstellung des Bauprogramms war natürlich die Möglichkeit, die erforderlichen 47 Senkkästen,

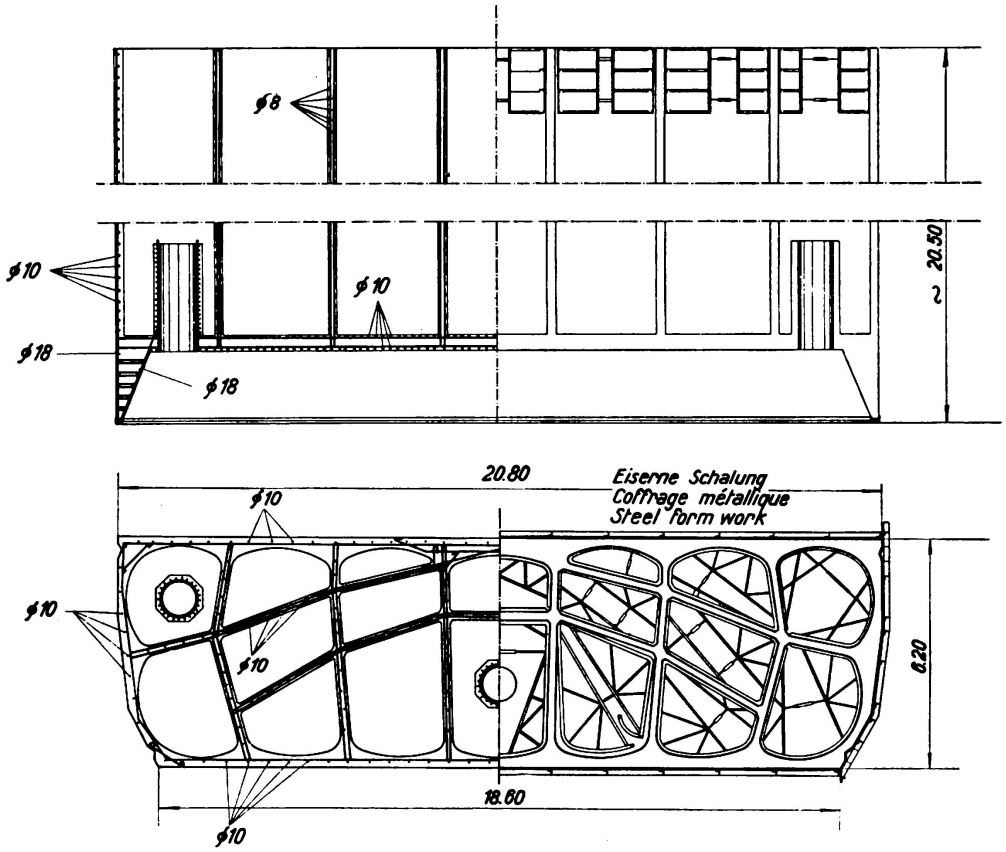


Fig. 7.

Trockendock Genua: Einzelheiten eines Senkkastens.

[2] vgl. *Schleicher:* Bauingenieur 1926, S. 931.

deren bedeutende Abmessungen aus Fig. 7 hervorgehen, innert möglichst kurzer Zeit herzustellen.

Die Bauunternehmung (Arbeitsgemeinschaft SILM — Società Italiana per Lavori Marittimi — und SIFC — Società Italiana Finanziaria per Costruzioni) bedient sich dazu zweier eigens zum Zwecke der Herstellung von Eisenbetonschwimmkörpern geschaffener kleiner Dockkammern (Fig. 8).

