
  
**DEUTSCHE**
  
**BAUZEITUNG**
  
**MITTEILUNGEN ÜBER ZEMENT,**
  
**BETON- UND EISENBETONBAU**
  
 \* \* \* \* \*
   
 UNTER MITWIRKUNG DES VEREINS DEUTSCHER PORTLAND-
   
 CEMENT-FABRIKANTEN UND DES DEUTSCHEN BETON-VEREINS

18. Jahrgang 1921.

NO 14.

**Der Eisenbeton im internationalen Wettbewerb um die Limfjord-Brücke bei Aalborg (Dänemark).**

(Schluß.)



o die Brunnenlänge nicht ausreicht für die erforderliche Gründungstiefe werden weitere Schaftstücke aufgesetzt, vergl. Abbildung 12 in No. 13. Die Stoßstellen zeigen Verstärkungsringe, die Eisen der beiden Schaftteile werden miteinander verbunden. Der Kopf der Brunnen besteht aus verstärkten

und in quadratische Form übergeführten Stücken, die in bestimmter Länge mit Granitverblendung fertig hergestellt und mit Versetzeinrichtungen auf die Brunnen aufgesetzt werden. Der genaue Höhenausgleich muß dann durch an Ort und Stelle eingeformte Teile erfolgen. Die Brunnen haben im Allgemeinen einen Schaftdurchmesser von 3<sup>m</sup> und einen Fußdurchmesser von 5<sup>m</sup> erhalten. Die Wandstärke, Bewehrung, Schneidenaus-

bildung geht aus Abbild. 13, S. 106 hervor. Nach Versenkung bis zur erforderlichen Tiefe wird unter Wasser ein ausreichend starker Betonpropfen eingebracht, um den Brunnen dann auspumpen zu können. Dessen Wandung wird dann noch durch eine innere Eisenbetonschale verstärkt, die an Ort und Stelle hergestellt wird, sodaß der Hohlraum des Brunnens auf 2<sup>m</sup> eingeschränkt wird. Dieser Hohlraum setzt sich in einem Schacht bis oben hin fort, sodaß eine spätere Revision der Brunnen, nach Auspumpen des Schwitzwassers, falls erforderlich, möglich wird. Um das Aeußere der Brunnen gegen den Angriff des Seewassers unempfindlicher zu machen, ist ein Anstrich mit Schutzmitteln vorgesehen.

Die Verbindung der Brunnen unter einander und mit dem Ueberbau zu einem festen Ganzen zeigt Abbild. 8 in No. 13. Das Preisgericht hält die Anordnung gegenüber dem Eisstoß nicht für ausreichend. Die Verfasser haben in ihren Berechnungen aus dem Umstand, daß die Ankerketten der Pontonbrücke durch Eisstoß mehr-



Abbildung 14. Entwurf mit dem Kennwort: „Nectemere nec timide“. Angekauft für 2000 Kr. Verfasser: Gesellschaft Harkort in Duisburg; Tiefbau-Unternehmung Heinr. Butzer in Dortmund; Arch. Prof. W. Kreis und C. A. Jüngst in Düsseldorf; als Berater Prof. Dr.-Ing. e. h. Max Möller in Braunschweig.

fach gesprengt worden sind, dessen Größe zu ermitteln versucht und kommen zu dem Ergebnis, daß ausreichender Widerstand dagegen vorhanden ist, umso mehr als gegenüber der Pontonbrücke mit ihren engen Öffnungen bei der neuen Brücke mit ihren viel weiteren Öffnungen nicht entfernt der gleiche Eisdruck eintreten kann. Ein an der Flensburger Föhrde ausgeführter Landesteg auf Brunnen dieser Art hat auch bei dem Anprall eines großen Kriegsschiffes, das selbst dabei stär-

ken zugelassen. Die Tragfähigkeit beruht außerdem mit auf der Mantelreibung, wenigstens in den festeren Schichten. Ufm diese auch in den oberen weicheren Schichten zu verstärken, ist eine Umpülung der Brunnen mit einem Sandbett vorgesehen. —

Zum Schluß kommen wir noch einmal auf den Entwurf mit dem Kennwort „Nec temere nec timide“ zurück, den wir im Hauptblatt der „Deutschen Bauzeitung“ No. 59 bereits in seinen Hauptzügen besprochen haben. Er wurde zu 2000 Kr. angekauft und ist das gemeinsame Werk der Gesellschaft „Harkort“ in Duisburg; der Tiefbau-Unternehmung Heinr. Butzer in Dortmund; der Architekten Prof. W. Kreis und C. A. Jüngst in Düsseldorf. Als Berater war Prof. Dr.-Ing. e. h. M. Möller in Braunschweig hinzugezogen. Wir geben in Abbildung 14 auf S. 105 noch einmal ein Bild der Gesamtgestalt dieses Entwurfes, indem wir im übrigen auf die Zeichnungen in No. 59 der „Deutschen Bauzeitung“, S. 262 verweisen. Wir kommen auf diesen Entwurf hier hauptsächlich seiner interessanten Gründung wegen noch einmal zurück.

Bezüglich der Gesamtanordnung sei kurz wiederholt, daß die Brücke ein Strombauwerk von 405 m Länge besitzt, das durch die im Lichten 30 m weite Klappenöffnung mit anschließenden Pfeilern von je 7,5 m halbiert wird. Die beiden gleich langen Seitenbrücken werden durch nur je 1 Zwischenpfeiler in 2 je 90 m weit gespannte Öffnungen zerlegt, die mit über der Fahrbahn liegendem eisernem Tragsystem überbrückt sind. Dieses besteht aus Ketten mit vollwandigen Versteifungsträgern, die den Kettenzug abnehmen, sodaß nur lotrechte Belastungen auf die Pfeiler entfallen.

Das Widerlager der eigentlichen Brücke an der Aalborger Seite fällt etwa mit dem jetzigen Ufer zusammen; auf der Nörresundby-Seite ist es dagegen in den Strom soweit vorgeschoben, als das mit Rücksicht auf die Stromverhältnisse als zulässig erschien, um die Gesamtkosten des Bauwerkes einschließlich der eisernen Ueberbauten möglichst herabzudrücken.

Es schließen sich dann noch geschüttete Rampen zwischen Eisenbeton-Winkelstützmauern an, welche letztere die Fußwege der Rampen auf Konsolen tragen. Dadurch verringert sich die Reibung des gegen die Stützmauer gerichteten Erddruckes und die Mittellast läßt sich durch die Mitte der Grundplatte führen. Diese ist so bemessen, daß der höchste Bodendruck  $1,3 \text{ kg/cm}^2$  nicht überschreitet. In dem höheren Teil der Stützmauern sind außerdem zur Aufnahme des überschießenden Druckes und zur Verhinderung von schädlichen Setzungen unter der Fundamentplatte ganz unter NW liegende Holzpfähle gerammt, die mit  $12^t$  belastet werden sollen, sodaß für die Bodenpressung unter der Sohle nur noch  $0,5 \text{ kg/cm}^2$  verbleiben. Auf der Nörresundby-Seite wird die Rampe durch 2 Flutöffnungen durchbrochen.

Für die Widerlager und Uferanschlüsse sind, da der tragfähige Baugrund hier noch ziemlich tief liegt, schwimmend eingebrachte Eisenbetonsenkklästen auf Pfahlrosten gewählt, und zwar ist der Uferanschluß auf der Aalborger-Seite ein einziger großer Schwimmkasten, während auf der Nörresundby-Seite 3 versenkt werden sollten, deren Zwischenräume durch Eisenbeton-Fahrplatten überdeckt werden, die mit Rücksicht auf etwaige Setzung der Senkkästen gegeneinander in Streifen zerlegt wurden, die in je 3 Punkten statisch bestimmt gelagert sind. Auf die Einzelheiten dieser Ausführungsweise, die im Bergbausenktungsgebiet schon mehrfach mit Erfolg angewendet worden ist, näher einzugehen, müssen wir uns versagen.

