DIE BAUTECHNIK

5. Jahrgang BERLIN, 27. Mai 1927. Heft 23

Alle Rechte vorbehalten.

Entwurfsarbeiten für das Schiffshebewerk bei Niederfinow.

Von Ministerialrat Dr.-Ing. **Ellerbeck.**

Nach einem Vortrage, gehalten am 25. Februar 1927 in der Preußischen Akademie des Bauwesens (gekürzt).

Der Abstieg des Hohenzollernkanals bei Niederfinow überwindet den rd. 36 m betragenden Höhenunterschied zwischen der Scheitelhaltung des Kanals und der Haltung im Tal der Alten Oder. Nach Maßgabe des preußischen Wasserstraßengesetzes vom 1. April 1905 sollten dort eine Schleusentreppe und neben dieser eine geneigte Ebene, ein Schiffshebewerk oder eine zweite Schleusentreppe errichtet werden. Die Schleusentreppe wurde alsbald erbaut und 1914 in Betrieb genommen, sie besteht aus vier Stufen von je 9 m Gefälle, die Schleusen sind sogenannte Verbundschleusen,[1]) vergl. den Lageplan, Abb. 1, oberer Arm. Der bauliche Zustand dieser Schleusentreppe ist indes nicht einwandfrei, und daher die Errichtung eines zweiten Abstiegbauwerks nunmehr besonders dringend. Nach Fertigstellung des Hebewerks wird die Schleusentreppe für eine gewisse Zeit außer Betrieb genommen und instand gesetzt werden müssen.

Die Untersuchungen darüber, ob das zweite Abstiegbauwerk zweckmäßig als geneigte Ebene, als Schiffshebewerk oder als Schleusentreppe hergestellt wird sowie die Entwurfsarbeiten für solche sind, abgesehen von einer Unterbrechung durch den Krieg, fast dauernd fortgesetzt. Ihre lange Dauer läßt die Größe der vorliegenden Schwierigkeiten erkennen. Die Untersuchungen haben zu dem Ergebnis geführt, daß aus technischen und wirtschaftlichen Gründen die Errichtung eines Schiffshebewerks an der im Lageplan bezeichneten Stelle vorzuziehen ist. Die folgenden Zeilen sollen in knappster Form die für ein solches Hebewerk aufgestellten Entwürfe behandeln.

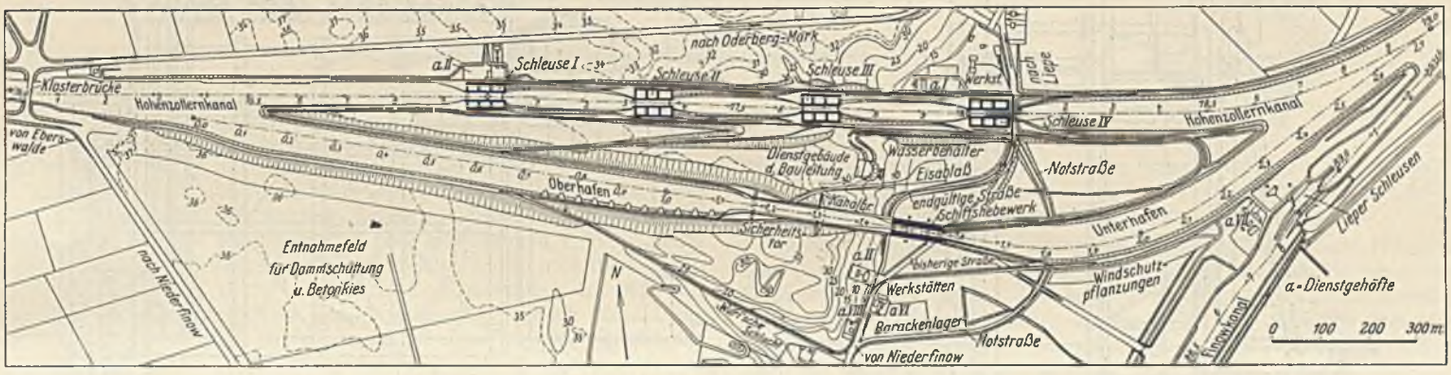


Abb. 1. Übersichtsplan für den zweiten Abstieg des Hohenzollernkanals bei Niederfinow.

Einleitung, bestehende Hebewerke.

Das älteste Schiffshebewerk ist bekanntlich das in England nach einem Entwurf von 1796 bereits 1838 errichtete Hebewerk im Grand-Western-Canal (Abb. 2), das Schiffe von 8 t Gewicht 14 m hochhebt. Es besteht aus zwei hölzernen Trögen, die durch Gallsche Ketten miteinander verbunden sind und sich gegenseitig das Gleichgewicht halten. Die Ketten laufen über drei Kettenrollen von 5 m Durchm., deren mittlere mit Zahnkranz, Handantrieb und Bremsen versehen ist. Die Kraft zur Bewegung wird durch Wasserüberlast oder -unterlast erzeugt. Das Gewicht der laufenden Ketten wird durch Belastungsketten ausgeglichen, die an die Tröge angehängt sind. Die Tröge treten in wasserfreie Kammern. Als End- und Haltungsabschlüsse dienen gußeiserne Schützen in gußeisernem Rahmen, zur Dichtung des Anschlusses an die Haltung Flechtwerk aus geteerten Tauen. Dieses wird an der unteren Haltung durch einen Keil selbsttätig angepreßt, an der oberen Haltung durch Schrauben von Hand.