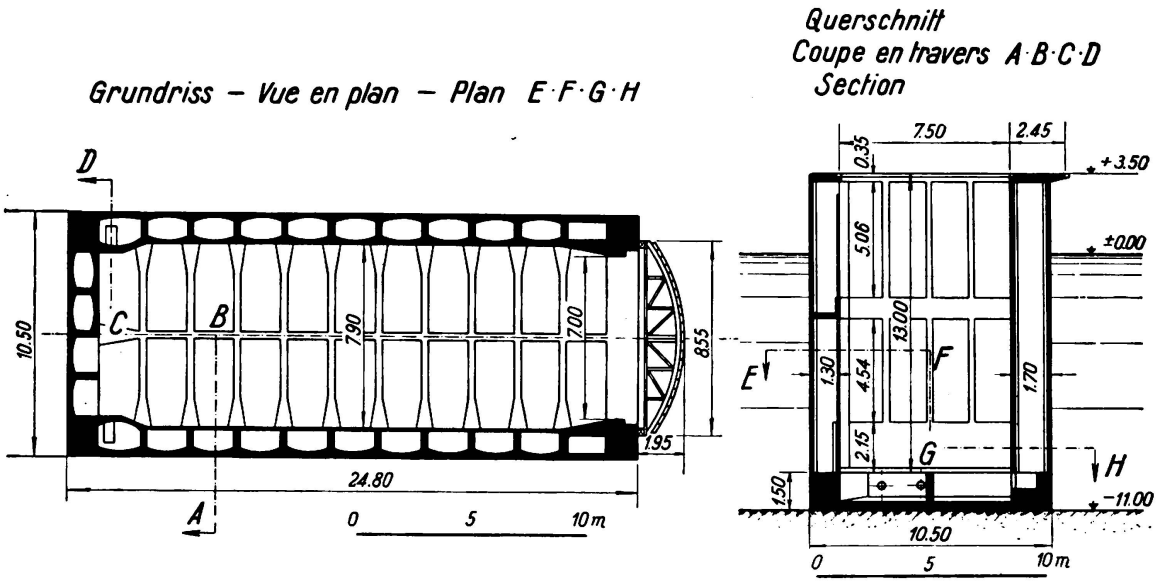


Fig. 8.

Trockendock Genua: Dockkammer zur Herstellung der Senkkästen.

In diesen werden der Arbeitsraum und die darüberliegenden Zellen bis auf die Höhe von 11,0 m hergestellt. Hierauf werden die Senkkästen in schwimmendem Zustand nach der zukünftigen Verwendungsstelle geschleppt, wo sie, durch Verlängerung der Zellwände, auf die erforderliche Höhe von 18—20 m gebracht werden.

Um den Bauvorgang tunlichst zu beschleunigen und um möglichst glatte und dichte Betonoberflächen zu erhalten, werden eiserne Schalungen verwendet (vgl. Fig. 7). Spezielle Vorrichtungen gestatten, das Ausschalen, Hochziehen der Formen und erneutes Einschalen in der kurzen Zeit von ca. 6 Stunden zu bewerkstelligen. Auf diese Weise ist es möglich, in jeder der beiden Dockkammern je einen Senkkasten in 15—20 Tagen zu vollenden (Fig. 9 und 10).

Für die Herstellung der Senkkästen wird ein plastischer Beton mit einem Zementgehalt von 300 kg je m^3 fertigen Beton verwendet. Um eine größere Widerstandsfähigkeit des Betons gegen die schädlichen Einwirkungen des Meerwassers zu erreichen, wurde statt gewöhnlichem Portlandzement sogenannter Puzzolanzement (cemento pozzolanico) gewählt, ein in neuester Zeit in Italien für Meer- und Hafenbauten oft und mit gutem Erfolg verwendeter kalkarmer Zement, zu dessen Herstellung dem Klinker vor der Vermahlung ein gewisser Prozentsatz Puzzolanerde beigemengt wird. Letztere hat, ähnlich dem Traß, die Eigenschaft, den eventuell freiwerdenden Kalk chemisch zu binden.

Der verwendete Zement besitzt eine Normenfestigkeit von 450 kg/cm^2, womit, seit Abschluß der in den ersten Monaten durchgeführten Versuche zur Ermittlung