Auch bezüglich der Senkkästen können hier nur kurze Angaben gemacht werden. Ihre Fundamentfläche liegt mitten in wenig tragfähigen Bodenschichten, denen nach Einbringung einer Sandschicht nur eine Pressung von  $0,25 \text{ kg/cm}^2$  zugemutet wird. Der gesamte Flächendruck durch Eigengewicht, Brückengewicht und Nutzlast ist aber um  $0,7 \text{ kg/cm}^2$  größer. Dieser Ueberschuß wird durch höhere Rammpfähle aufgenommen, die noch 2–3 m tief in den tragfähigen Bau-

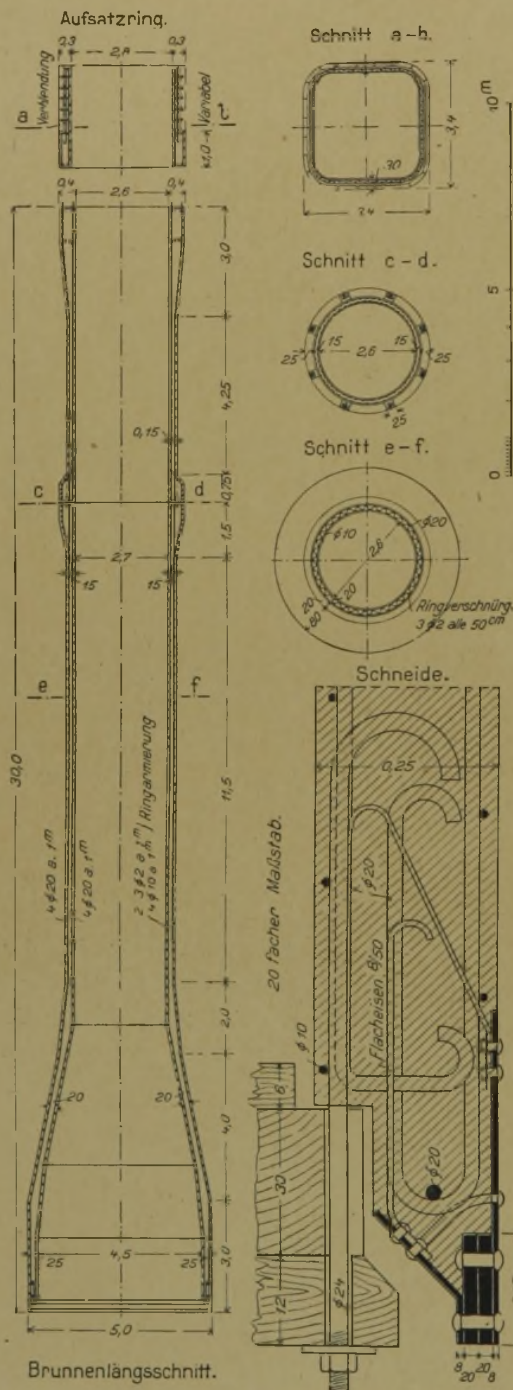


Abbildung 13. Ausbildung der Brunnen.  
Zum Entwurf mit dem Kennwort „Himmerland-Thy“.

kere Beschädigungen erlitt, sich als durchaus standfest erwiesen. Die Verfasser bestreiten also mit Entschiedenheit den Vorwurf des Preisgerichtes, daß gegen Eisdruck nicht der genügende Widerstand vorhanden sei, und halten ihre Ausführungsweise für eine allen Ansprüchen an Standsicherheit genügende und auch bei den hier vorhandenen großen Tiefen anwendbare und dabei billige.

Für den Sohlendruck der Brunnen ist bei der großen Tiefe eine Beanspruchung von  $6 \text{ kg/cm}^2$  ohne Beden-

grund gerammt und mit je 12 t belastet werden sollen. Um eine gute Kraftübertragung auf die Pfähle zu sichern, soll auf die geebnete Sandschicht eine 50 cm starke Zement - Traß - Kiesmischung unmittelbar vor dem Versenken der Kasten aufgebracht werden, auf die sich diese dann satt aufsetzen. Die Senkkasten, deren Gesamthöhe so gewählt ist, daß ihre Kosten einen Kleinstwert erreichen, werden an Land bis zu 8 m Höhe fertig gestellt, dann vom Stapel gelassen, schwimmend noch etwa bis Unterkante Fahrbahnplatte aufbetoniert und zur Versenkungsstelle geschleppt und durch Einlassen von Wasserballast versenkt. Dieser Ballast, der so bemessen wird, daß die Gesamtbelastung der späteren Nutzlast entspricht, wird 3—4 Wochen in den Kasten belassen, damit sich diese fertig setzen, ehe die Fahrbahndecke hergestellt wird. Dann erst werden die Kasten einschl. Fahrbahndecke fertig aufbetoniert. Die Kasten werden mit automatisch arbeitenden Pumpen ausgerüstet, um bei Undichtheiten das Schwitzwasser beseitigen zu können. Gegen Angriff des Meerwassers werden sie durch Umhüllung mit asphaltierter, doppelter Juteleinwand und innen durch Asphaltanstrich geschützt. Die Kasten besitzen am oberen hinteren Rande eine Konsolplatte, die den Übergang zu den Rampen vermittelt.

Für die Strompfeiler der Brücke haben sich die Verfasser bei der Wichtigkeit dieser Pfeiler für den Bestand des ganzen Bauwerkes für eine Gründungsweise entschieden, die absolute Gewähr bietet und eine örtliche Besichtigung des Baugrundes gestattet, in den die Pfeiler bis in die tragfähigen Schichten abzusenken sind. Dabei soll aber der Kostenaufwand ein möglichst geringer sein. Nach Untersuchung der verschiedenen Gründungsverfahren in Bezug auf die Erfüllung obiger Bedingungen kamen die Verfasser zu der Gründung auf Senkbrunnen mit trichterförmigen Kaissons aus Eisenbeton, die offen oder mit Preßluft versenkt werden sollen. Das Einschleppen, die Aufhängung, Führung und Belastung während des Absenkens soll ohne die Anwendung von Schraubenspindeln durch ein besonders