Die Wasserfüllung eines Troges ist weniger als $^1/_{100}$ des für Niederfinow erforderlichen Troginhaltes.

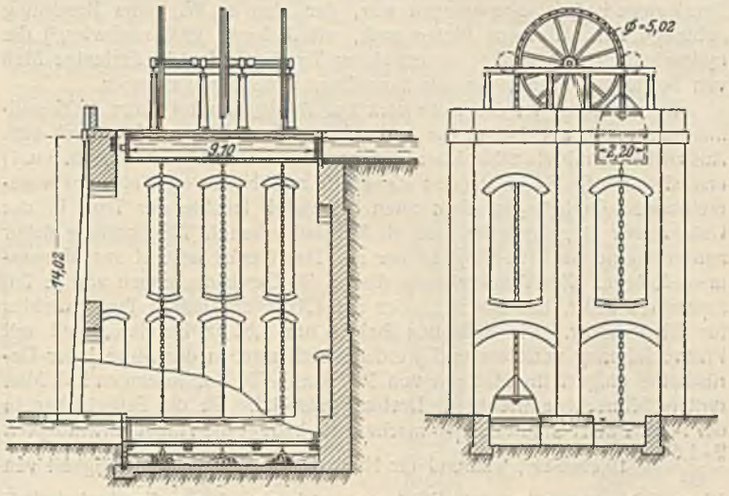
Von größerer Bedeutung sind die hydraulischen Hebewerke, deren Tröge auf Druckwasserkolben ruhen. Sie haben stets zwei Tröge, die mit Wasser gefüllt sind und einander nach dem Prinzip der hydrostatischen Wage das Gleichgewicht halten. Der Wasserdruck auf die Kolben beträgt 25 bis 50 at.

[1]) Zentralbl. d. Bauverw. 1897, S. 108.

Das erste derartige Bauwerk ist das im Jahre 1875 bei Anderton in England errichtete Hebewerk, das aber im Jahre 1906 in ein Hebewerk mit Gewichtsausgleich — Auswuchtung — durch Gegengewichte an Drahtseilen umgebaut ist.

Das zweite Doppelhebewerk mit Preßkolben, bei Les Fontinettes in Nordfrankreich, wurde 1888 in Betrieb genommen. Es liegt neben einer fünfstufigen Schleusentreppe und hebt 300-t-Schiffe 13,1 m hoch. Die Kolben haben 2 m Durchm. und stehen unter 25 at Wasserdruck entsprechend einer Hubkraft von 785 t, das sind rd. $^3/_{16}$ der für Niederfinow erforderlichen Hublast. Das Hebewerk hat eine trockene Trogkammer, den Abschluß von Trog und Haltung bilden Hubtore, zur Dichtung des Spaltes zwischen den Abschlüssen von Haltung und Trog dienen Dichtungsschläuche, die mit Druckwasser gefüllt werden. Diese Schläuche sollen sich bewährt haben, müssen aber alle zwei Jahre erneuert werden. Ein Modell des Hebewerks war 1926 in Basel ausgestellt.

Das nahezu gleichzeitig fertiggestellte Schiffshebewerk im Canal du Centre bei La Louvière in Belgien hebt Schiffe von 300 t Tragfähigkeit auf 15,4 m Höhe. Nach seinem Vorbilde sind in demselben Kanal drei weitere Hebewerke mit zusammen 50,8 m Gefälle errichtet; mit der Herstellung war 1909 begonnen, die durch den Krieg unterbrochenen Arbeiten wurden auf Veranlassung der deutschen Heeresverwaltung fortgesetzt und unter deren Leitung die Hebewerke 1917 dem Betrieb übergeben. Bei dem stärksten von ihnen beträgt die Hubkraft 1570 t, das sind rd. $^3/_8$ der Hublast bei Niederfinow.



Langenschnitt. Querschnitt.

Abb. 2. Doppelhebewerk mit Gewichtsausgleich im Grand-Western-Kanal 1796. 1838.

Über diese Hebewerke findet sich in der „Bautechnik" 1925, Heft 38, ein ausführlicher Bericht des Regierungs- und Baurats Sperling, auf den verwiesen wird.

Endlich sind in Kanada im Trent-Canal in den Jahren 1903 und 1907 zwei hydraulische Schiffshebewerke bei Peterborough und Kirkfield errichtet;[2]) das erstere hebt Tröge von 42,7 m Länge, 10,06 m Weite und 2,44 m Wassertiefe, dementsprechend mit einer Wasserlast von 1100 t, also nahezu der Hälfte der in Niederfinow zu hebenden Wasserlast, 19,80 m hoch.

Das Hebewerk bei Kirkfield hat 15,24 m Gefälle.

