Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 107/108 (1936)

Heft: 1

Artikel: Vom Bau der Ostmole in Dünkirchen, eine Druckluftgründung im offenen Meer

Autor: Schnitter, Erwin

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-48226

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: 09.01.2026

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

INHALT: Vom Bau der Ostmole in Dünkirchen, eine Druckluftgründung im offenen Meer. — Schmidt's Schattenbilder des Wärmeübergangs. — Zur Erweiterung und Neuordnung des Schweizerischen Landesmuseums in Zürich. — «Im Schatten von morgen». — Mitteilungen: Klimaanlage für das Nationalmuseum in Luxemburg. Die Zwanglaufkessel. Modellstrasse für Beleuchtungsstudien. Schweiz. Bundesbahnen, Beschleunigung des Personenverkehrs. Schweiz. Auto-Alpentunnel. 75 Jahre Verein deutscher Eisenhüttenleute. Die Verbreiterung der Seebrücke in Luzern. Unfallsichere Ein- und Ausrückvorrichtungen. Ein gewaltiger Wohnbau in London. Eidg. Techn. Hochschule. — Nekrologe: Otto Plüss. — Literatur. — Sitzungs- und Vortrags-Kalender.

Band 107 Der S. I. A. ist für den Inhalt des redaktionellen Teils seiner Vereinsorgane nicht verantwortlich. Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet. Nr. 1

Vom Bau der Ostmole in Dünkirchen, eine Druckluftgründung im offenen Meer.

Von Dipl. Ing. ERWIN SCHNITTER, G. E. P., S. I. A., z. Zt. in Dublin (Irland).

1. Einleitung. Im Rahmen der im Jahre 1930 in Angriff genommenen Erweiterungsbauten des Hafens in Dünkirchen[1]) erfolgte die Verlängerung der bestehenden, 800 m langen Ostmole um 700 m in die offene See hinaus.

Die bestehende Mole besitzt einen massiven, mittels eiserner Caissons unter Druckluft gegründeten Unterbau. Während der innere Teil der Mole einen ebenfalls massiven Aufbau besitzt, trägt der äussere Teil über Niederwasser einen hölzernen, aufgelösten Ueberbau. Die Verlängerung wurde diesem Querschnitt angeglichen: ein massiver Unterbau mit senkrechten Wänden trägt über Niederwasser eine aufgelöste Eisenbetonkonstruktion (Abb. 1 u. 18).

Der Meeresboden besteht hier aus feinem Seesand, der von schwarzem Schlamm in wechselnder Mächtigkeit, stellenweise bis zu 10 m, überlagert wird. Bei einer Wassertiefe von 6 bis 8 m unter Niederwasser, einem grössten Flutwechsel von 5,5 m und einem Eindringen des Fundamentes von 4,5 bis 11,4 m in den Untergrund ergaben sich Gründungstiefen von 16 bis 24,5 m unter höchstem Flutwasserspiegel. Die Baustelle hatte nach Westen, Norden und Osten die freie Meeresfläche vor sich; lediglich die die Reede von Dünkirchen bedingenden, bis nahe unter Niederwasser reichenden flandrischen Sandbänke boten einen relativen Schutz. Die NW- und NO-Stürme erwiesen sich als von grosser Gewalt und Hartnäckigkeit. Sie erzeugten Wellen, deren Höhe an der Spitze der Dienstbrücke zu $2h = 3{,}5$ m beobachtet wurden.

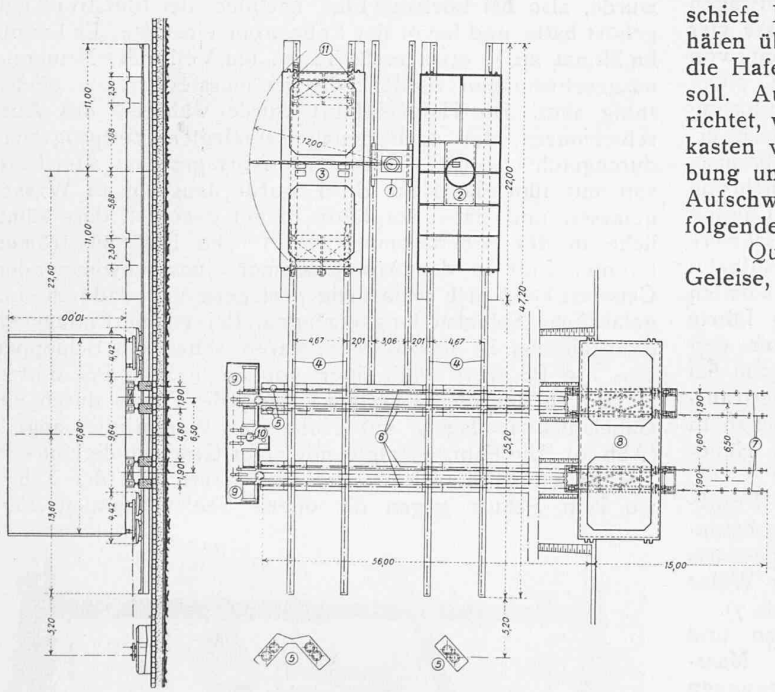
Eingehende Kostenberechnungen sowie Ueberlegungen der Bauentwicklung erwiesen Senkkasten aus Eisenbeton als wirtschaftlich und zweckmässig gegenüber solchen aus Eisen. Es kamen für die Durchführung der Gründung 39 Eisenbetonsenkkasten von 16,8 m Länge, 6,1 bis 8,5 m Breite und 7 bis 10 m Höhe zum Einbau. Von deren Herstellung, Einschwimmen und Absenken unter Druckluft sollen im folgenden Einzelheiten von allgemeinerem technischem Interesse mitgeteilt werden.

2. Herstellung und Zuwasserlassen der Senkkasten.

Die örtlichen Verhältnisse boten nur *eine* praktische Möglichkeit für das Zuwasserlassen von Senkkasten, und hierdurch wurde dieser Teil der Baustelleneinrichtung bestimmt: in die Wurzel der Ostmole ist eine gemauerte schiefe Ebene eingebaut, ein an den französischen Kanalhäfen üblicher „Brise-lames", der die Energie der durch die Hafeneinfahrt dringenden Wellen teilweise aufzehren soll. Auf dieser schiefen Ebene wurde eine Anlage errichtet, welche die gleichzeitige Herstellung von zwei Senkkasten von 400 t Gewicht gestattete, deren Querverschiebung und Ablassen auf einer Ablaufbahn bis zum ruhigen Aufschwimmen. Die Ausbildung dieser Hellinganlage war folgende (Abb. 2, 3, 4):

Quer zur Ablaufbahn lagen gestaffelt zwei horizontale Geleise, über deren einem Ende auf vier, auf seitlichen

[1]) Prof. Dr. *K. W. Mautner* und Dr. *G. Werner-Ehrenfeucht:* „Vorhafen und Seeschleuse in Dünkirchen", Jahrbuch der Hafenbautechnischen Gesellschaft Hamburg 1932/33.