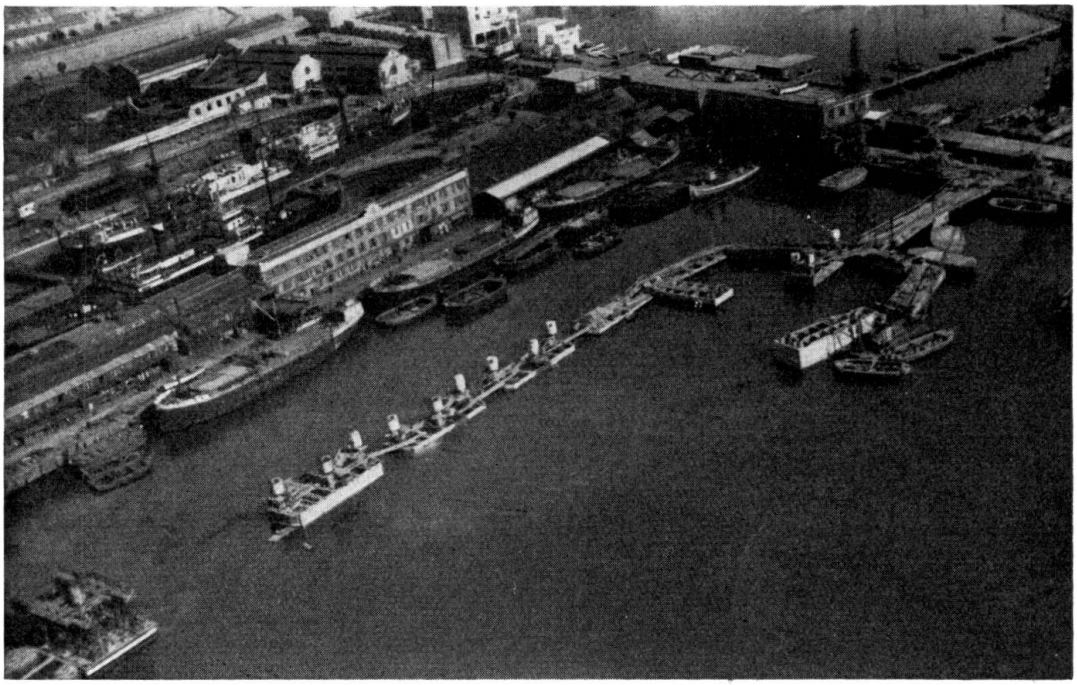


Fig. 9.
Trockendock Genua: Bauzustand März 1936.

der besten Zuschlagsstoffe und des günstigsten Mischungsverhältnisses, eine mittlere Würfelfestigkeit des 28 Tage alten Betons von durchschnittlich 250 kg/cm² erreicht wird.

An der Absenkstelle wird der Meeresgrund erst bis auf den Fels ausgebaggert, dann unter Verwendung einer an Schwimmkörpern aufgehängten Taucherglocke

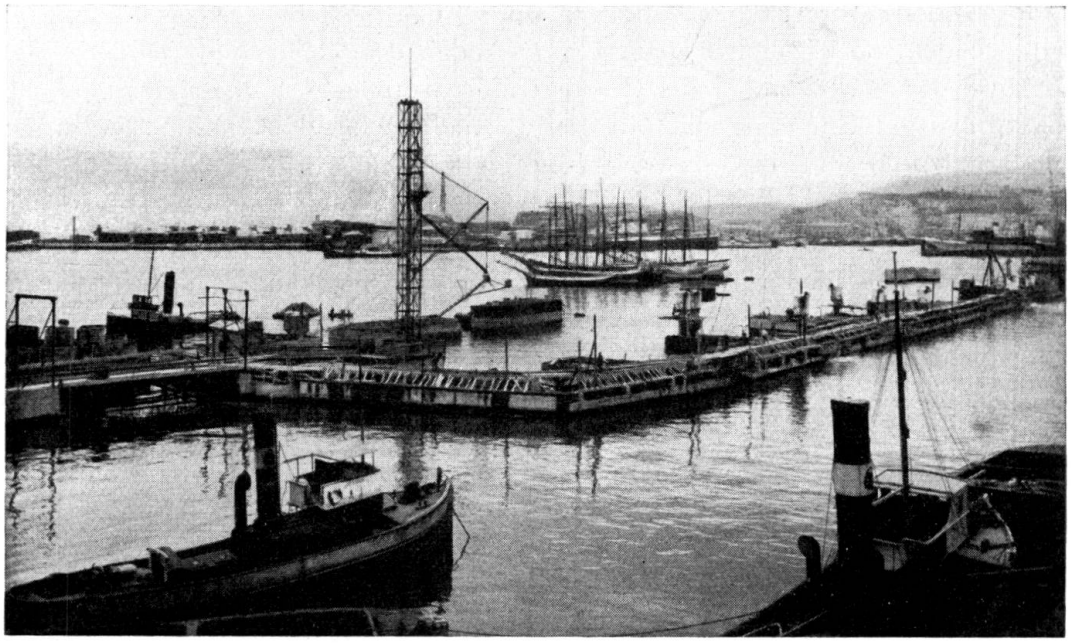


Fig. 10.
Trockendock Genua: Bauzustand Mai 1936.