Für mäßige Lasten ist das System des hydraulischen Hebewerks zweckmäßig, es bietet aber auch dann schon erhebliche Herstellungs- und Betriebsschwierigkeiten. Für ganz große Lasten könnte der Trog nicht auf einen Kolben gesetzt werden, bei Anordnung mehrerer Kolben stellt aber die Parallelführung eine fast unlösbare Aufgabe dar, die von Hoech im Zentralbl. d. Bauverw. 1891, S. 142 u. f. eingehend behandelt wird. Für große Lasten kommt es daher wohl nicht in Betracht. Tatsächlich ist denn auch weder zum österreichischen Wettbewerb 1895, noch in den späteren Wettbewerben, insbesondere für Niederfinow, auch nur ein einziger Entwurf zu einem hydraulischen Hebewerk eingereicht, während zum Wettbewerb zu dem Henrichenburger Hebewerk 1893 noch ein Entwurf mit Druckwasserkolben eingegangen war, der aber m. W. keine Beachtung gefunden hat. Übrigens bieten auch, wie Jebens 1905 nachwies,[3]) die hydraulischen Hebewerke bei etwaigem Trogleerlauf nicht dasjenige Maß von Betriebssicherheit, das wir neuerdings unbedingt verlangen.

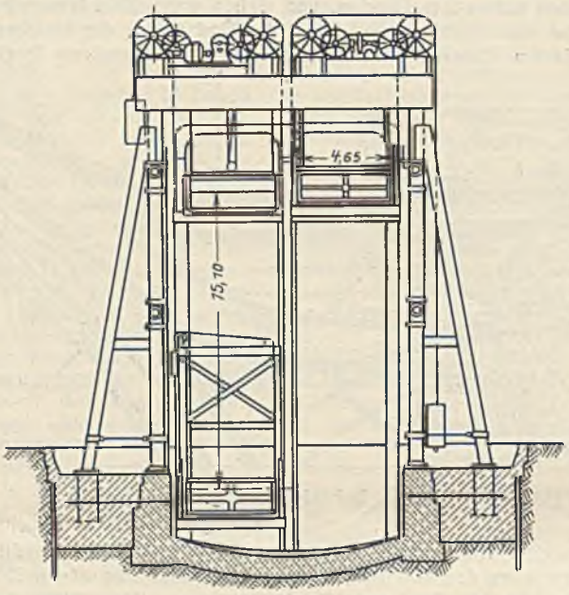


Abb. 3. Querschnitt.

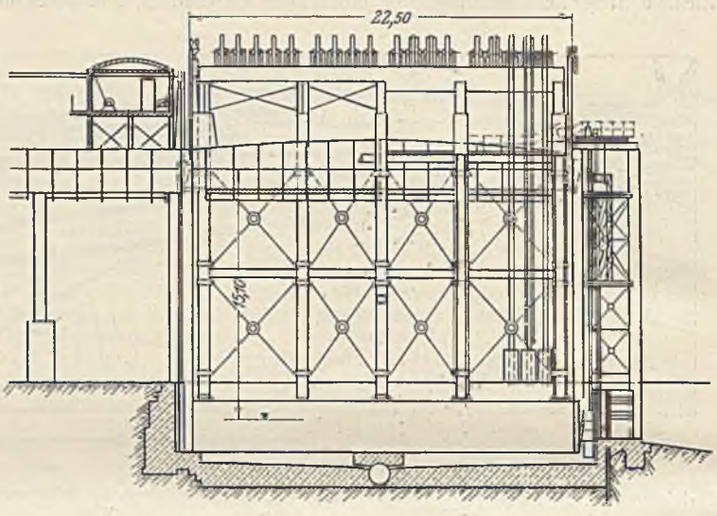


Abb. 4. Längsschnitt.

Abb. 3 u. 4. Hebewerk mit Gegengewichten an Drahtseilen in Anderton (England) 1906.

Wie erwähnt, ist das Hebewerk bei Anderton im Jahre 1906 vollkommen umgebaut, indem der hydraulische Gewichtsausgleich durch eine Auswuchtung mittels zahlreicher Gegengewichte an Drahtseilen (Abb. 3 u. 4) ersetzt wurde.[4]) So entstanden eigentlich zwei Hebewerke auf einem gemeinsamen Gerüst. Bei dem alten Hebewerk tauchte der Trog in das Unterwasser ein, das hatte man als Nachteil erkannt. Man ordnete daher zunächst eine trockene Trogkammer an. Das Gerüst besteht aus Mannesmann-Rohren. Zur Auswuchtung dienen 36 Gewichtsgruppen von je 7 t, zusammen 252 t, das sind 6 % des auf 4200 t ermittelten Troggewichtes für Niederfinow. Die Seilrollen haben nur 1,84 m Durchm., sind mit Pfeilverzahnung versehen und werden durch zwei in der Mitte jeder Gerüsthälfte aufgestellte Motoren von 30 PS mit 750 Umdrehungen i. d. Min. mittels Schneckenantriebes in Drehung versetzt. Da die Seilscheiben in der Minute zwei Umdrehungen machen, so beträgt die Hubgeschwindigkeit $\frac{2 \cdot 1{,}84}{60} = 19$ cm/Sek., während für Niederfinow eine Geschwindigkeit von 12 cm/Sek. vorgesehen ist. Will man sich von dieser Geschwindigkeit ein Bild machen, so möge man sich vorstellen, daß bei einer Geschwindigkeit von 12 cm/Sek. zur Zurücklegung eines Kilometers 2 Stunden und 19 Minuten gebraucht werden.