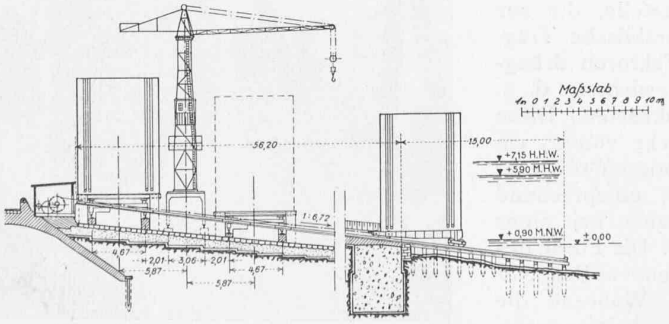


Abb. 2 bis 4. Anlage zum Herstellen und Zuwasserlassen der Eisenbetonsenkkasten; Grundriss und Schnitte, Masstab 1 : 600.

1 Turmdrehkran, 2 Caisson im Aufbau (Horizontalschnitt), 3 Caisson im Erhärten (Draufsicht), 4 Quertransportgeleise, 5 Umlenkrollen für Quertransport, 6 Ablaufbahn, 7 Unterwasserverlängerung der Ablaufbahn, 8 Im Ablauf befindlicher Caisson auf Ablaufwagen, 9 Zugwinde, 10 Elektromotor zur Winde.

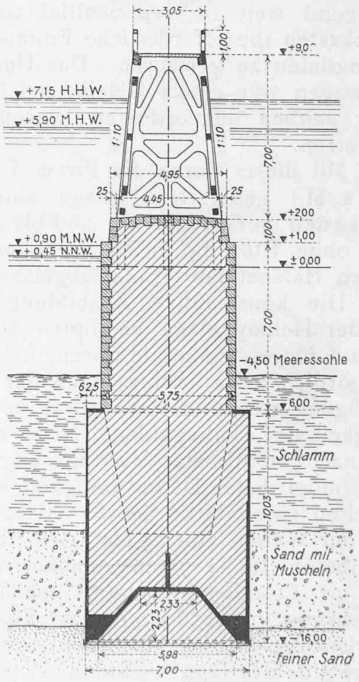


Abb. 1. Querschnitt durch die Mole (Caissons 22 bis 38).

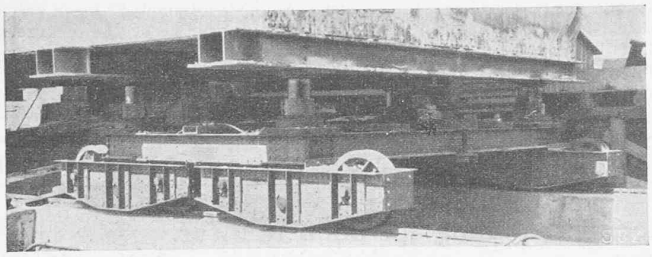


Abb. 5. Der durch die Quertransportwagen angehobene Senkkasten steht über der Ablaufbahn.

Betonmauern abgestützten Breitflanschträgern die eiserne Schneide verlegt und ein Senkkasten mittels eiserner Schalungen aufgebaut wurde. Zwischen diesen beiden Quergeleisen lief ein Turmdrehkran, der die Baustoffe einbrachte. Nach Fertigstellung und genügender Erhärtung eines Caissons wurden die beiden Quertransportwagen unter die paarweise unter den Caissonenden liegenden Träger eingefahren. Jeder Quertransportwagen besass vier hydraulische Presstempel von 200 mm lichtem ∅ und 350 mm Hubhöhe. Mit einer Hochdruckpumpe verbunden, hoben diese bei einem Druck von 150 bis 180 at den Caisson von 424 t Gewicht auf. Nun konnte dieser vorgeschoben werden, bis er quer über der Ablaufbahn lag. Zu diesem Zwecke wurden die Drahtseile der hierzu auszukuppelnden Windenhälfte über entsprechende Umlenkrollen geführt, worauf die Winde den Caisson bis zur gewünschten Stellung zog (Abb. 5). Die beiden Geleise der Ablaufbahn wurden durch Einsatzstücke über den Quergeleisen ergänzt, die Ablaufwagen mittels der Winde unter den Caisson gefahren (Abb. 6) und dieser durch Ablassen des Druckes in den Presstempeln auf die Ablaufwagen gesetzt. Die Hellingwinde von 80 t Zugkraft besass vier Kabeltrommeln von einer Umfangsgeschwindigkeit von 4 m/min, die über ein Zahnradvorgelege durch einen Elektromotor von 65 PS angetrieben wurden. Die Bremsung der ablaufenden Wagen konnte in dreifacher Weise erfolgen: 1. durch die übliche magnetische Lastbremse, 2. durch Bandbremsen, 3. durch eine untersynchrone Gegenstrombremsschaltung. Diese Winde liess den Caisson mit einer Geschwindigkeit von 2 m/min die durch schwere Kranschienen gebildete, unter 1 : 6,72 geneigte Ablaufbahn hinab. Das Ende dieser Ablaufbahn ruhte auf gerammten Holzpfählen und war durch Taucher verlegt; es führte genügend weit in den Schiffahrtskanal hinaus, um den Senkkasten die erforderliche Eintauchtiefe von 5,05 m bei Springfluten zu gewähren. Das Umsetzen der Quertransportwagen von einem Geleise auf das andere geschah in einer seitlich angeordneten Umsetzanlage mittels Handlaufkatzen.

Mit dieser durch die Firma J. S. Fries Sohn (Frankfurt a. M.) gelieferten Anlage sind alle 39 Eisenbetonsenkkasten im Gewicht von 280 bis 424 t programmgemäss und ohne Störung in sicherer und zuverlässiger Weise in den Hafeneinfahrtskanal abgelassen worden (Abb. 7).