24. September 1921.

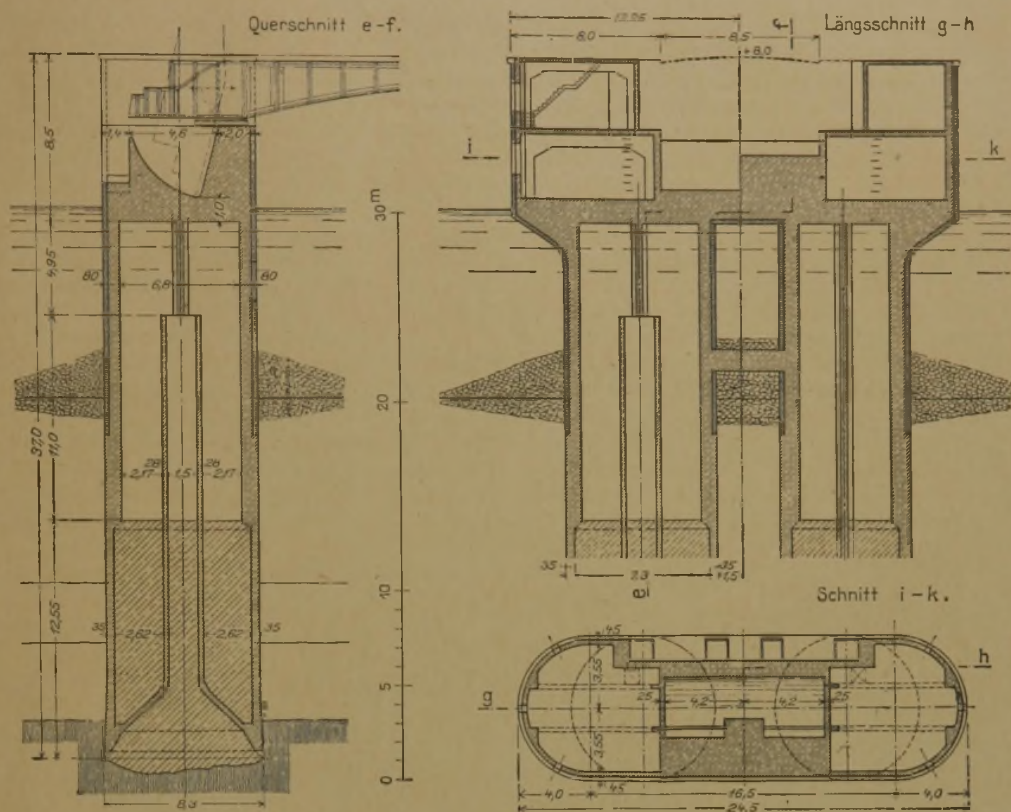


Abbildung 16. Entwurf mit dem Kennwort „Nectemere nectimide“. Ausbildung der Pfeiler der Klappbrücke.

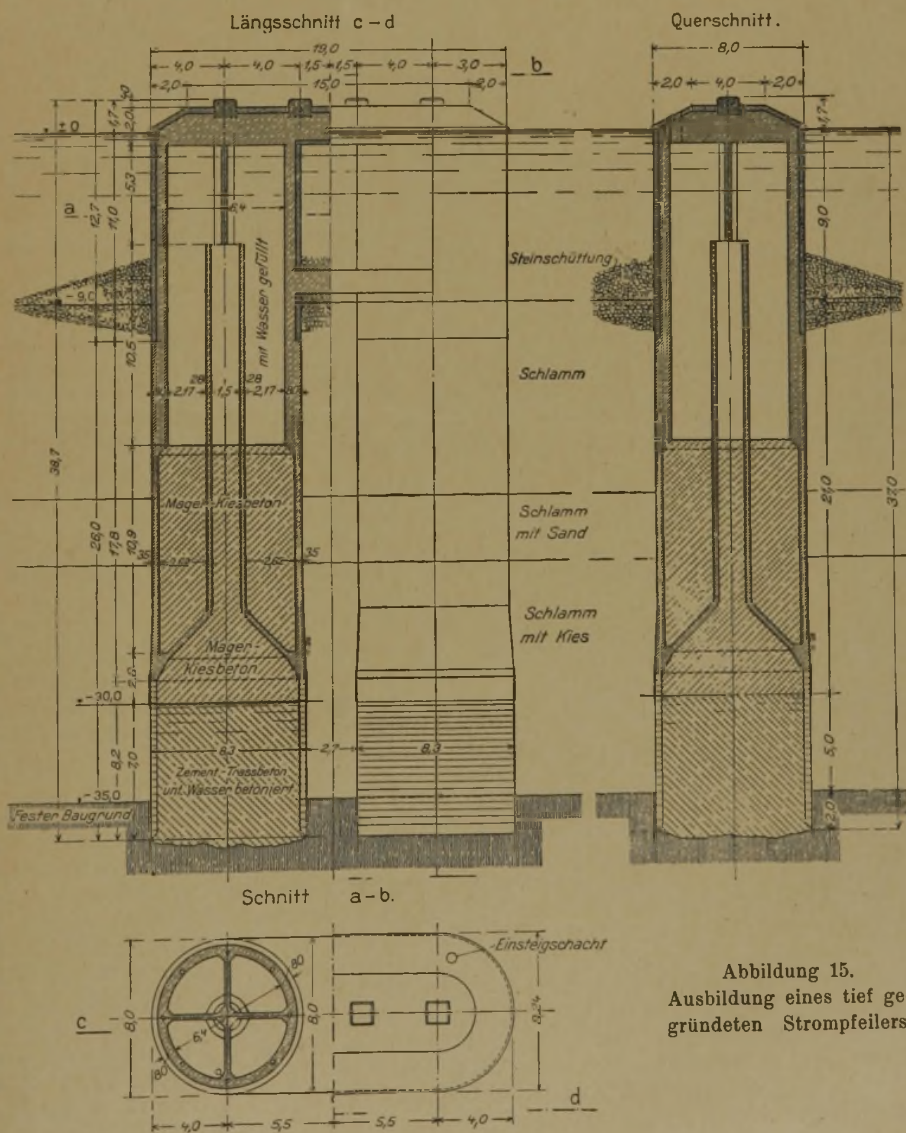


Abbildung 15. Ausbildung eines tief gegründeten Strompfeilers.

konstruiertes Schwimmdock erfolgen, das, wie in dem allgemeinen Bericht in der „Deutsch. Bauztg.“ schon erwähnt worden ist, in anderer Zusammenbauung auch für die Montage der eisernen Brücken verwendet werden soll und schließlich später in die Ausrüstung des Hafens für Schiffsreparaturen übernommen werden kann. Bis 30 m abwärts erfolgt die Absenkung teils ohne, teils mit Luftdruck, über 30 m hinaus ohne Steigerung des Ueberdruckes nach einem geschützten Verfahren, das als Staffelvortrieb bezeichnet wird. Zum Schluß der Absenkung soll eine Probelastung durch das Schwimmdock bis zur vollen Nutzlast des Pfeilers erfolgen, um spätere schädliche Setzungen zu vermeiden.

Die konstruktive Ausbildung der Pfeiler geht aus Abbildung 15 und 16, S. 107 für einen Zwischen- und einen Klappenpfeiler hervor. Die Pfeiler sind dabei aus Gründen der Sparsamkeit in je 2 Brunnen kreisförmigen Querschnittes von 8,3 m äußerem Durchmesser aufgelöst, die über der Sohle durch einen kräftigen Eisenbetonriegel, oben außerdem noch durch eine Querplatte

In seinem ersten Schwimmstadium ist das untere Ende des Brunnensteigrohres durch einen provisorischen Deckel verschlossen, der an die Preßluftleitung der Docks angeschlossen ist, um die Schwimmfähigkeit zu erhöhen. Diese in einer Asphaltfuge sitzenden, nur schwach bewehrten Deckel lassen sich in dem späteren Stadium der Brunnensenkung, wo sie hinderlich werden, mit Brechstangen leichter herausstoßen, sodaß sie in die Arbeitskammern fallen.