Bei einem Hebewerk muß man mit der Möglichkeit rechnen, daß, etwa durch einen Unfall, so insbesondere durch Leckwerden und mehr oder minder schnelles Leerlaufen des Troges, außerordentliche Gleichgewichtstörungen eintreten könnten. In Anderton dient die beschriebene Antriebsvorrichtung auch zum Festhalten des Troges bei solchen außerordentlichen Gleichgewichtstörungen; da aber bei etwaigem Leerlaufen des Troges zu befürchten wäre, daß die Seile auf den gebremsten Rollen gleiten, so sind vier besondere Seile angeordnet, die sich auf Trommeln auf- und abwickeln und in solchem Falle den Trog festhalten.

Während bei der für Niederfinow in Aussicht genommenen Anordnung die Gegengewichte mit ihren Seilen und Rollen nur eine Aufgabe haben sollen, nämlich die der Auswuchtung, haben demnach diese Teile hier eine mehrfache Aufgabe: 1. das Auswuchten, 2. den Antrieb, 3. die Bremsung und das Festhalten bei Trogleerlauf, wobei zur Mitwirkung im letzteren Falle die besonderen auf Trommeln leer mitlaufenden Seile vorhanden sind, 4. die Parallelführung des Troges (Verhinderung einer Schiefstellung).

Leider wird es nicht möglich sein, in gleich einfacher Weise in Niederfinow die $16\frac{1}{2}$fache Last auf doppelte Höhe zu heben. Für die an zweiter bis vierter Stelle aufgeführten Aufgaben sind daher in dem neu mitgeteilten Entwurf besondere Organe vorgesehen (Abb. 28 u. f.).

Bei dem bedeutendsten der bestehenden Schiffshebewerke, dem bei Henrichenburg,[5]) dienen zur Auswuchtung bekanntlich fünf große Tauchzylinder von zusammen rd. 2400 t Auftrieb-Überschuß, das sind $\frac{4}{7}$ des für Niederfinow vorgesehenen Troggewichtes. Antrieb, Parallelführung und Bremsung, auch bei außerordentlichen Gleichgewichtstörungen, werden durch vier Schraubenspindeln vermittelt. Diese sind zwar für sich allein nicht vollkommen selbstsperrend, können aber im Zusammenwirken mit den magnetischen Antriebsbremsen den Trog auch im Falle des Leerlaufs sicher festhalten. Der Hub beträgt rd. 14 m. Zum Abschluß von Trog und Haltungen dienen Hubtore, zur Dichtung des Spaltes zwischen den Abschlüssen Keilrahmen mit Gummiwulsten. Bezüglich der Einzelanordnungen verweise ich auf die in der Fußnote angegebenen Veröffentlichungen; bemerken möchte ich nur, daß durch das Ein- und Austauchen der Einsteigeschächte auf den Tauchkörpern und den Trogstützen eine Gleichgewichtsstörung eintritt, die den Betrieb erschwert. Sie ließe sich verhältnismäßig leicht beseitigen.

Abb. 5 gibt eine Patentzeichnung[6]) des Ingenieurs Baurat Jebens in Ratzeburg wieder, die eine weitgehende Übereinstimmung mit dem ausgeführten Hebewerk erkennen läßt. Jebens hat die Schraubenspindelführung angegeben und ist daher in erster Linie als Urheber des Hebewerkentwurfs anzusehen. Schwimmer waren schon 1883 von dem französischen Ingenieur Seyrig in einer französischen Zeitschrift vorgeschlagen, aber in Verbindung mit Preßkolben. Jebens hat sich auch später noch durch zahlreiche Entwürfe und Veröffentlichungen an der Entwicklung der Hebewerke beteiligt. Charakteristisch für seinen rastlosen Erfindergeist war der Optimismus, mit dem er stets jedesmal den neuesten seiner zahlreichen Vorschläge für den geeignetsten und endgültigen hielt; noch im März 1912 schreibt er einmal, nachdem er schon so viele Entwürfe vorgelegt hatte: „Mir ist es erst vor etwa drei Wochen gelungen, den richtigen Grundgedanken zu finden für ein Schiffshebewerk bei Niederfinow." Annahme fanden seine Vorschläge für Niederfinow nicht, doch wurde ihm im Dezember 1912 zur Anerkennung der Charakter als Baurat verliehen.

Der Trog des Henrichenburger Hebewerks hat 68 m Länge, 8,6 m

[2]) Zeitschr. d. V. d. I. 1904, S. 326, 1589; 1907, S. 799; 1916, S. 801.
[3]) Glasers Annalen 1905, Bd. 56, S. 30.
[4]) The Engineer 1908, S. 82; Engin. News 1908, S. 616.
[5]) Vergl. Ztschr. f. Bauw. 1901, S. 278; Zentralbl. d. Bauverw. 1895, S. 509; 1896, S. 308; Ztschr. d. V. d. I. 1899, S. 941.
[6]) D. R. P. 80531.