ausgeebnet, worauf die Senkkästen durch Einbringen von Ballast in der richtigen Lage auf den Grund abgestellt und unter Anwendung von Druckluft bis auf den gesunden, gänzlich rissefreien Fels abgesenkt werden. Die größte Tiefe, die mit den bis jetzt abgesenkten Senkkästen erreicht wurde, beträgt an der Schneide —23,65 m unter Mittelwasser. Zur Herstellung des längs des äußeren Mauerfußes verlaufenden Dichtungssporns mußte der Felsausbruch über die Schneide hinaus noch um einige Meter tiefer getrieben werden.

Da bei einigen Strebepfeilerpaaren die in Wirklichkeit erreichten Tiefen die seinerzeit der Rechnung zugrunde gelegten Werte nicht unerheblich überschreiten, werden in diesen Fällen, um die Rechnungsgrundlagen wiederherzustellen, die gegenüberliegenden Strebepfeiler, außer durch die obern Druckstreben, noch durch Grundschwellen gegeneinander abgestützt. Diese Grundschwellen, die dieselbe Breite wie die Strebepfeiler besitzen, und deren Stärke von Fall zu Fall, je nach der Tiefe des gesunden Felsgrundes, bestimmt wird, werden ebenfalls mit Hilfe der erwähnten Taucherglocke hergestellt.

B) Trockendock Neapel.

Der Baugrund, auf dem das neue Trockendock Neapel erstellt wird, besteht, im Gegensatz zu demjenigen von Genua, aus teilweise mit Lehm, Schlamm und Bimsstein durchsetzten Sand. Der von der ausführenden Unternehmung (SILM — Società Italiana per Lavori Marittimi) vorgesehene Bauvorgang ist in großen Zügen folgender: Nach Ausbaggerung des Grundes bis auf die notwendige Tiefe werden, außerhalb der Docklängswände und parallel zu diesen, zwei behelfsmäßige Brücken in Eisenbetonkonstruktion erstellt, auf denen zwei fahrbare eiserne Kranbrücken von je 68 m Spannweite montiert werden. Diese dienen zur Aufhängung der Druckluftcaissons, mit deren Hilfe die ganze unter Wasser gelegene Betonkonstruktion ausgeführt werden wird, und zwar in der Weise, daß die beiden Längswände durch je eine Fuge von der Docksohle getrennt erstellt werden, so daß sich die Setzungen der drei Teile (der beiden Längswände und der Sohle) unabhängig voneinander vollziehen können. Das Schließen dieser Fugen erfolgt, ebenfalls mit Hilfe von Taucherglocken, erst wenn keine weiteren Setzungen mehr festgestellt werden können.

Die Querschnittsabmessungen, vor allem die Sohlenstärke des Bauwerks sind derart bemessen, daß in keinem Belastungsfalle Zugsspannungen auftreten und somit von Eiseneinlagen Abstand genommen werden kann. Die größten auftretenden Druckspannungen sind so niedrig ($= \sim 8$ kg/cm^2) daß als Baumaterial an Stelle von Zementbeton solcher aus Steinschlag, Kalk und Puzzolanerde gewählt werden konnte. Dieses Material besitzt außer seiner Billigkeit (die ausgiebigsten Puzzolanfundstätten Italiens befinden sich in nächster Nähe von Neapel) den Vorzug großer Widerstandsfähigkeit gegen die chemischen Einwirkungen des Meerwassers (noch heute bestehen im Golf von Neapel Ruinen von aus diesem Material erstellten Unterwasserbauten aus der römischen Kaiserzeit).