Das zum Bau der beiden Brunnen eines Pfeilers gleichzeitig dienende Schwimmdock ist in Abbildung 17 hierunter dargestellt. Es ist in Eisen ausgebildet und besteht aus 2 Pontons von 34 m Länge, 6 m Breite, 3 m Höhe, die in 10 m Abstand von einander liegen, gut gegeneinander ausgesteift sind und ein höheres Versenkgerüst mit mehreren Arbeitsbühnen tragen. In dem Kopfe sind 8,5 m hohe Seitenkästen von 4·6 m Grundfläche angebracht, die durch Schieber mit dem Außenwasser in Verbindung gesetzt werden können. Sie spielen in einem späteren Versenkstadium, in dem

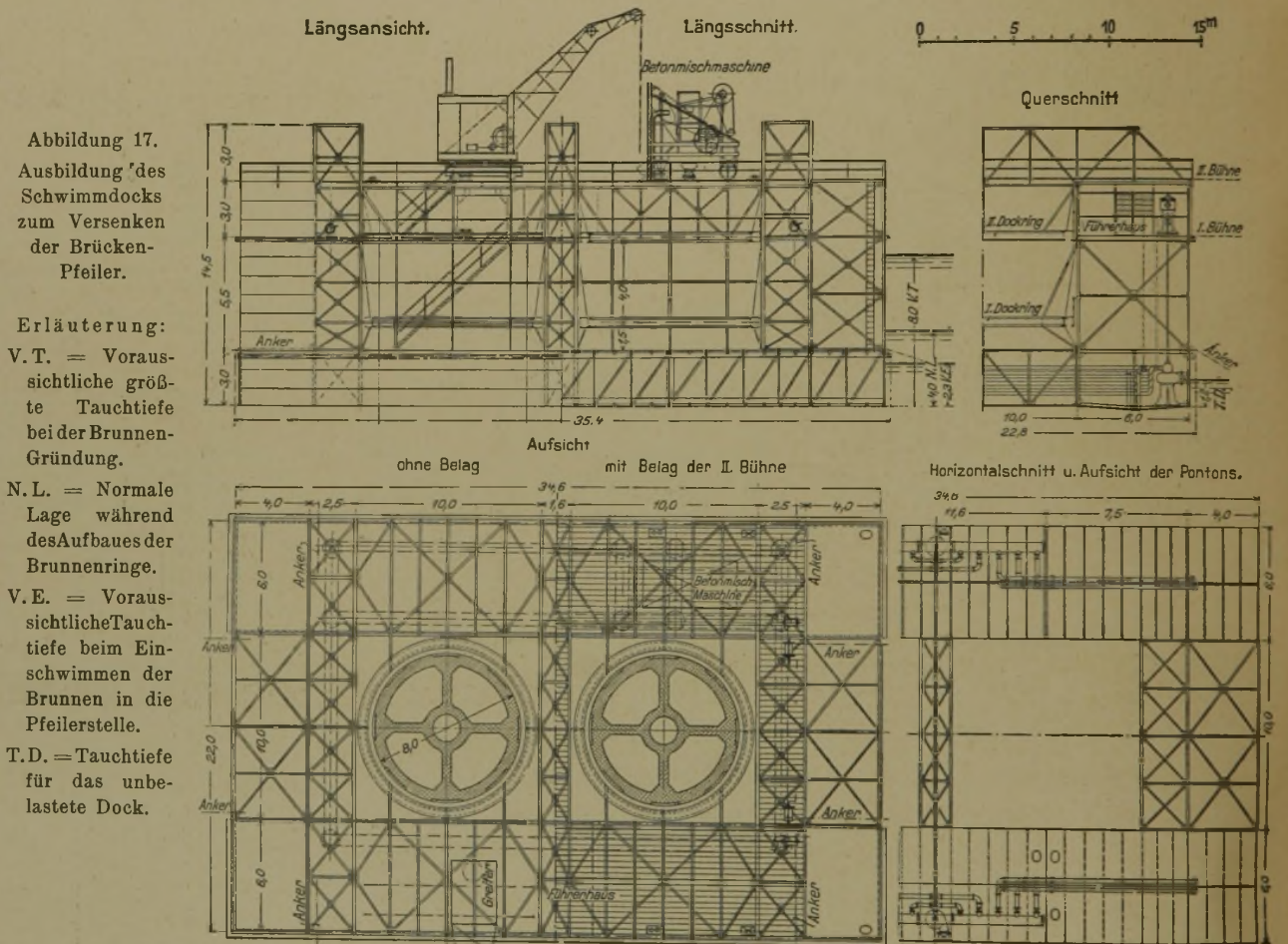


Abbildung 17. Ausbildung des Schwimmdocks zum Versenken der Brückenpfeiler.

Erläuterung:  
V. T. = Voraussichtliche größte Tauchtiefe bei der Brunnen-Gründung.

N. L. = Normale Lage während des Aufbaues der Brunnenringe.

V. E. = Voraussichtliche Tauchtiefe beim Einschwimmen der Brunnen in die Pfeilerstelle.

T. D. = Tauchtiefe für das unbelastete Dock.

verbunden sind, die die Lager des eisernen Ueberbaues trägt. In der statischen Berechnung wird nachgewiesen, daß diese Pfeilerkonstruktion gegen Eisstoß usw. genügende Standsicherheit besitzt, was das Preisgericht bezweifelt. Die Verfasser führen aber auch aus, daß es natürlich möglich wäre, auch einen einzigen zusammenhängenden Pfeiler nach dieser Bauweise auszuführen.

Die Brunnen sind ganz in Eisenbeton ausgebildet gedacht. Sie erweitern sich konisch etwas nach unten, um sie leichter versenken zu können. Von der konischen Arbeitskammer führt ein Eisenbeton-Steigerrohr von 1,5 m innerem Durchmesser nach oben. Im unteren Teil, der später mit Mager-Kiesbeton gefüllt werden soll, ist die Brunnenwandstärke nur 35 cm, im oberen, der leer bleibt, aber sich mit Wasser füllt 80 cm. Durch Querwände wird der untere Teil des Brunnens in 4 Luft- bzw. Ballastkammern geteilt, die die Schwimmfähigkeit des Brunnens sichern und die lotrechte Stellung beim Versenken regeln sollen.

das ganze Pontondeck unter Wasser taucht, für die Stabilität eine wichtige Rolle. Das Dock ist mit Anker, Pollern, Preßluftanlage, Betonierungseinrichtungen, Saugpumpen, Baggern, Kran usw. ausgerüstet. Wichtig sind die beiden Dockringe I und II, vergl. Abbildung 18, S. 109, an denen in leicht löslicher Weise Ringe befestigt werden, die mit Keilen in Nuten der Brunnenwand festgehalten werden, sodaß damit eine Aufhängung der Brunnen geschaffen wird, die viel billiger ist als Schraubenspindeln und sowohl Druck wie Zug aufnehmen kann. Mit dem Fortschritt des Hochmauerns und Absenkens der Brunnen kann man abwechselnd den unteren und den oberen Dockring mit den Brunnen in feste Verbindung bringen, man kann nach Lösung der Verbindung das unter der Last des Brunnens tiefer eingesunkene Ponton wieder hochschwimmen lassen und dann wieder erneut zur Aufhängung und Führung der Brunnen benutzen.

In Abbildung 18 ferner sind verschiedene Stadien der Brunnenabsenkung dargestellt, wobei einige weniger

wichtige Zwischenstadien fortgelassen sind. Die Erklärung zu den Abbildungen gibt noch nähere Angaben. Im Stadium I liegt das Ponton am Ufer. Auf den mit dem unteren Dockring verbundenen Brunnenschlingen wird der Brunnen in zunächst 6 m Höhe über Wasser aufgebaut. Man löst nun den Dockring I und senkt den Brunnen ab, bis er (über der Kammer durch den provisorischen Deckel verschlossen) gerade schwimmt und hängt ihn dann an dem Dockring II auf. So wird das Ganze zur Baustelle geschafft und in genauer Lage verankert; weitere 6 m Brunnen werden dann aufgemauert und nach Erhärten wird abgesenkt. Der Brunnen sinkt bereits in den Schlammboden ein, nachdem der provisorische Deckel herausgeschlagen ist. Man läßt das Dock wieder hochschwimmen, hängt den Brunnen erneut auf, mauert weitere 6 m Höhe auf und senkt wieder ab. Soweit der Schlamm dabei nicht von selbst aus dem Steigerrohr hervorquillt, wird er durch Pumpen

abgesaugt, außerdem wird der Brunnen durch Füllbeton beschwert (Stadium V). Eine weitere Verlängerung bringt den Brunnen bereits zur Höhe der Querriegel, die eingebaut werden. Im Stadium VI sind die Brunnen bereits auf 16 m unter Wasser abgesenkt. Es sind an ihm in der Abbildung noch die verschiedenen Aufhängungs-schlitzte erkennbar, die tatsächlich aber jedesmal nach Lösung der betreffenden Verbindung vor der weiteren Absenkung mit Beton ausgefüllt werden. Die Absenkung erfolgt dann unter Baggerung und unter Belastung des Brunnens durch Füllbeton soweit, daß der obere Rand nur noch etwas über Wasser steht. Es wird nunmehr auf insgesamt 22,5 m Absenkungstiefe die Luftschleuse aufgebaut, falls die Bodenverhältnisse es nicht schon früher erfordern. Um die Senkung zu erleichtern kann übrigens der Boden um die Brunnen herum noch durch Spülrohre aufgelockert werden und es kann auch das mit Wasserballast beschwerte Dock mit zur Be-