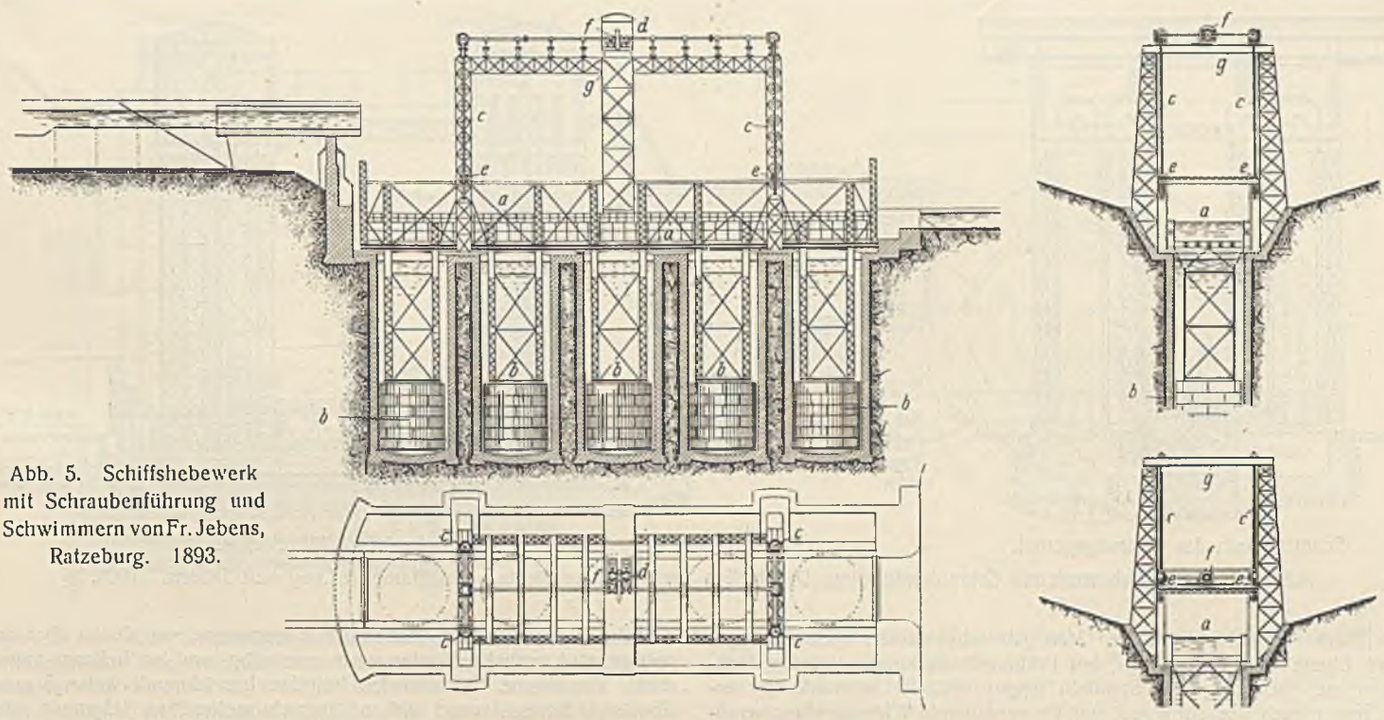


Abb. 5. Schiffshebewerk mit Schraubenführung und Schwimmern von Fr. Jebens, Ratzeburg. 1893.

nutzbare Breite und 2,5 m Wassertiefe, seine Wasserfüllung beträgt 1550 m³. Die älteren Entwürfe für Niederfinow sahen ungefähr die gleiche Troggröße vor; nur sollte die nutzbare Breite von 8,6 auf 9,6 m vergrößert werden, was zu einer Füllmenge von 1660 m³ führte, d. i. 7½ % mehr. Dem entsprechen die älteren Entwürfe. Später wollte man die nutzbare Breite von 9,6 m auf 10 m vergrößern. Erst neuerdings hat man sich entschlossen, erheblich größere Trogabmessungen, nämlich 85 m Länge und 12 m nutzbare Breite zu verlangen, geeignet für die gleichzeitige Durchführung von vier Finowkähnen und für einen 1000-t-Kahn. Das führt zu einer Trogfüllung von rd. 2600 m³ und bedeutet gegenüber der Troggröße des Henrichenburger Hebewerks eine Vergrößerung um rd. 68 %, also auf das 1⅔fache.

Die vorstehenden Angaben über die bestehenden Hebewerke lassen erkennen, daß keins von diesen in seinen Ausmaßen, insbesondere hinsichtlich der Hubhöhe und der Troggröße, mit dem für Niederfinow geplanten auf eine Stufe zu stellen ist; durch die Ausführung in Niederfinow wird also ein bedeutsames und einzigartiges Bauwerk erstehen.

Hebewerkentwürfe.