Die konstruktive Ausbildung der Senkkasten und die der Hellinganlage bedingten sich gegenseitig. Massgebend für erstgenannte waren, neben Projektbedingungen und örtlichen Verhältnissen an der Absenkstelle, die zur Verfügung stehende Wassertiefe und die praktische Tragfähigkeit der Hellinganlage. Diese beiden Faktoren drängten nach möglichster Verringerung des Gewichtes, d. h. nach möglichster Dünnwandigkeit der Senkkasten. Diese erhielten eine Stärke der Arbeitskammerdecke von 17 cm und der Wände von 14 bis 11 cm. Sie benötigten 160,5 m³ Eisenbeton für 1176 m³ umbauten Raum, entsprechend 0,14 m³ Eisenbeton pro m³ umbauten Raum bei einer Bewehrung von 150 kg pro m³ Eisenbeton. Die Form des Senkkastens entwickelte sich mit fortschreitendem Bau entsprechend der zunehmenden Wassertiefe. Während die ersten 22 Senkkasten die übliche flache Arbeitskammerdecke mit aufzusetzendem eisernem Schachtrohr erhielten,

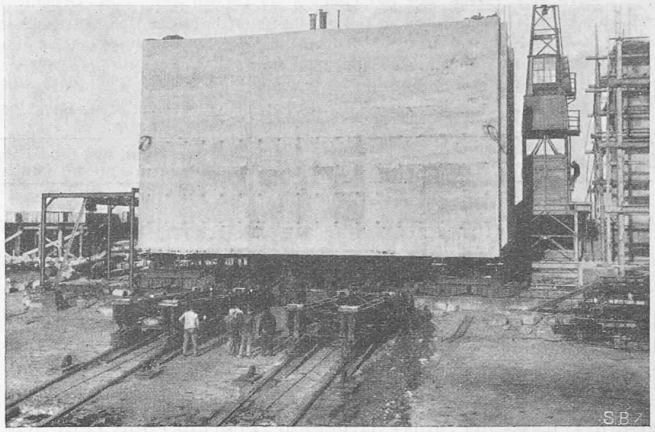


Abb. 6. Einfahren der Ablaufwagen unter den Senkkasten.

wurden die weiteren gemäss Abb. 8 ausgeführt: in der Kammermitte wurde die Decke höher gelegt und der Zugang als zylindrischer Eisenbetonschacht von 2,3 m ∅ bis zum oberen Rande des Caissons in die Arbeitskammer einbezogen. Diese Formgebung erwies sich als in jeder Hinsicht von grösstem Vorteil.

3. Das Ausschwimmen der Senkkasten.

Von der Hellinganlage bis zur Einbaustelle waren der Hafeneinfahrtskanal und die offene Reede auf eine Länge von 900 bis 1600 m zu durchschwimmen. Am Fusse der Hellinganlage stand die benötigte Wassertiefe nur bei Springflut zur Verfügung. Es musste dann so ausgeschwommen werden, dass die Einbaustelle bei Stauwasser erreicht wurde, also bei höchster Flut, nachdem der Flutstrom aufgehört hatte und bevor der Ebbestrom einsetzte. Es konnte im Monat an je etwa sechs Tagen um Voll- oder Neumond ausgeschwommen werden; die See musste hierzu möglichst ruhig sein. Die Hafeneinfahrt wurde während des Ausschwimmens, das nach genau festgelegtem Zeitprogramm durchgeführt wurde, für die Schiffahrt gesperrt. Der Caisson mit fünf Mann an Bord wurde langsam zu Wasser gelassen und dabei sorgfältig darauf geachtet, dass sämtliche in der Arbeitskammer befindliche Luft ausströmen konnte. Luft in der Arbeitskammer eines schwimmenden Caissons kann sich schlagartig verlagern und dadurch eine gefährliche Schiefstellung erzeugen. Bei vollem Eintauchen des Caissons in das Wasser waren schon ein Schlepper von 150 PS vorn und einer von 80 bis 100 PS hinten an ihm in der Weise vertaut, dass jede Trosse durch ein Gabelstück beidseitig auf Höhe der Wasserlinie angriff (Abb. 9). Die Fahrt erfolgte mit einer Geschwindigkeit von 1,6 bis 2,3 km/h. Oft wurden im äussern Teil der Fahrt, wo kein Schutz gegen die offene See vorhanden war,

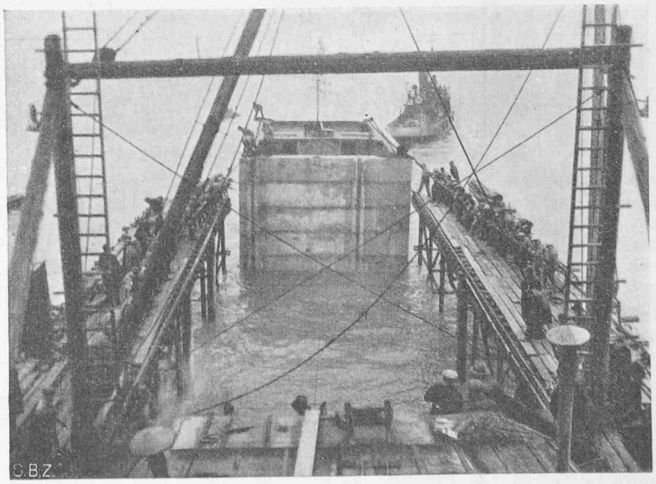


Abb. 10. Einführen des letzten Senkkastens in die Dienstbrücke.

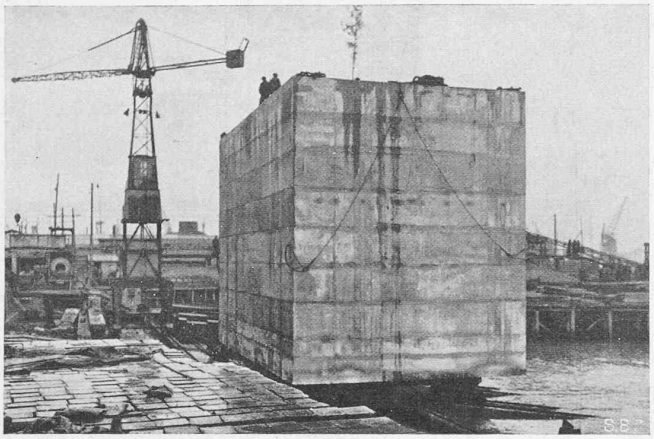


Abb. 7. Ablassen des letzten Senkkastens (umbauter Raum 1428 m³).

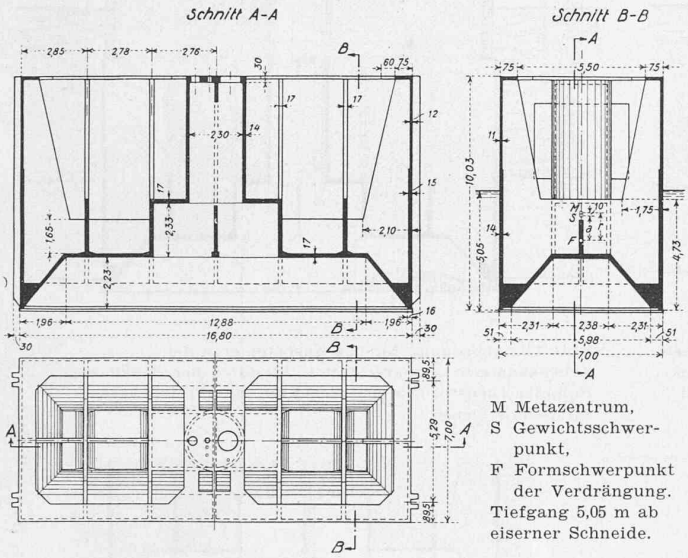


Abb. 8. Draufsicht und Schnitte der Eisenbetonsenkkasten 23 bis 38. Masstab 1 : 300.