Unter den geschilderten Umständen war es jedoch doppelt notwendig, sich über das statische Verhalten des Bauwerks genau Rechenschaft zu geben, unter Berücksichtigung der elastischen Nachgiebigkeit sowohl des Baumaterials als

auch des Baugrundes. Außer der üblichen Berechnung nach der Drucklinienmethode wurde daher noch eine Nachprüfung nach dem im folgenden in kurzen Zügen geschilderten Verfahren ausgeführt.[3]

Zu dem Zwecke der Untersuchung wird das Bauwerk, wie in Fig. 11 schematisch dargestellt, durch 2 Schnitte in 3 Teile zerlegt gedacht. Die den Seitenwänden entsprechenden Teile können als auf 2 Seiten elastisch gestützte starre Blöcke, das Mittelstück als ein elastischer Balken aufgefaßt werden. Gesucht sind die Reaktionen in den Schnitten (Längs- und Querkraft und Biegungsmoment), die der Bedingung gehorchen müssen, daß durch sie die gegenseitige Verschiebung der Trennungsflächen aufgehoben wird.

Es zeigt sich nun, daß die Aufgabe am einfachsten mit Hilfe der Theorie der Elastizitätsellipse gelöst werden kann. Es werden zu dem Zweck für die beiden Trennungsflächen, deren eine dem Seitenblock, die andere dem Mittelbalken angehört, die entsprechenden Elastizitätsellipsen gezeichnet. Für den starren, nur elastisch gestützten Seitenblock werden die Elemente der Ellipse, d. h. Mittelpunkt, Halbmesser und elastisches Gewicht auf die bekannte Weise ermittelt (vgl. *W. Ritter*, Anwendungen der graphischen Statik, 4. Teil: Der Bogen, Zürich 1906, S. 228). Für den Balken ist es notwendig, auf die Theorie des elastisch gebetteten Trägers zurückzugreifen. Wenn, aus Symmetriegründen, für den in der Halbierungsebene des Docks liegenden Querschnitt nur lotrechte Verschiebungen zugelassen werden, sind die durch die Einheitslängs- oder Querkraft bzw. -moment hervorgerufenen elastischen Verschiebungen bzw. Drehungen des Endquerschnittes durch folgende Ausdrücke gegeben (wobei der Zeiger x eine Längskraft, bzw. -verschiebung bedeutet, y eine Querkraft, bzw. -verschiebung, und z ein Moment, bzw. eine Drehung):

$$\left.\begin{aligned}
\beta_{xx} &= \frac{l}{EF} \\
\beta_{yx} &= \beta_{xy} = 0 \\
\beta_{zx} &= \beta_{xz} = (0) \\
\beta_{yy} &= \frac{z}{s\,C} \cdot \rho_3(\lambda) \\
\beta_{zy} &= \beta_{yz} = -\frac{2}{s^2 C} \cdot \rho_2(\lambda) \\
\beta_{zz} &= \frac{4}{s^3 C}\,\rho_1(\lambda)
\end{aligned}\right\} \text{ worin } \left\{\begin{aligned}
s &= \sqrt[4]{\frac{4\,E\,i}{C}} \\
i &= \frac{d^3}{12} \\
\lambda &= \frac{l}{s} \\
\rho_1(\lambda) &= \frac{\mathrm{Ch}\,2\lambda - \cos 2\lambda}{\mathrm{Sh}\,2\lambda + \sin 2\lambda} \\
\rho_2(\lambda) &= \frac{\mathrm{Sh}\,2\lambda - \sin 2\lambda}{\mathrm{Sh}\,2\lambda + \sin 2\lambda} \\
\rho_3(\lambda) &= \frac{\mathrm{Ch}\,2\lambda + \cos 2\lambda}{\mathrm{Sh}\,2\lambda + \sin 2\lambda}
\end{aligned}\right.$$

die Bedeutung von d und l geht aus Fig. 11 hervor; C ist die Bodenkonstante (Bettungsziffer); E der Elastizitätsmodul des Baumaterials.

[3] Vgl. *G. Krall:* Problemi statici delle Costruzioni Marittime Reale Accademia d'Italia, Memorie della classe di scienze fisiche, matematiche e naturali, Volume V. 1933.