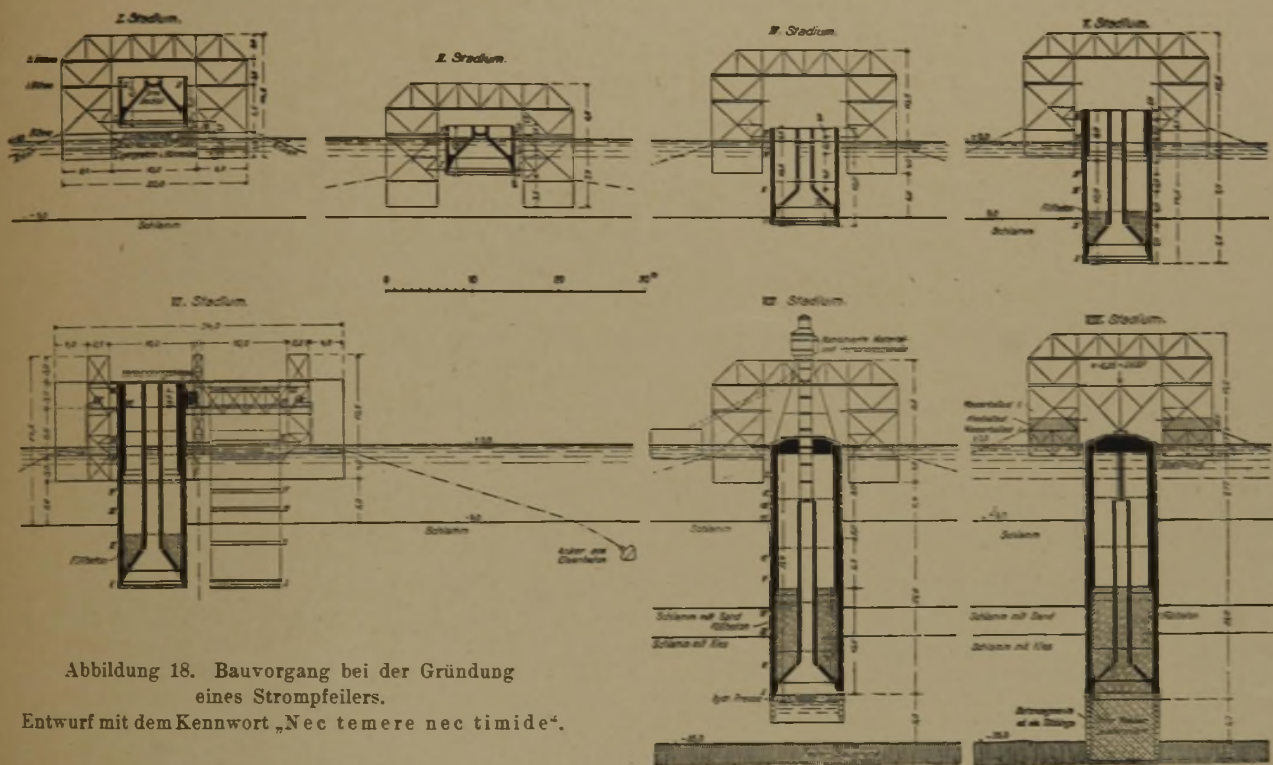


Abbildung 18. Bauvorgang bei der Gründung eines Strompfeilers.

Entwurf mit dem Kennwort „Nec temere nec timide“.

**Erklärung zu I.**

- a) Das Dock ist leer. Eintauchtiefe 1,23 m.
- b) Der Brunnen wird auf dem Dock 6 m hoch einschl. Schling aufbetoniert. Eintauchtiefe 1,23 + 1,09 = 2,32 m. Der Brunnen wird hierbei am eisernen Schling (Ring I) von dem unteren Dockring gehalten.
- c) Lösen des unteren Dockringes aus dem Ring I und Festkeilen des Brunnens mit oberem Dockring in Ring II nach Erhärten des Betons. Das Dock liegt während dieses Vorganges am Ufer. **Zeitdauer: 3 Wochen.**
- zu II. a) Einschleppen des Dockes zur Versenkungsstelle des Brunnens und Verankern desselben.
- b) Absenken des Dockes bis zur Schwimmlage des Brunnens (4,4 m) und Lösen des oberen Dockringes aus dem Ring II.
- c) Aufschwimmen des Dockes um 4 m und Festkeilen des unteren Dockringes in Ring II. **Zeitdauer: insgesamt 3 1/2 Wochen.**
- zu IV. a) Lösen des oberen Dockringes aus dem Ring III. Aufschwimmen des Dockes um 3,9 m, gleichzeitig Versenken des Brunnens durch Ballastwasser bis zur Bordhöhe von 1,5 m. In diesem Zustand paßt der untere Dockring in den Ring IV. Festkeilen dieses Ringes: Eintauchtiefe 4 m.
- b) Öffnen des provisorischen Deckels, wodurch Brunnen und Dock etwa 0,5 m tiefer eintauchen.
- c) Ausgleichen des Dockes bis zur vorigen Eintauchtiefe von 4 m. **Zeitdauer: insgesamt 7 1/2 Wochen.**
- zu V. a) Aufbetonieren des Brunnenaufbaues von 6 m Höhe, hierbei Regulieren der Eintauchtiefe des Dockes auf 4 m. Nach Erhärten: Festkeilen des oberen Dockringes in den Ring V. Lösen des unteren Dockringes aus dem Ring IV.
- b) Versenken um 4 m unter Absaugen des Schlammbodens bei gleichzeitiger Belastung des Brunnens mit Füllbeton, sodaß in dieser Lage Gleichgewicht besteht. Lösen des oberen Dockringes aus dem Ring V. Bordhöhe des Brunnens 3,5 m.
- c) Aufschwimmen des Dockes, bis der untere Ring im Ring VI festgekeilt werden kann. Tiefgang des Dockes 2 m.

- d) Geführt durch das Dock weiteres Absenken um 2 m unter Absaugen des Schlammbodens bei gleichzeitiger Belastung des Brunnens mit Füllbeton. Bordhöhe des Brunnens 1,5 m. Notwendigenfalls Ballastwasser im Dock zur Vergrößerung der Auflast beim Absenken. **Zeitdauer: 10 1/2 Wochen.**

Zu VI. a) Der Brunnenaufbau und der Verbindungsriegel zwischen beiden Brunnen ist fertig betoniert. Nach dem Abbinden wird der obere Dockring in Ring VII festgekeilt, der untere Ring wird aus Ring VI gelöst. Die mittlere untere Querversteifung zwischen den beiden Schwimmkörpern des Dockes wird entfernt.