Wellen angetroffen, die ein Stampfen von einer Amplitude bis zu 1,5 m erzeugten. Gelegentlich riss dann eine Trosse, weshalb ein Ersatzstück stets im Motorboot mitgeführt wurde. Am Ende der Dienstbrücke angekommen, deren Ostseite die Westseite um 14 m überragte, wurde der Senkkasten durch einen dritten Schlepper seitlich in die Einfahrt gedrückt, während der auf der Dienstbrücke bereitgestellten Mannschaft gleichzeitig vier Zugseile hinüber gereicht wurden. Zudem wurde das Kabel einer elektrischen Winde an Stelle der Trosse des hinteren Schleppers am

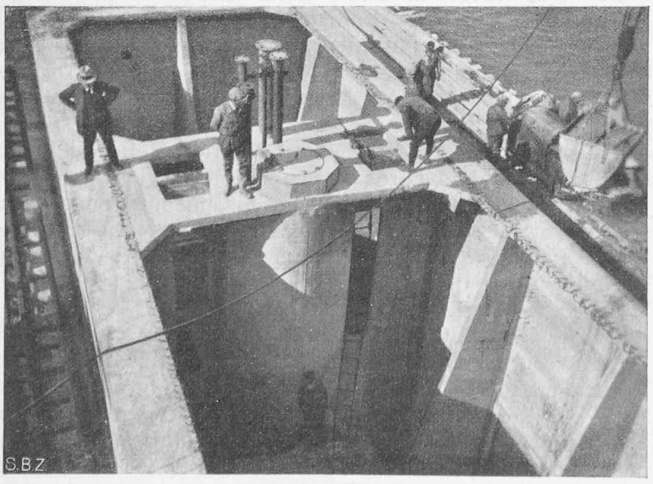


Abb. 11. Einbringen von Füllbeton in den schwimmenden Senkkasten.

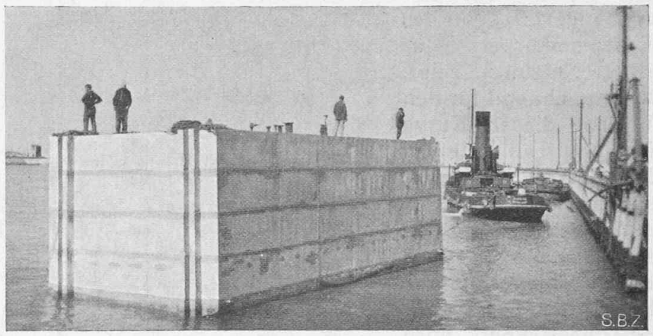


Abb. 9. Abschwimmen des Senkkastens von der Hellinganlage.

Senkkasten befestigt. Nun wurde durch die vier Hanfseile und das Drahtseil angezogen; der dritte Schlepper ermöglichte durch seitliches Drücken das Einfahren in die enge Führung und meist war in kurzer Zeit, oft trotz lebhaften Wellenspiels, der Senkkasten am Platz. Das Spiel zwischen Caisson und Führung betrug im allgemeinen 50 cm auf jeder Seite, beim Caisson des Molenkopfes jedoch nur 12 cm (Abb. 10). Die Führung wurde durch eine an den Brückenjochen waagrecht befestigte Eisenbahnschiene gebildet. Die Zeit vom Beginn des Ablassens auf der Hellinganlage bis zum Befestigen des Caissons an der Einbaustelle betrug bei einer Fahrtstrecke von 1600 m etwa zwei Stunden.

Sobald der Senkkasten in der Dienstbrücke fest vertäut war, wurde mit dem Einbringen von Füllbeton begonnen (Abb. 11). Bei Niedrigwasser kam er dann auf Grund zu sitzen, wobei er durch vier Seilflaschenzüge in der richtigen Lage gehalten wurde.

Angesichts des beträchtlichen Schleppweges kam den sicheren Schwimmeigenschaften des Senkkastens höchste Bedeutung zu. Da anderseits am Fusse der Hellinganlage ein für einen 10 m hohen Eisenbetonsenkkasten geringer Tiefgang zur Verfügung stand, musste mit Bezug auf die Schwimmeigenschaften sehr sorgfältig konstruiert und gerechnet werden. Die *Stabilitätsberechnung* für die 10 m hohen Senkkästen Nr. 23 bis 38 wurde in folgender Weise durchgeführt.[2])

Man bestimmt für den Schwimmkörper das Gewicht G, die Lage des Schwerpunktes S (durch Momentenbildung um eine Kante) und die Lage des Formschwerpunktes F der Verdrängung = Angriffspunkt des Auftriebes (durch Momentenbildung um eine Kante, nach Ermittlung des Tiefganges). Wenn man $a = \overline{FS}$ und $r = \overline{FM}$ für unendlich kleine Neigungen, bzw. für die senkrechte Lage setzt, lässt sich r berechnen aus

$$r = \frac{J}{V} = \frac{\text{Trägheitsmoment der Wasserlinie}}{\text{Verdrängung}} = \frac{2/3 \int_0^L y^3\, dx}{V}$$

Wenn die Wasserlinie ein Rechteck von der Länge L und der Breite $2y = b$ ist, wird $r = \frac{1}{12} \frac{L b^3}{V}$.

Die Verdrängung V errechnet sich aus $G = \gamma V$, (γ = spez. Gewicht des Wassers).

Die Stabilität ist umso grösser, je grösser die metazentrische Höhe $r - a = SM$ ist, doch kann schon eine sehr geringe metazentrische Höhe vollkommen ausreichend sein. Um in die Grösse der Stabilität während der schwankenden Schwimmbewegung einen Einblick zu gewinnen, berechnet man für verschiedene Neigungswinkel φ des Schwimmkörpers die Stabilitätsmomente St_φ, d. h. die Momente, die ihn aus einer Neigung φ in die senkrechte Lage zurückzuführen das Bestreben haben. Diese ergeben sich aus der Beziehung $St_\varphi = G\left[(r - a)\sin\varphi + r \sin\varphi \frac{\operatorname{tg}^2 \varphi}{2}\right]$.