Die Elemente der Ellipse sind dann durch folgende Ausdrücke gegeben:

$$x_G = -\frac{\beta_{zy}}{\beta_{zz}}; \quad y_G = 0; \quad g = \beta_{zz}$$

$$i_1^2 = \frac{\beta_{yy}\,\beta_{zz} - \beta_{zy}^2}{\beta_{zz}^2}; \quad i_2^2 = \frac{1}{E\,d\,\beta_{zz}}$$

Die Bedingung, daß die Trennungsflächen keine gegenseitige Verschiebung erleiden dürfen, kann auf die Art ausgedrückt werden, daß eine resultierende Ellipse konstruiert wird, in der die elastischen Widerstände der beiden Teilkörper gleichsam summiert erscheinen. In Analogie zur Elektrizitätslehre kann man die beiden Ellipsen als „parallelgeschaltet" bezeichnen.

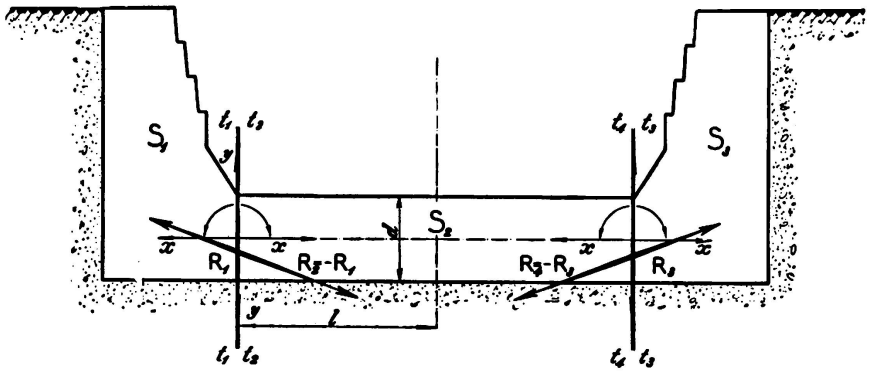


Fig. 11. Trockendock Neapel: Schematischer Querschnitt.

Kennzeichnet man die Elemente der beiden Teilellipsen E_a und E_b mit den Zeigern a und b, so erhält man, falls, wie im vorliegenden Fall, die Hauptachsen der beiden Teilellipsen zu einander parallel sind, die entsprechenden Elemente der Gesamtellipse durch die Beziehungen

$$\frac{1}{g_a} + \frac{1}{g_b} = \frac{1}{g} \quad \text{und} \quad \frac{1}{\lambda_a} + \frac{1}{\lambda_b} = \frac{1}{\lambda} \quad \text{wenn } \lambda_{ab} = i_1^2 g_a, \text{ bezw.} = i_2^2 g_b$$

und die Lage der Gesamtellipse ist gegeben durch die Bedingung, daß die neuen Hauptachsen den Abstand zwischen den entsprechenden der Teilellipsen im Verhältnis der entsprechenden λ teilen.

Ist auf diese Weise die Gesamtellipse bestimmt, so bereitet es keine Schwierigkeiten, für jeden beliebigen Belastungsfall, bzw. für jede beliebige Resultierende der auf den Seitenblock wirkenden äußeren Kräfte den von der elastischen Bettung des Blockes aufgenommenen und den durch den gedachten Schnitt auf den Mittelbalken übertragenen Kraftanteil zu ermitteln.

In Übereinstimmung mit dem obengeschilderten Bauvorgang, der ein von einander unabhängiges sich Setzen der Längswände und der Docksohle gestattet, brauchen im vorliegenden Fall nur die *nach* Schließen der beiden Längsfugen auftretenden äußeren Kräfte, d. h. das Eigengewicht des nach Auspumpen des Dockraums zu erstellenden Verkleidungsmauerwerks, der Erddruck der seitlichen Hinterfüllung, sowie (für den Fall des leergepumpten Dockraums) der vom innern Wasserdruck nicht mehr aufgehobene seitliche Wasserdruck und der auf die Sohle wirkende Auftrieb berücksichtigt zu werden.