Zu VII. a) Weiteres Aufbetonieren des Brunnens und Einbringen des Füllbetons und Ballastwassers. Entsprechend langsames Absenken. Das Dock trägt nicht mehr, führt mit den Ringen und kann zur Vergrößerung der Auflast durch Aufnahme von Ballastwasser dienen. Infolge der Querverbindung am Kopfe des Brunnens müssen zum Schluß die inneren Hälften der Ringe abgenommen werden. Beseitigung des Schlammbodens unter Preßluft bis auf -30 m.

b) Weitere Gründung unter -30 m nach dem Staffelverfahren von Professor Möller. An vorher angebrachten Vorrichtungen wird eine Arbeitsbühne im Arbeitsraum aufgehängt, von der aus kleine Greifer oder Schlamm-pumpen je nach Bedarf bedient werden. Die Schlamm-pumpen arbeiten unter Ausnutzung des Ueberdruckes von 3 Atm. **Zeitdauer: insgesamt 20 Wochen.**

Zu VIII. Endzustand und Probelastung nach Erhärten der Auflager.

Dockgewicht . . . . .	400 t
Bühnenlast . . . . .	100 t
Wasserballast I (3-1,23) 34·6·2 . . . . .	720 t
Wasserballast II 2·6·4·8,5 . . . . .	410 t
Ballast durch aufgebrauchten Kies oder dergl. 2·26·6·1,7·1,65 . . . . .	870 t
	<b>2500 t</b>

**Zeitdauer: insgesamt 24 Wochen.**

lastung der Brunnen herangezogen werden. Unter Luftdruck erfolgt nun in ähnlicher Weise wie bisher die Absenkung des vorher bis zur oberen Deckplatte fertiggestellten Brunnens bis auf 30 m unter Wasserspiegel, d. h. bis zur Grenze, bis zu der noch ohne besondere Gefahr für das Leben der Arbeiter unter Wasser in der unter Preßluft stehenden Arbeitskammer von Menschen gearbeitet werden kann (Stadium VII).

Nun setzt der Staffelvortrieb ohne Erhöhung des Luftdruckes ein. Es wird der untere Teil des zweiteiligen Brunnenschlinges gelöst und mit Druckwasserpressen, die sich nach oben gegen den Brunnenrand abstützen, im Schutze eines 80 cm hohen eisernen Ringmantels herabgetrieben. Der so gewonnene Zwischenraum wird durch vorher fertiggestellte segmentförmige Steine aus Beton in Zement-Traß-Mörtel von oben her schrittweise vermauert unter gleichzeitiger Einlegung einiger Ringeisen. Falls der Boden es erfordert, können auch statt dessen eiserne Tübbings wie im Schachtbau zum Vorbau benutzt werden. Der Bodenaushub erfolgt dabei unter Wasser durch einen kleinen, elektrisch angetriebenen Greifer. Der fertig gemauerte Ring wird dann um seine Höhe heruntergepreßt und ein neuer Ring darüber hergestellt, bis die erforderliche Tiefe erreicht ist. Falls unter der Schneide Hindernisse auftreten, so muß zu ihrer Beseitigung unter Umständen der Luftdruck im Brunnen auf kurze Zeit entsprechend erhöht werden, was zulässig ist; für den regelmäßigen Arbeitsbetrieb bleibt der Luftdruck aber auf der obersten Grenze von 3 Atm. bestehen.

Ist der tragfähige Baugrund erreicht, so wird der Brunnen bis an die Arbeitskammer heran zunächst unter Wasser mit einer Zement-Traß-Kies-Mischung ausbetoniert und zum Schluß wird die Arbeitskammer und das Steigerrohr unter Preßluft mit Stampfbeton gefüllt.

Bei dem Herunterpressen des unteren Brunnenringes im Staffelvortrieb durch die Druckwasserpresse, wobei von den 8 Pressen je 100 t Druck ausgeübt werden können, gewinnt man aus der Manometerablesung schon ein Bild von der Tragfähigkeit. Außerdem soll aber der fertige Pfeiler noch mit dem vollen Gewicht der Brücke und Nutzlast belastet werden. Das soll mit Hilfe des Dockes geschehen, daß nach Entfernung der Bühnenlast hoch aufschwimmt, und sich mit 4 vorher angebrachten eisernen Sprengwerken dann auf die Brückenaufleger legt, sodaß also der Pfeiler ganz wie später im Bauwerk belastet wird. Durch Aufbringung von Kiesballast und Füllung der Wasserkästen des Dockes kann die Last bis auf 2500 t gesteigert werden, was dem größten Auflagerdruck der Brücke entspricht.

Es werden bei dieser Gründungsweise also verschiedene Verfahren hintereinander angewendet, von denen das nächste sofort ohne Störung einsetzen kann, wenn das vorhergehende billigere versagt. Der Staffelvortrieb entspricht dabei Verfahren, die beim Schachtbau und beim Tunnelbau, in letzterem Fall allerdings in wagrechter Richtung, ja schon in ähnlicher Weise angewendet worden sind. Die praktische Durchführbarkeit dürfte daher nicht anzuzweifeln sein.

Fr. Eiselen.

## Die Querschnittsbestimmung von einfach und doppelt bewehrten Platten, Balken und Plattenbalken und die amtlichen Musterbeispiele.

Von Professor Landmann in Magdeburg.

**D**ie Berechnung der auf Biegung beanspruchten Eisenbeton-Konstruktionen macht zur Feststellung der Momente die vorherige Annahme des Betonquerschnittes erforderlich. Dem erfahrenen Eisenbetonpraktiker wird es zumeist gelingen, die richtige Wahl zu treffen, zumal ein Unterschied von 1–2 cm auf die Größe des Momentes in den meisten Fällen keinen erheblichen Einfluß hat; aber der weniger Geübte und noch mehr der Anfänger tapfen dabei vollständig im Dunkeln.

Aus diesem Grunde sind schon von verschiedenen Seiten Formeln zur vorhergehenden Bestimmung der Höhe dieser Konstruktionen aufgestellt worden. Solche empirischen Formeln sind z. T. umständlich, z. T. liefern sie nicht für alle Fälle befriedigende Werte.

Im Nachstehenden soll nun ein recht einfaches Verfahren gezeigt werden, das mit der endgültigen Querschnittsbestimmung in innigem Zusammenhang steht und für alle in Betracht kommenden Konstruktionen zum Ziel führt.

Dazu dient die Zusammenstellung I auf f. S., die in ähnlicher Weise wie die Tafel I der amtlichen, preußischen Vorschriften zur Berechnung von Platten und Balken bei einfacher und, was ihre Brauchbarkeit noch mehr erhöht, auch für doppelte Bewehrung benutzt werden kann.

Auf die Herleitung der Formeln und Zahlenwerte soll hier nur soweit eingegangen werden, als es zum Verständnis notwendig ist; im Uebrigen sei auf das i. J. 1912 herausgegebene Werkchen<sup>1)</sup> verwiesen: „Formeln und Tabellen zur Berechnung von Platten und Plattenbalken“, die in einem früheren Werk<sup>2)</sup> abgeleitet, während die Herstellung der Listen in einem Aufsatz<sup>3)</sup> der Zeitschrift „Beton und Eisen“ dargestellt worden sind.

Für die doppelte Bewehrung lauten die Formeln:

$$\left. \begin{aligned} 1) \dots f'_e &= \frac{M}{h} \frac{\alpha_d}{\sigma_b} - b h \beta_d \\ 2) \dots f_e &= b h \alpha_z + f'_e \beta_z \end{aligned} \right\} \text{Platten und Balken.}$$

$$\left. \begin{aligned} 3) \dots f'_e &= \frac{M}{h} \frac{\alpha_d}{\sigma_b} - b d \beta_d \\ 4) \dots f_e &= b d \alpha_z + f d \beta_z \end{aligned} \right\} \text{Plattenbalken.}$$

In diesen für Platte und Plattenbalken fast gleich lautenden Formeln bezeichnet:

<sup>1)</sup> C. W. Kreidels Verlag, Wiesbaden 1912.