Trägt man diese Werte St_φ als Ordinaten über den Abszissen φ auf, so erhält man die „*Stabilitätsmomenten-*

[2]) Vergl. *Johow-Förster*, Hilfsbuch für den Schiffbau, 5. Auflage. Berlin 1928, S. 294 ff.

Kurve", die das Aufrichtungsvermögen des Schwimmkörpers für jede Neigung zeigt. Kennzeichnend für den Verlauf dieser Kurve ist ihre Tangente im Nullpunkt. Sie ergibt sich zeichnerisch durch Auftragen über der Abszisse $\varphi = \varrho = 57{,}3^0$ des zugehörigen Stabilitätsmomentes, das mit St_a bezeichnet wird und berechnet wird aus $St_a = \text{tg}\,\alpha = G\,(r - a)$. Dieser Wert zeigt den massgebenden Einfluss der metazentrischen Höhe auf die Stabilität.

Für die vorliegenden Verhältnisse ergaben diese Untersuchungen folgende Werte (Abb. 8): Das Gewicht des Caissons mit Ausrüstung betrug $G = 424$ t bei einem spez. Gewicht des Eisenbetons (380 kg Zement, 150 kg Eisen pro m³) von $\gamma_b = 2{,}6$ t/m³ gegenüber dem spez. Gewicht des Nordseewassers von $\gamma = 1{,}025$ t/m³. Der Abstand des Schwerpunktes S ab Unterkante Arbeitskammer wurde ermittelt zu $h = 3{,}94$ m, der Abstand des Formschwerpunktes F ab Unterkante Arbeitskammer (nach Berechnung des Tiefganges $t = 4{,}9$ m ab U. K. Arb.-Kammer, bezw. $t = 5{,}05$ m ab U. K. eiserne Schneide) zu $f = 2{,}88$ m. Damit ergab sich $a = +1{,}06$ m; $r = +1{,}162$ m; $r - a = 0{,}102$ m und schliesslich die in Abb. 12 aufgezeichnete Stabilitätsmomentenkurve. Sie lässt ein sicheres, ruhiges Schwimmen und eine rasch zunehmende Steifigkeit gegen seitliche Schwankungen erkennen. Die geringe metazentrische Höhe und die niedrigen Werte der Stabilitätsmomente für kleine Neigungen bewirkten ein langsames Sichaufrichten des geneigten Schwimmkörpers und dadurch eine stetige, ruhige Schwimmbewegung. Alle diese Senkkasten waren deshalb sowohl beim Abschwimmen ab Hellinganlage wie beim Einführen in die Dienstbrücke gut und sicher zu handhaben trotz der oft beträchtlichen seitlichen Züge.

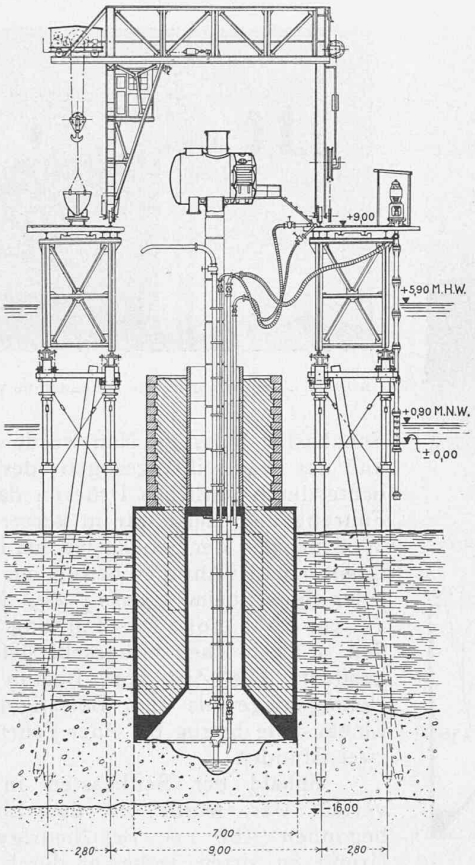


Abb. 13. Querschnitt 1 : 300 durch den in Absenkung befindlichen Senkkasten mit Dienstbrücke, Bockkran, Schleuse, Luft-, Druckwasser- und Förderleitungen.

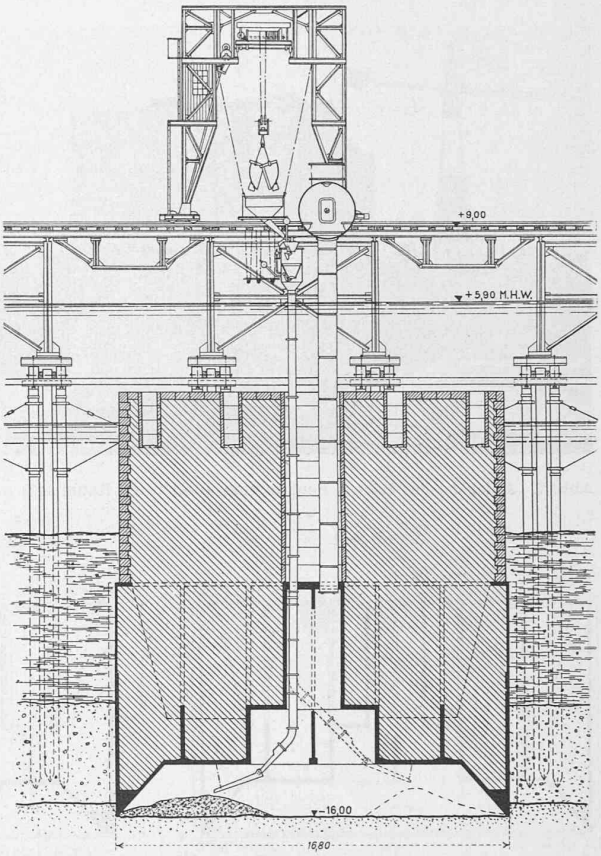


Abb. 17. Anordnung für das Ausbetonieren der Arbeitskammer; Längsschnitt 1 : 300 durch den Senkkasten. Dahinter Dienstbrücke und Bockkran mit Fülltrichter zur Betonschleuse.

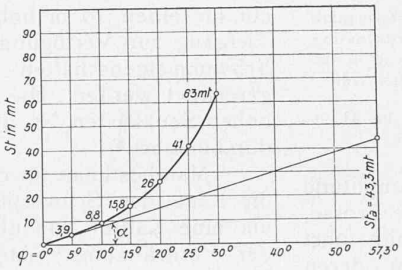


Abb. 12. Stabilitätsmomentenkurve des Senkkastens gemäss Abb. 8.