Um die Rechnung durchführen zu können, muß der Einfluß der auf die Sohle, bzw. auf den elastischen Mittelbalken wirkenden (lotrechten) äußeren Belastung

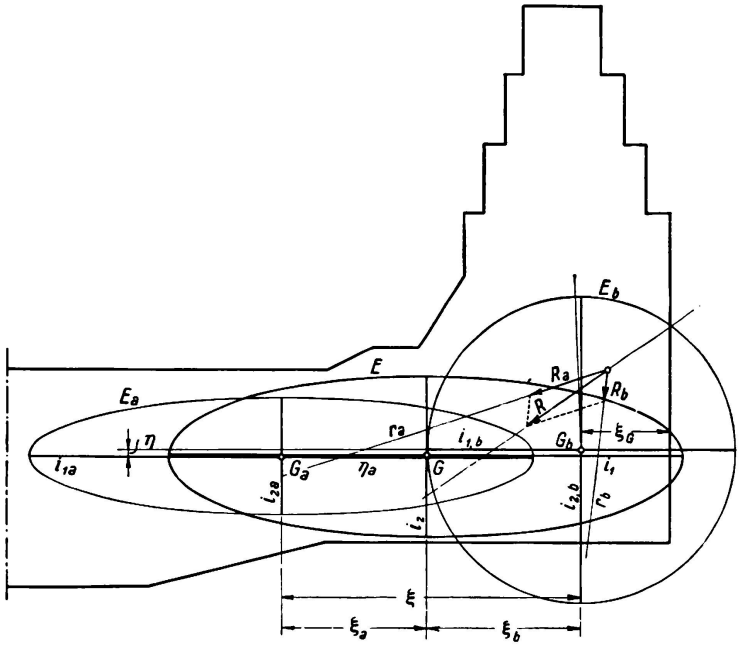
p_o durch eine auf den Seitenblock wirkende, durch dessen elastischen Schwerpunkt gehende, gleichfalls lotrechte virtuelle Kraft P ersetzt werden, deren Größe und Richtungssinn durch die Bedingung gegeben ist, daß sie dieselbe Relativbewegung des Seitenblockes gegenüber dem Mittelbalken erzeugen muß wie die Belastung p_o die sie zu ersetzen hat, m. a. W. es muß die Beziehung bestehen

$$P \cdot i_{1b}^2 \cdot g_b = \frac{-p_o}{C}$$

wenn mit i_{1b} und g_b wagrechter Halbmesser und elastisches Gewicht der Ellipse des Seitenblocks und mit C die Bodenkonstante bezeichnet werden. P wird mit den direkt auf den Seitenblock wirkenden äußeren Kräften zur Resultierenden R zusammengesetzt.

Um nun R in die beiden oben erwähnten Anteile zu zerlegen, bestimmt man deren Antipol A in Beziehung auf die Gesamtellipse. Dann sind die Wirkungslinien der beiden vom Seitenblock und vom Mittelbalken aufgenommenen Teilkräfte die Antipolaren r_a und r_b des Punktes A in Beziehung auf die beiden Teilellipsen.

Der Schnittpunkt von r_a und r_b liegt auf der Wirkungslinie von R, die somit ohne weiteres in die beiden gesuchten Teilkräfte zerlegt werden kann, wodurch das Problem gelöst ist (vgl. Fig. 12).



Fig, 12.
Trockendock Neapel: Elastizitätsellipsen.

Bestimmung der Bodenkonstante C.

Aus obenstehenden Ausführungen geht hervor, daß der Bodenkonstanten oder sogenannten Bettungsziffer C eine hervorragende Bedeutung zukommt. Da diese bekanntlich von der Größe der Belastungsfläche abhängt, und für derart große Flächen keine Versuchsergebnisse vorliegen, wurde von der projektierenden Bauunternehmung (SILM) die Durchführung eines großangelegten Versuchs beschlossen.[3] Zu dem Zwecke wurde das Trockendock „Principe di Piemonte" in Venedig ausersehen, das ähnliche Dimensionen aufweist wie das neue Dock in Neapel, und ebenfalls wie dieses auf Sandboden steht.