A. Ältere Entwürfe.

Für das Schiffshebewerk bei Niederfinow waren schon anläßlich der Vorbereitung des Gesetzentwurfes für den Großschiffahrtsweg Berlin—Stettin 1898 drei Firmen zur Vorlage von Entwürfen gegen eine Vergütung von je 4000 Mark ersucht worden. Nach Prüfung der eingegangenen Entwürfe wurden zwei Firmen um weitere Durcharbeitung gebeten, aber schließlich auch die durchgearbeiteten Entwürfe, in erster Linie wegen der hohen Kosten, abgelehnt. Da alle diese Entwürfe geneigte Ebenen betrafen, die man damals für eine Hebung auf 36 m noch für zweckmäßig hielt, so darf ich sie hier übergehen. Inzwischen hatte aber Jebens zusammen mit der Firma Haniel & Lueg einen neuen Entwurf für ein senkrechtes Hebewerk eingereicht, für den ihm auch 4000 Mark zugestanden wurden. Er sieht Auswuchtung durch Gegengewichte an Drahtseilen in Verbindung mit Schraubenspindeln vor. Eine solche Anordnung war übrigens schon damals nichts Neues. Abb. 6 zeigt einen Hebewerkentwurf der Firma Haniel & Lueg für 25 m Hub aus dem Wettbewerb für den Donau-Moldau-Elbe-Kanal 1895.[1]) Der Entwurf zeigt viel Übereinstimmung mit unseren neuesten Entwürfen; er zeigt insbesondere schon die Hauptvorteile eines solchen Gewichtsausgleichs: Trog und Gegengewichte bewegen sich nur lotrecht, die bewegten Teile sind auf ein Mindestmaß beschränkt. Wegen der weitgehenden Unterteilung haben Gegengewichte, Seile, Rollen, Rollenlager usw. im einzelnen verhältnismäßig nicht sehr große Abmessungen, sie sind in vielfacher Wiederkehr einander gleich; die Belastung des Baugrundes ist unveränderlich. Aber auch den Hauptnachteil: die Vielheit der bewegten Teile. Auch hier sollte schon die Gleichgewichtstörung, die durch das Gewicht der sich abrollenden Seile herbeigeführt wird, ausgeglichen werden. Die umlaufenden Schraubenspindeln wirken ähnlich wie in Henrichenburg. Damals wollte man, um ein Gefälle von 100 m zu überwinden, vier solche Hebewerke hintereinander errichten.

Jebens ist kühner, er schlägt für Niederfinow gleich ein Hebewerk von 36 m Hubhöhe vor (Abb. 7); dabei sollten die Spindeln aus je drei Stücken gestoßen werden. Die Spindeln sollten nicht, wie in Henrichenburg, umlaufen, sondern feststehen, also die Muttern umlaufen, was naheliegende Vorteile bietet. Es hat zur Folge, daß der Motor auf dem Trog, nicht auf dem Gerüst aufzustellen ist.

Der Grundsatz einer möglichst weitgehenden Unterteilung der Gegengewichte ist verlassen, es sollten nur vier Gruppen von je acht Gegengewichten zu je 90 t angeordnet werden, was einem Gesamtgewicht von 2880 t entspricht. Als Drahtseile waren 8 cm starke patentverschlossene Kabel aus Stahl von 135 kg/mm² Festigkeit vorgesehen, die Rollen sollten 6 m Durchm. erhalten. Die Gegengewichte sind auf dem Führungsturm für die Spindeln zusammengezogen, wodurch erreicht wird, daß die Stützung im Falle des Trogleerlaufs von der gleichen Stelle aus stattfindet wie im gewöhnlichen Betriebe, im übrigen werden aber dadurch die Lasten in ungünstiger Weise zusammengedrängt, was zu stark belasteten Seilen und Lagern führt. Zur Dichtung sollten Keilrahmen dienen. Das Spaltwasser sollte sich an der oberen Haltung in eine besondere Sammelrinne ergießen und bei der Abwärtsfahrt als Ballast dienen. Auf einen Ausgleich des Seilgewichtes wollte Jebens verzichten. Abgelehnt wurde der Entwurf wegen der hohen Kosten, die auf 6,9 bis