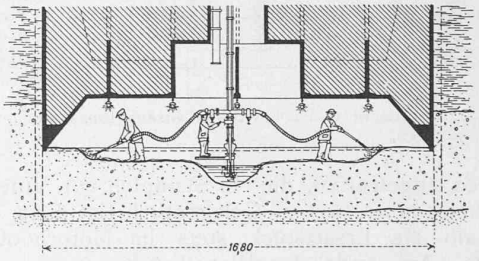


Abb. 14. Längsschnitt durch die Arbeitskammer während des Aushubbetriebes.

4. Das Absenken unter Druckluft.

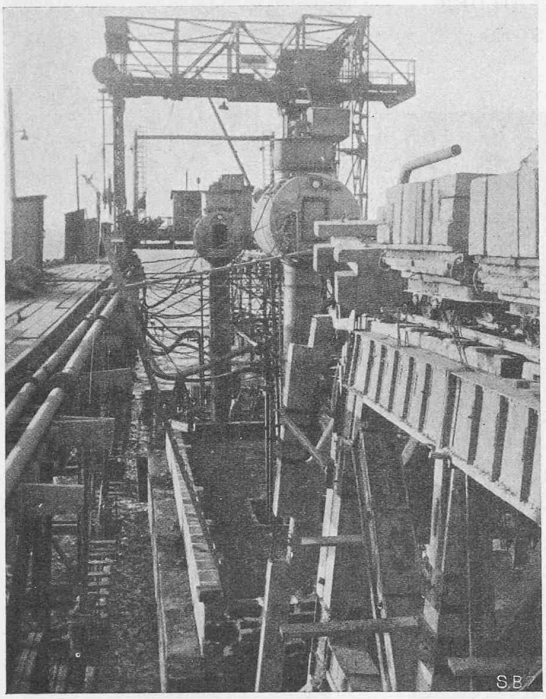
Während des Füllens der Senkkasten und des Aufmauerns des Molenkörpers im Ebbebetrieb, wofür insgesamt 61 500 m³ Betonmauerwerk eingebracht wurden, erfolgte das Absenken des im letzten Stadium bis 18 m hohen Bauwerkes. Es sind hierbei 48 600 m³ Boden unter Druckluft ausgehoben worden, wobei in folgender Weise vorgegangen wurde (Abb. 13 und 14):

Eine auf der Dienstbrücke aufgestellte vertikalachsige Kreiselpumpe lieferte Druckwasser, das der Arbeitskammer zugeleitet wurde. Hier wurde mittels Spritzschläuchen der aus Sand oder Schlamm bestehende Baugrund aufgelöst und dem in der Mitte liegenden Pumpensumpf zugespült. In diesen tauchte eine Mammut-Pumpe, gebildet aus einem Förderrohr und einer Luftzuleitung mit Injektor. Die eingepresste Druckluft riss bei dem hohen Kammerdruck von 1,5 bis 2,4 at den gelösten Boden mit grosser Wucht ins Freie. Das Absenken und Lenken des Caissons erfolgte durch Aufweichen des Bodens unter den Schneiden mit den scharfen Wasserstrahlen. Das Absenken konnte erheblich beschleunigt werden durch Verringern des Druckes in der Kammer gegenüber dem äussern Wasserdruck. Bei geeignetem Unterdruck befand sich dann der Caisson in andauerndem Sinken. Der unter Auftrieb stehende Boden löste sich leicht und wurde mit grosser Ergiebigkeit gefördert.

In dieser Weise konnten bei einem Kammerdruck von 1,8 at in einer Achtstundenschicht Absenkungen von 1,2 m erzielt werden. Bei höheren Drücken wurde diese Leistung noch übertroffen, wogegen sie bei geringeren Drücken wesentlich darunter blieb.

Die Druckluft wurde durch zwei Kompressoren von 13 bezw. 17 m³/min angesaugte Luft geliefert, die an der Molenwurzel in bis zu 1500 m Entfernung aufgestellt waren.

Das geschilderte Aushubverfahren wurde hier zum ersten Mal in dieser Form zur Anwendung gebracht und entwickelt. Es gab im vorliegenden Baugrund die technisch wie wirtschaftlich besten Ergebnisse. Angesichts der häu-



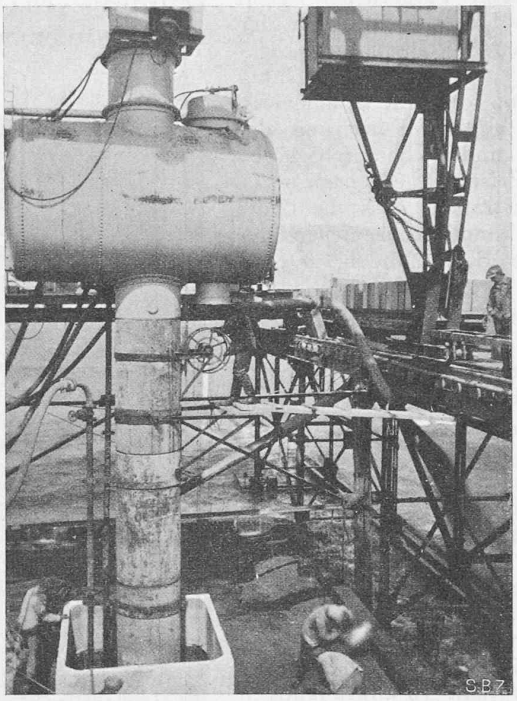


Abb. 15. In Aufmauerung u. Absenkung befindl. Senkkasten. Abb. 16. Absenkung des Senkkastens des Molenkopfes durch Steuerung von der freien Luft aus; rechts ist der Auswurf der Mammutpumpe sichtbar.

figen Arbeitsunterbrüche durch schweren Seegang erwies es seinen vollen Wert, indem das dadurch mögliche rasche Absenken den für eine derart exponierte Baustelle notwendigen angespannten Baufortschritt aufrecht erhielt (Abb. 15).