<sup>2)</sup> Tabellen zur Berechnung von kontinuierlichen Balken und doppelt bewehrter Konstruktionen.

<sup>3)</sup> Jahrg. 1912 Heft IX.

$f'_e$  den Druckeisenquerschnitt,  $f_e$  den Zugeisenquerschnitt,  $h$  die Platten- bzw. Plattenbalkenhöhe,  $d$  die Plattenstärke beim Plattenbalken.

Die Beiwerte  $\alpha_d$ ,  $\beta_d$ ,  $\alpha_z$  und  $\beta_z$  sind für verschiedene

Werte von  $m = \frac{\sigma_e}{n \sigma_b}$  unter der Annahme von  $h' = \frac{9}{10} h$

und  $a = a' = \frac{1}{10} h$  berechnet und in Listen zusammenge-

stellt, die überdies noch die zugehörigen Werte von  $\frac{x}{h}$  enthalten.

Zu den Formeln für die einfache Bewehrung gelangt man, wenn in obigen Gleichungen  $f'_e = 0$  gesetzt wird. So erhält man für die Platte:

$0 = \frac{M}{h} \frac{\alpha_d}{\sigma_b} - b h \beta_d$  und hieraus, wenn  $\frac{\alpha_d}{\beta_d} = \gamma$  geschrieben wird:

$$5) \dots M = \frac{b h^2}{\gamma} \sigma_b.$$

Aus 5) folgt  $h = \sqrt{\frac{M \gamma}{b \sigma_b}} = \sqrt{\frac{\gamma}{\sigma_b}} \cdot \sqrt{\frac{M}{b}}$  und schließlich

$$6) \dots h = r \sqrt{\frac{M}{b}}. \text{ Aus 2) ergibt sich dann}$$

$$7) \dots f_e = b h \alpha_z.$$

In ähnlicher Weise erhält man aus 3) die Gleichung  $0 = \frac{M}{h} \frac{\alpha_d}{\beta_d} - b h \beta_d$  und nach entsprechender Umstellung

$$8) \dots M = b \frac{d}{h} \frac{h^2}{\gamma} \sigma_b \text{ und hieraus}$$

$h = \sqrt{\frac{M}{b} \cdot \frac{h}{d} \cdot \frac{\gamma}{\sigma_b}} = \sqrt{\frac{h}{d} \cdot \frac{\gamma}{\sigma_b}} \cdot \sqrt{\frac{M}{b}}$  und schließlich

$$9) \dots h = r \sqrt{\frac{M}{b}}, \text{ wenn } r = \sqrt{\frac{h}{d} \cdot \frac{\gamma}{\sigma_b}} \text{ gesetzt wird.}$$

Aus 4) folgt wieder:

$$10) \dots f_e = b d \alpha_z.$$

Die Zusammenstellung I kann nun zur Lösung folgender Aufgaben benutzt werden:

a) Bestimmung des vorläufigen  $h$  für Platten, Balken und Plattenbalken bei einfacher Bewehrung.



$$M = 194 + 132,3 = 326,3 \text{ mkg}$$

$$h = 0,481 \sqrt{\frac{32630}{100}} = 8,68 \text{ cm}; h' = 0,9 \cdot 8,68 = 7,81 \text{ cm} (7,8)$$

$$f_e = 100 \cdot 8,68 \cdot 0,00542 = 4,7 \text{ qcm} (4,7).$$

Dafür 8 Rundeisen von 9 mm Durchm. mit 5,09 qcm; dann muß  $a = 7,81 + 0,45 + 1,0 = 9,26 \sim 9,5 \text{ cm}$  sein und bei  $a = 1,5 \text{ cm}$   $h' = 9,5 - 1,5 = 8 \text{ cm}$ .

Auf Seite 13 der Musterbeispiele ist die Nachprüfung mit 4,70 qcm durchgeführt anstatt mit 5,09 qcm; auch die Festsetzung der Entfernung der Eisen zeigt dasselbe Versehen. Uebrigens ist eine Nachprüfung der Spannungen hier kaum nötig, weil kein Zweifel besteht, daß die Spannungen etwas kleiner ausfallen als die der Rechnung zugrunde gelegten.

2. Freiaufliegende Decke von 2,0 m Lichtweite in einer Fabrik.

$$g' = 170 \text{ kg/m}^2, p = 100 \text{ kg/m}^2$$

$l = 0,05 \cdot 2 = 2,10$  erhöht auf 2,15 m wegen der erheblich größeren Nutzlast.

$$M' = \frac{1}{8} \cdot 1170 \cdot 2,15^2 = 675 \text{ mkg}.$$

Hier muß nach den amtlichen Vorschriften mit  $\sigma_b = 35$  und  $\sigma_e = 1000 \text{ kg/cm}^2$  gerechnet werden.

Aus Zusammenstellung I findet man:

$$h_1 = 0,481 \sqrt{\frac{67500}{100}} + 2,5 = 15 \text{ cm}; g_2 = 15 \cdot 24 = 360 \text{ kg/m}^2;$$

$$M'' = \frac{1}{8} \cdot 360 \cdot 2,15^2 = 208 \text{ mkg}.$$

$$M = 675 + 208 = 883 \text{ mkg}$$

$$h = 0,481 \sqrt{\frac{88300}{100}} = 14,3 \text{ cm}; h_1 = 14,3 \cdot 0,9 = 12,87 \text{ cm} (12,9)$$

$f_e = 100 \cdot 14,3 \cdot 0,00542 = 7,75 \text{ qcm} (7,76)$ , dafür 10 Rundeisen von 10 mm Durchm. mit 7,85 qcm.

Auf Seite 14 oben in den Musterbeispielen muß es statt Auflagerdruck zutreffender Querkraft am Auflager heißen.

Wird eine Nutzlast  $1,5 p = 1500 \text{ kg/cm}^2$  zugrunde gelegt, so darf mit  $\sigma_b = 40 \text{ kg/cm}^2$  und  $\sigma_e = 1200 \text{ kg/cm}^2$  gerechnet werden und es ist dann:

$$M' = \frac{1}{8} \cdot 1670 \cdot 2,15^2 = 963 \text{ mkg}$$

$$h_1 = 0,456 \sqrt{\frac{96300}{100}} + 1,66 = 15,5 \text{ cm}; g'' = \frac{15,5 \cdot 24}{372 \text{ kg/m}^2}$$

$$M = \frac{1}{8} (1670 + 372) \cdot 2,15^2 = 1176 \text{ mkg}$$

$h = 0,456 \sqrt{\frac{117600}{100}} = 15,64 \text{ cm}; f_e = 100 \cdot 15,64 \cdot 0,005 = 7,82 \text{ qcm}$ ; dafür Rundeisen wie oben.  $h$  ausgeführt 16 cm.