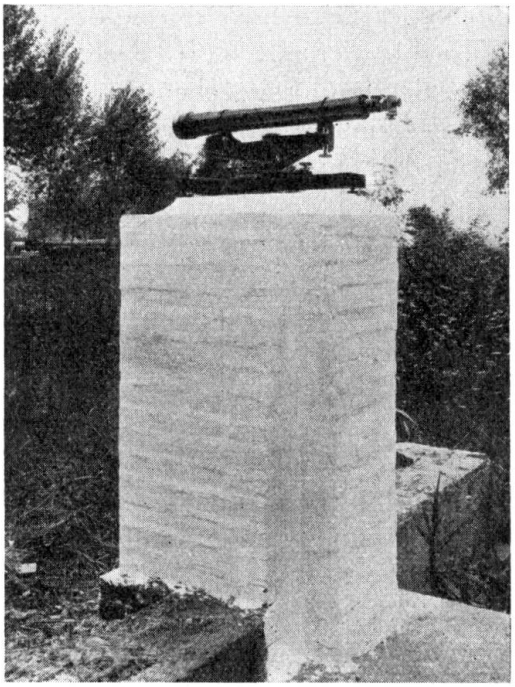


Fig. 13.

Beobachtungsstation zur Bestimmung der elastischen Bewegung des Trockendocks „Principe di Piemonte" in Venedig.

Die elastischen Bewegungen des Dockkörpers, während wiederholter Füllungen und Entleerungen, wurden an fünf Punkten mit Hilfe eines Nivellierfernrohrs von 80facher Vergrößerung gemessen, das in genügender Entfernung aufgestellt wurde, um von den Bewegungen des Dockkörpers nicht in Mitleidenschaft gezogen zu werden (vgl. Fig. 13). Fig. 14 zeigt eines der festgestellten Bewegungsdiagramme, die sämtliche mehr oder weniger denselben Charakter aufweisen. Die aus den Diagrammen abgeleiteten Bettungsziffern schwanken zwischen den extremen Werten 0,55 und 0,95 kg/cm³.

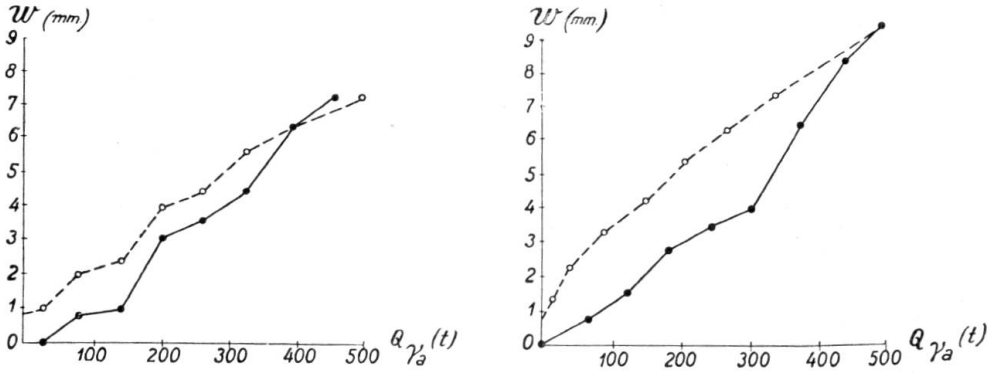


Fig. 14.

Bewegung des Trockendocks „Principe di Piemonte" während einer Füllung und nachfolgender Entleerung.

Auf Grund dieser Versuche wurde für die statische Untersuchung des Docks in Neapel der Wert C = 0,75 kg/cm³ = 750 t/m³ gewählt.

Bei der großen Bedeutung, die die Kenntnis der Boden- oder Bettungsziffer für die Projektierung und Berechnung von Wasserbauten von großer Ausdehnung, wie sie z. B. die Trockendocks darstellen, wäre es sehr zu begrüßen, wenn auch anderwärts ähnliche Versuche durchgeführt und deren Ergebnisse veröffentlicht würden.

Zusammenfassung.

Die Autoren beschreiben in dieser Arbeit die beiden großen Trockendocks die kürzlich in Italien, Genua und Neapel, gebaut wurden. Sie stellen das statische Verhalten dar, das bei beiden Bauwerken grundsätzlich verschieden ist, da das Trockendock von Genua auf Fels gegründet ist und dasjenige von Neapel auf sandigem Boden steht. Um die Bodenkonstante zu bestimmen, wurden Messungen an dem schon bestehenden Trockendock in Venedig „Principe di Piemonte" gemacht.

Leere Seite
Blank page
Page vide