Das Verfahren schliesst weitere bedeutende Entwicklungsmöglichkeiten in sich, von denen beim Absenken des Caissons für den Molenkopf Gebrauch gemacht wurde. Hier bestand eine gewisse Gefahr, dass ein einlaufendes Schiff das Baugerüst anfahren und die im Caisson bis 24 m unter Wasser arbeitenden Leute gefährden könnte. Es wurde deshalb in der Kammer dieses letzten Caissons von 16,8 × 8,5 m Grundfläche ein doppeltes, symmetrisches System von Strahlrohren derart angeordnet, dass diese durch Längsbewegung und Drehung jede Stelle des Baugrundes mit den scharfen Wasserstrahlen bestreichen konnten. Der Antrieb wurde durch Zahnradübersetzung und Drahtseile betätigt; diese führten durch Stopfbüchsen nach aussen und längs dem Schachtrohr hoch zu zwei an diesem befestigten Kabelwinden. Nun konnten von einem unter der Einstiegschleuse am Schachtrohr befestigten Podest aus diese Kabelwinden sowie die Zufuhr von Druckwasser und -Luft bedient werden (Abb. 16). Am Auswurf der Förderleitung erkannte man das wirksame Arbeiten der Einrichtung. Von Richtpunkten an der Dienstbrücke aus konnte eine Neigungsänderung des absinkenden Caissons erkannt werden, wonach durch Betätigen der Kabelwinden der Ort der Spülwirkung verlegt wurde. In dieser Weise wurde dieser Caisson 11 m durch den Schlamm und Sand des Untergrundes bis 24 m unter Wasser bei 19 m massiver Bauwerkshöhe von zwei Mann abgesenkt, ohne dass sich Arbeiter in der Kammer aufhielten. Es wurden dabei Absenkleistungen von 1,8 m in 24 Stunden erzielt, entsprechend einer Förderleistung von 10 m³ Sand pro Stunde. Die Steuerung des Caissons erwies sich als absolut zuverlässig, trotz der bedeutenden Masse von 2030 m³ Betonmauerwerk, die bei der Schlussenkung bewegt werden musste.

Diese Absenkung durch Steuerung einer relativ einfachen Einrichtung in der Kammer von der freien Luft aus mag von allgemeinerem Interesse sein mit Rücksicht auf Fälle, in denen die Gefährlichkeit oder die Gründungstiefe eine möglichste Einschränkung der Anwesenheit von Mannschaft in der Tiefe verlangt.[3])

5. Das Ausbetonieren der Arbeitskammer.

Die ersten 22 Caissons besassen die übliche Form der Arbeitskammer mit waagrechter Decke und benötigten das sorgfältige Packen von erdfeuchtem Beton. In den weitern Caissons wurde dagegen der Kammer die in Abb. 8 dargestellte Ausbildung gegeben. Diese gestattete, das Betonschüttrohr mit gebogenem, beweglichem Auslauf zu versehen, sodass etwa 60 % des Kammerinhaltes durch plastischen Beton unter geringer Nacharbeit vollgegossen werden konnte (Abb. 17). Durch die rasch auf 10 m anwachsende Höhe des Füllbetons ergab sich eine sehr dichte Lagerung desselben. Durch diese Massnahme wurde die Leistung um 80 % gesteigert und die mühsame und ungesunde Arbeit in der sich verengenden Kammer vermieden. Der Beton wurde durch eine auf das Schüttrohr von 30 cm ∅ aufgesetzte, besonders konstruierte Betonschleuse von 300 l Inhalt eingebracht. Ihre als Glockenventile ausgebildeten Verschlüsse waren durch Hebel auf das einfachste zu betätigen und ermöglichten ein sehr rasches Durchschleusen des Betons. Das Ausbetonieren der 193 m³ fassenden Arbeitskammer benötigte auf diese Weise 17 bis 19 Stunden. — Insgesamt wurden rd. 6400 m³ Beton unter Druckluft eingebracht.

6. Drucklufterkrankungen.

Während der Absenkung sämtlicher Caissons war im wesentlichen der selbe Stamm von Leuten tätig. Da die Absenkung nach der beschriebenen Arbeitsweise zwei Schichten von einem Meister und etwa vier Mann benötigte, war es leicht möglich, die geeignetsten Kräfte auszusuchen und durchzuhalten. Für die Betonierung wurde die Mannschaft aushilfsweise verstärkt.

Während der Absenkung der 39 Caissons, von denen 31 einen Kammerdruck von 2 at überschritten, ereignete sich kein Fall von Drucklufterkrankung. Die Ursache liegt

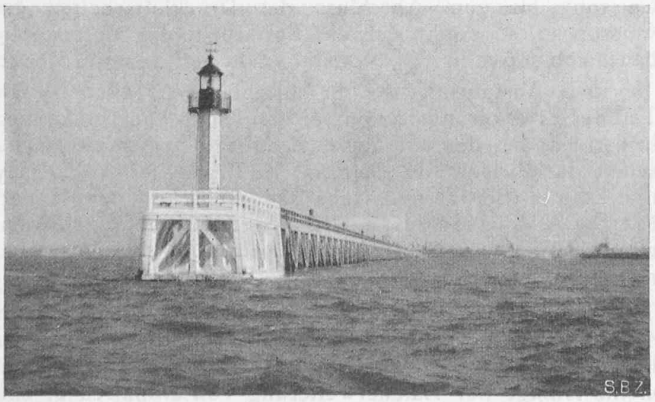


Abb. 18. Fertiger Molenkopf der Ostmole Dünkirchen.

[3]) Deutsches Reichspatent und französisches Patent des Verfassers.

wohl im Wegfall schwerer körperlicher Arbeit und in der intensiven Lufterneuerung in der Kammer. Das zerstäubende Wasser der Druckwasserstrahlen bewirkt eine lebhafte Erfrischung der Luft. Dazu kommt, dass die Kammerluft einen starken Anteil an der Förderung der Mammutpumpe nimmt und sich durch einen starken Zustrom von Frischluft erneuern muss. Es war stets Sorge getragen, dass die Leute nach dem Aussteigen unmittelbar neben der Schleuse eine geheizte Bude fanden, wo sie heissen Tee erhielten.

Hingegen zeigten sich während des Absenkens einige Fälle von Augenerkrankungen, die durch Gase des Schlammes verursacht wurden, die ein Gemisch von H_2S und CO enthielten.

Anders war aber die Lage, sobald die intensive Lufterneuerung ausblib und angestrengte körperliche Arbeit hinzutrat. So führte das Planieren der Arbeitskammer und deren Ausbetonierung bei einer grossen Zahl von Caissons zur Erkrankungen. In den ersten 22 Caissons, wo intensive körperliche Arbeit im sich verengenden Raum nötig war, ergab sich ein Mittelwert von 2,1 Erkrankungen ohne + 2,5 Erkrankungen mit ärztlicher Hilfe pro Kammer von 140 m³; dies entspricht 19 Erkrankungen pro 100 Arbeitsschichten. Die Einzelwerte stiegen auf acht und sogar 12 Erkrankungen für eine Kammerbetonierung. Die Ursache hierfür lag im eisigen NO-Sturm, der die in erhitztem Zustand aus der Kammer steigenden Leute auf der offenen Mole empfing.

Vom 23. Caisson an, wo der Kammerbeton grösstenteils gegossen wurde, sanken obige Zahlen auf 40 %. Der Mittelwert der Erkrankungen pro Kammer von 195 m³ betrug noch 0,3 ohne + 1,1 mit ärztlicher Hilfe. Dies entspricht 7,5 Erkrankungen pro 100 Arbeitsschichten bei einem Kammerdruck von 2,2 at. Bei mehreren Caissons traten keine Erkrankungen auf; dies war besonders der Fall, wenn warmes, ruhiges Wetter herrschte. Die bedeutende Verminderung der Erkrankungen ergibt sich aus dem Ausfall der harten, körperlichen Arbeit in dem engen Raum unter der Kammerdecke. Sie zeigt, wie wichtig es ist, bei der Formgebung der Arbeitskammer deren Füllung zu bedenken.