3. Befahrbare Hofkellerdecke von 3,0 m Stützweite zu berechnen.  $g' = 128 \text{ kg/m}^2$ . Lastwagen mit 2500 kg Raddruck, Spurweite 1,40 m, Achsabstand 3,0 m. Das vorläufige Moment  $M'$  ergibt sich entsprechend dem Rechnungsvorgang in den Musterbeispielen.

$$B' = 0,767 \cdot 1250 + 128 \cdot \frac{3,0}{2} = 1151 \text{ kg}$$

$$M' = 1151 \cdot 1,15 - \left( 128 \cdot \frac{1,15^2}{2} + \frac{1250}{0,34} \cdot \frac{0,17^2}{2} \right) = 1186 \text{ mkg}.$$

Für  $\sigma_b = 35 \text{ kg/cm}^2$  und  $\sigma_e = 900 \text{ kg/cm}^2$  hat man

$$h_1 = 0,468 \sqrt{\frac{118600}{100}} + 285 = 19 \text{ cm}; g'' = \frac{19 \cdot 24}{456 \text{ kg/m}^2} \text{ und}$$

$$B = 0,767 \cdot 1250 + \frac{128 + 456}{2} \cdot 3,0 = 1835 \text{ kg}$$

$$M = 1835 \cdot 1,15 - \left( \frac{128 \cdot 456}{2} \cdot 1,15^2 + \frac{1250}{34} \cdot 0,17^2 \right) = 1672 \text{ mkg}$$

$$h = 0,468 \sqrt{\frac{167200}{100}} = 19,14 \text{ cm}; h' = 19,14 \cdot 0,9 = 17,23 \text{ cm}$$

$f_e = 100 \cdot 19,14 \cdot 0,00645 = 12,36 \text{ qcm}$ , dafür 8 Rundeisen von 14 mm Durchm. mit 13,32 qcm

$$h = 17,23 + 0,7 + 1 = 18,93 \sim 19 \text{ cm}.$$

4. Wohnhausdecke: Durchgehende Platte über vier Felder. Entfernung der Rippen von Mitte 2,80 m.  $g' + p = 100 + 250 = 350 \text{ kg/m}^2$ . Die Plattenstärke wird aus dem Moment im Endfeld gewonnen. Dasselbe kann nach den amtlichen Vorschriften als Balken auf

2 Stützen, der an der Rippe eingespannt ist, angesehen werden (§ 16 Z. 8). Es ist dann:

$$M' = \frac{1}{11} \cdot 350 \cdot 2,80^2 = 249,5 \text{ mkg}; \text{ für } \sigma_b = 40 \text{ und } \sigma_e =$$

1200 kg/cm<sup>2</sup> ist wieder aus Zusammenstellung I

$$h_1 = 0,456 \sqrt{\frac{24950}{100}} + 1,8 = 9 \text{ cm}; \text{ um der amtlichen Vor-$$

schrift zu genügen nehmen wir  $h = 10 \text{ cm}$  oder rechnen mit  $\sigma_b = 35$  und  $\sigma_e = 1000 \text{ kg/cm}^2$ . Es ist dann

$$g'' = 10 \cdot 24 = 240 \text{ kg/m}^2 \text{ und } M = \frac{1}{8} \cdot 590 \cdot 2,80^2 = 420,5 \text{ mkg}$$

$$h = 0,456 \sqrt{\frac{42050}{100}} = 9,35 \text{ cm}; h' = 9,35 \cdot 0,9 = 8,42 \text{ cm} (8,40) \text{ und}$$

$$f_e = 100 \cdot 9,35 \cdot 0,005 = 4,68 \text{ qcm}.$$

In dem Musterbeispiel Seite 16 ist  $f_e$  mit 4,75 qcm berechnet, weil versehentlich  $f_e = 0,566 \cdot 8,4$  und nicht  $0,556 \cdot 8,4 = 4,67 \text{ qcm}$  geschrieben ist.

Gewählt 12,5 Rundeisen von 7 mm Durchm. mit  $f_e = 4,81 \text{ qcm}$ ; damit ist  $h = 8,42 + 0,35 + 1,0 = 9,77 \text{ cm} \sim 10 \text{ cm}$ ; mit letzterem Wert hat man  $h' = 10 - 1,35 = 8,65 \text{ cm}$ ; genommen 8,60 cm.

Die Berechnung der Eisen für das Moment am Anfang der Schräge  $M_a = 380 \text{ mkg}$  kann besser als in den Musterbeispielen bewirkt werden; die Annahme der Eisen und die nachträgliche Ermittlung der Spannungen ist zu unsicher und kann die Wiederholung der Rechnung erforderlich machen. Sicherer ist nachstehender Vorgang.

Nimmt man  $h' =$  wie vorhin mit 8,60 an, so ist das rechnungsmäßige  $h = 8,60 \cdot \frac{10}{9} = 9,56 \text{ cm}$ ; damit ist

$$r = \frac{9,56}{\sqrt{\frac{38000}{10}}} = 0,490; \text{ dieses liegt in Zusammen-$$

stellung I zwischen 0,456 und 0,508 für  $\sigma_e = 1200 \text{ kg/cm}^2$  und man ermittelt  $\alpha_e = 0,00399 +$

$$(0,00500 - 0,00399) \cdot \frac{18}{52} = 0,00434 \text{ und damit ist } f_e = 100 \cdot$$

$$9,56 \cdot 0,00434 = 4,15 \text{ qcm} \text{ und weiter}$$

$$\sigma_b = 35 + (40 - 35) \cdot \frac{18}{42} = 36,7 \text{ kg/cm}^2.$$

In den Musterbeispielen ist die Nachprüfung mit einem Moment 37 800 anstatt 38 000 cmkg durchgeführt.

Der hier eingeschlagene Weg kann auch mit Hilfe der Tafel I der Musterbeispiele verfolgt werden. Man hat dann

$$r = \frac{8,60}{\sqrt{\frac{38000}{100}}} = 0,442 \text{ und findet dortselbst den Wert}$$

$$0,447 \text{ und damit } \sigma_b = 36 \text{ kg/cm}^2,$$

$\sigma_e = 1200 \text{ kg/cm}^2, f_e = 0,466 \cdot 8,6 = 4,01 \text{ qcm}$  oder genauer:

$$\alpha_e = 0,466 + (0,510 - 0,466) \cdot \frac{5}{19} = 0,478 \text{ und}$$

$$f_e = 0,478 \cdot 8,6 = 4,11 \text{ qcm} \text{ und } \sigma_b = 36 + 2 \cdot \frac{5}{19} = 36,53 \text{ kg/cm}^2.$$

In gleicher Weise wird man die Zahl der Eisen, die die Momente im Mittelfeld erfordern, festsetzen, anstatt sie anzunehmen. Für das Moment 23 200 cmkg hat man:

$$r = \frac{8,6}{\sqrt{232}} = 0,565; \text{ dieser Wert liegt ungefähr in der}$$

Mitte zwischen den Werten, die  $\sigma_b = 26$  und  $28 \text{ kg/cm}^2$

entsprechen, also ist  $\sigma_b = 27 \text{ kg/cm}^2$  und  $f_e = \frac{0,266 + 0,302}{2}$ .

$8,6 = 2,50 \text{ qcm}$ ; dafür 7 Rundeisen von 7 mm Durchm. mit 2,70 qcm, sodaß  $\sigma_e$  etwas kleiner als  $1200 \text{ kg/cm}^2$  ausfallen wird.

Die Darstellung der Form der Eisen kann bei dieser Aufgabe der Musterbeispiele aber kaum als mustergültig angesehen werden; insbesondere ist nicht klargestellt, wie weit die einzelnen Eisen reichen.

(Schluß folgt.)

Inhalt: Der Eisenbeton im internationalen Wettbewerb um die Limfjord-Brücke bei Aalborg (Dänemark). (Schluß.) — Die Querschnittsbestimmung von einfach und doppelt bewehrten Platten, Balken und Plattenbalken und die amtlichen Musterbeispiele. —

Verlag der Deutschen Bauzeitung, G. m. b. H., in Berlin.  
Für die Redaktion verantwortlich: Fritz Eisele in Berlin.  
Buchdruckerei Gustav Schenck Nachf. P. M. Weber in Berlin.