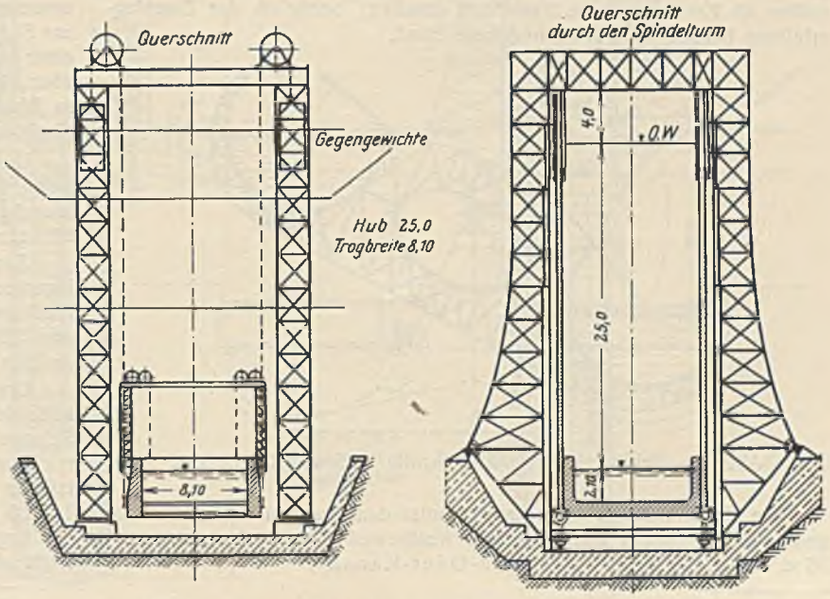
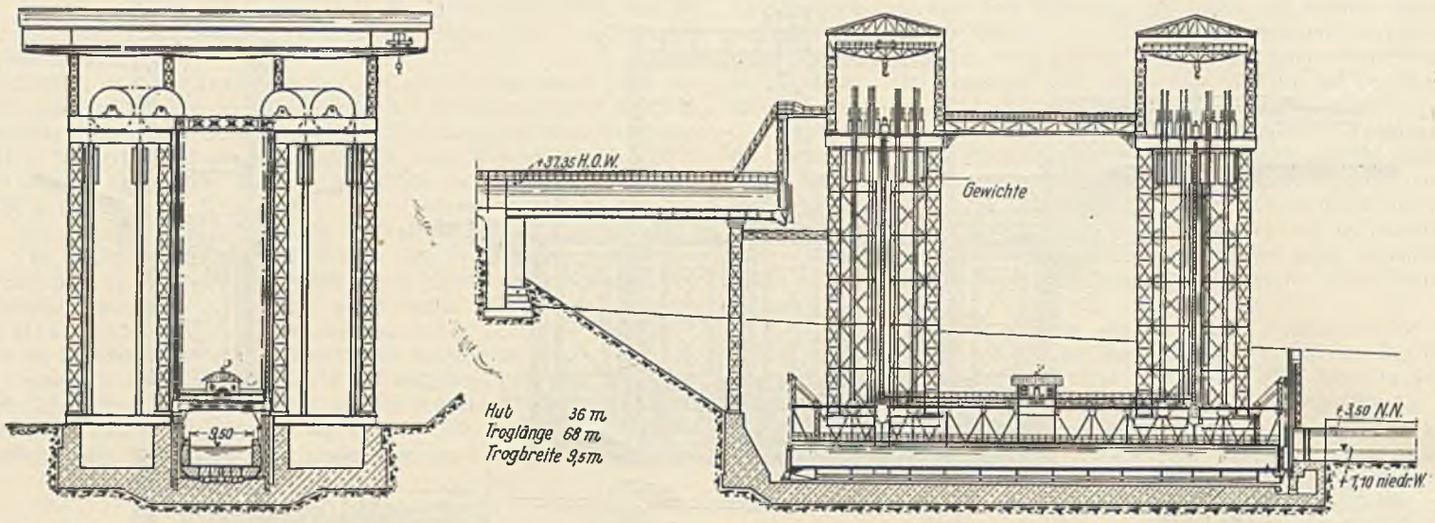


Abb. 6. Hebewerk mit Gegengewichtsausgleich von Haniel & Lueg. 1895.

[1]) Riedler, Neuere Schiffshebewerke, Berlin 1897.



Schnitt durch das Führungsgerüst. Schnitt durch die Mittelachse.

Abb. 7. Schiffshebewerk mit Schraubenführung, Drahtseilen und Gegengewichten von Haniel & Lueg und Jebens. 1900.

8 Mill. Mark veranschlagt waren. Man gab dabei damals noch einer geneigten Ebene den Vorzug. In den Prüfungsbemerkungen werden Maßnahmen zur Sicherung der Spindeln gegen seitliche Schwankung verlangt, ferner auch Vorkehrungen, um die zerstörende Wirkung eines herabfallenden Gewichtes aufzuheben.

1901 reichte Jebens den Entwurf zu einer quergeneigten Ebene mit Schraubenführungen ein.

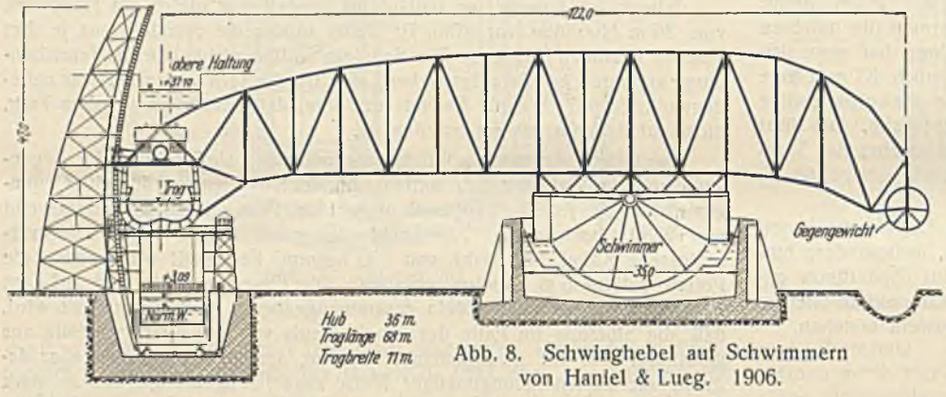


Abb. 8. Schwinghebel auf Schwimmern von Haniel & Lueg. 1906.

B. Wettbewerb 1906.

Nach Verabschiedung des preußischen Wasserstraßengesetzes vom 1. April 1905 wurde alsbald im Jahre 1906 unter einer Reihe von bedeutenden deutschen Firmen ein Wettbewerb zur Gewinnung eines allgemeinen Entwurfs für diesen zweiten Abstieg veranstaltet. Die Bewerber sollten als Kostenersatz je 5000 Mark erhalten; bezüglich der Zuschlagerteilung behielt die Verwaltung freie Hand.