Die aufgetretenen Erkrankungen betrafen fast durchwegs Muskelschmerzen, die sich nach Behandlung in der Krankenschleuse, durch Bestrahlung mittels elektrischer Glühlampen oder zu Hause mittels warmer Kompressen in kurzem behoben, wenn sie auch oft äusserst schmerzhaft verliefen. Im ganzen zeigte ein Fall länger dauernde Folgen.

7. Oberbau.

Die aufgelöste Eisenbetonkonstruktion des Oberbaues besteht aus Bindern, Längsverband und Gehwegplatte. Die Binder wurden an Land in eisernen Schalungen serienmässig hergestellt. Auf einer Schute verladen, wurden die 12 t schweren Stücke in die Dienstbrücke eingefahren, von dem dort laufenden Bockkran bei Ebbe abgehoben und in die im Unterbau vorgesehenen Aussparungen versetzt. Der Längsverband wurde mittels eiserner, wasserdichter Schalungen im Ebbebetrieb ausgeführt. Die Elemente der Gehwegplatte wurden mittels Rütteltisches serienmässig hergestellt, mit Kran verlegt und vergossen.

8. Arbeitsfortgang.

Die Arbeiten an der Ostmole wurden anfangs 1931 begonnen. Die Schneide des ersten Caissons wurde am 15. April verlegt; der erste Stapellauf erfolgte am 19. Juni. Nun wurden die 39 Caissons mit einer Herstellungszeit von im Mittel 25 Tagen und einer Erhärtungszeit von mindestens 18 Tagen in Abständen von im Mittel 24 Tagen nacheinander ausgeschwommen. Die Arbeiten unter Druckluft, häufig durch die Seeverhältnisse verzögert, erforderten im Mittel 27 Tage pro Caisson, in einigen Fällen bei günstigem Wetter aber auch nur 15 bis 16 Tage. Am 11. April 1934 wurde der letzte Caisson eingeschwommen, am 4. Mai dessen Druckluftarbeiten beendet. Nach Abschluss der Arbeiten am Oberbau wurde die Mole am 14. September 1934 der Oeffentlichkeit übergeben (Abb. 18).

Ein zeitweiliger Unterbruch im Fortgang der Arbeiten hatte sich ergeben, als die Caissons 20, 21 und 22 grössere Mengen von Wracktrümmern eines vor etwa 30 Jahren hier untergegangenen englischen Frachtdampfers durchfahren mussten, wobei bis zu vier Lagen von 18 mm starken Wandblechen und Schiffskonstruktion in der Arbeitskammer mit dem Schneidbrenner durchschnitten und gefördert werden mussten.

Rechnet man die Zeit vom Stapellauf des ersten Caissons bis zum Abschluss der Druckluftarbeiten am Caisson 39, so ergibt sich ein Fortschritt des Molenunterbaues von 700 m in 34,5 Monaten, d. h. von 20 m im Monat.

Die Ausführung der beschriebenen Arbeiten lag als Teil der Erweiterungsbauten für den Hafen von Dünkirchen in den Händen der mit diesen beauftragten Arbeitsgemeinschaft der Firmen Ets. Sainrapt et Brice (Paris) Polensky und Zöllner (Berlin) und Neue Baugesellschaft Wayss und Freytag A. G. (Frankfurt a. M.), wobei letztgenannte Firma, als deren örtlicher Bauleiter der Verfasser wirkte, die technische Bearbeitung dieses Abschnittes innehatte.

[*Anmerkung der Redaktion.* Ausser der vom Verfasser eingangs zitierten Veröffentlichung orientiert auch ein kurzer Bericht in der „Z. VDI" vom 9. Nov. 1935 über die allgemeine Anlage der Hafenerweiterung von Dünkirchen, und im besondern über den Bau der neuen Schleuse.]

SCHMIDT'S SCHATTENBILDER DES WÄRMEÜBERGANGES

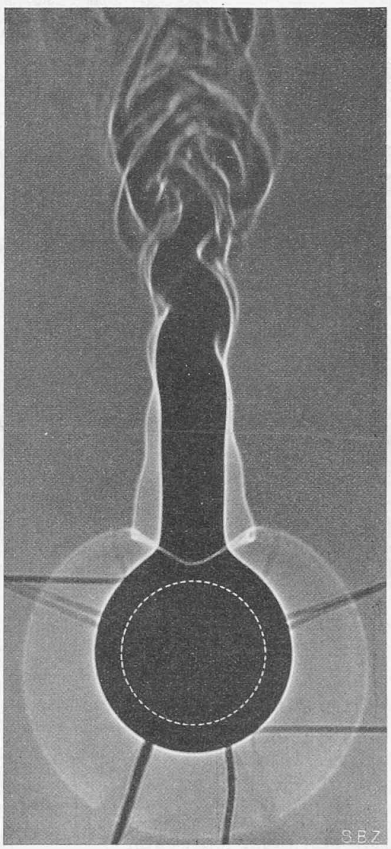


Abb. 3. Geheiztes Rohr, ohne Blende, von 50 mm ∅ und 29 cm Länge.

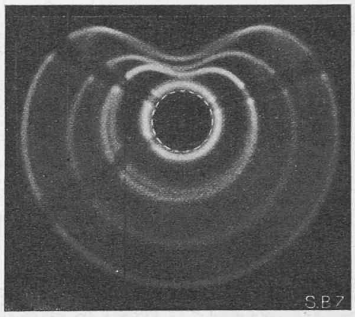


Abb. 4. Rohr bei verschiedenen Temperaraturen, mit Blende 16 mm ∅, 15 cm Länge. Raumtemperatur 24°, Heiztemperatur 71°, 109°, 189°.

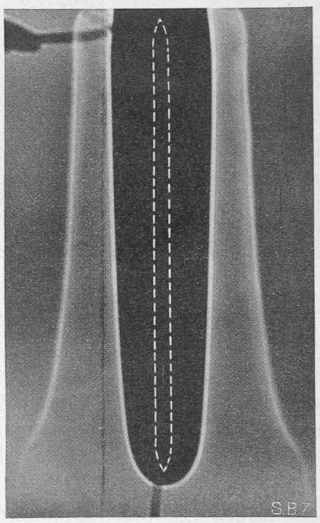


Abb. 5. Geheizte Platte, ohne Blende, senkrecht, Daten siehe Abb. 6.