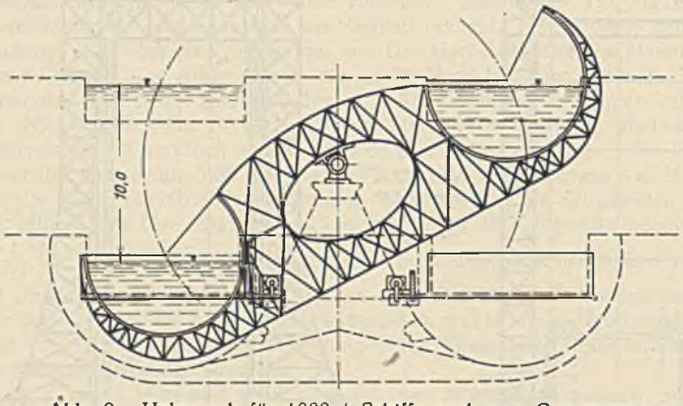


Abb. 9. Hebewerk für 1000-t-Schiffe nach von Caenegem.

Die Hebewerkfrage stand damals unter dem Zeichen des soeben abgeschlossenen großen internationalen Wettbewerbs für ein Hebewerk mit 36 m Hub bei Prerau im Donau-Oder-Kanal.[8])

Zu diesem waren 204 Entwürfe eingegangen, von denen aber nur 10 preisgekrönt, angekauft oder sonst gewürdigt und so bekannt geworden sind. Von diesen 10 Entwürfen betrafen bezeichnenderweise 5 geneigte Ebenen, 4 Sparschleusen und nur einer ein senkrechtes Hebewerk, nämlich den mit dem zweiten Preise ausgezeichneten Hubzylinder (oder Hubtrommel) des Ingenieurs Umlauf in Wien.

Dieser Zylinder kehrt in dem Wettbewerb für Niederfinow wieder als Entwurf der Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg (M. A. N.), den Abb. 12 darstellt.

Zu dem deutschen Wettbewerb für Niederfinow gingen im ganzen von sechs Firmen 10 Entwürfe ein. Von diesen betrafen 3 geneigte Ebenen und einer eine Sparschleuse, so daß ich nur 6 zu besprechen habe.

Die Entwürfe wurden zunächst durch die Verwaltung geprüft und alsdann der Akademie des Bauwesens zur Begutachtung vorgelegt.

Der Entwurf der Firma Haniel & Lueg zu einem Hebewerk mit Schwinghebeln auf Schwimmzylinder (Abb. 8) mußte wegen zu hoher Kosten ausscheiden. Es waren acht Hebel von 122 m Länge vorgesehen; der dargestellte Schwimmzylinder hat 30 m Durchm., er trägt zwei seitliche Wasserbehälter; um eine Bewegung herbeizuführen, sollte Wasser von dem einen Behälter in den anderen gepumpt werden. Zwei Zapfenführungen an den Zylinderstirnen gestatten gewisse lotrechte und seitliche Bewegungen. Der Trog ist starr mit den Hebeln verbunden, steht also, abgesehen von der Mittellage, schräg, so daß das Wasser relativ zum Trog kleine Seitenschwankungen ausführen muß. Er wird in der untersten Stellung verriegelt. Im übrigen waren besondere Maßnahmen zur Sicherung bei Trogleerlauf nicht vorgesehen. Gelangt der Trog infolge einer solchen in eine Aufwärtsbewegung, so wird er sich zwar ein wenig über die normale Höchstlage heben, dann tauchen aber die Gegengewichte in Wasser ein und setzen sich auf, so daß der Trog feststeht; damit glaubten die Entwurfsverfasser der Sicherheit Genüge geleistet zu haben.

Der Entwurf hat vor anderen Wagebalkenentwürfen den unverkennbaren, freilich teuer erkauften Vorzug, daß die sonst zur Auflagerung der Wagebalken und zur gelenkigen Aufhängung des Troges erforderlichen schweren Lager, die vielleicht unausführbar sind, wegfallen.

Zum Vergleich zeigt Abb. 9 den neuen Entwurf des belgischen Ingenieurs Caenegem zu einem doppelten Schiffshebewerk von 10 m Hubhöhe für den geplanten Kanal Lüttich—Antwerpen. Ein Modell davon war 1926 in Basel ausgestellt, die Abbildung ist der Zeitschrift „Navigation du Rhin“ vom 15. Januar 1927 entnommen.

Ungefähr das gleiche Schicksal wie der Vorschlag von Haniel & Lueg hatte der von der Gutehoffnungshütte eingereichte Entwurf zu einem Schraubenturm nach Patent Oelhafen-Löhle (Abb. 10),[9]) so sinnreich auch der Grundgedanke dieser Anordnung ist. In einem zweiteiligen runden Turmgerüst befinden sich schraubenförmig steigende, 1 : 14,5 geneigte Schienenbahnen, auf denen bezw. zwischen denen sich ein ringförmiger Drehwagen auf- und abwärts bewegt. Der Drehwagen stellt also gewissermaßen eine Schraubenspindel dar, deren Mutter das

[8]) Zentralbl. d. Bauverw. 1905, S. 125; Deutsche Bauztg. 1905, S. 37 u.a.

[9]) D. R. P. 160582, vergl. Deutsche Bauztg. 1907, S. 702.

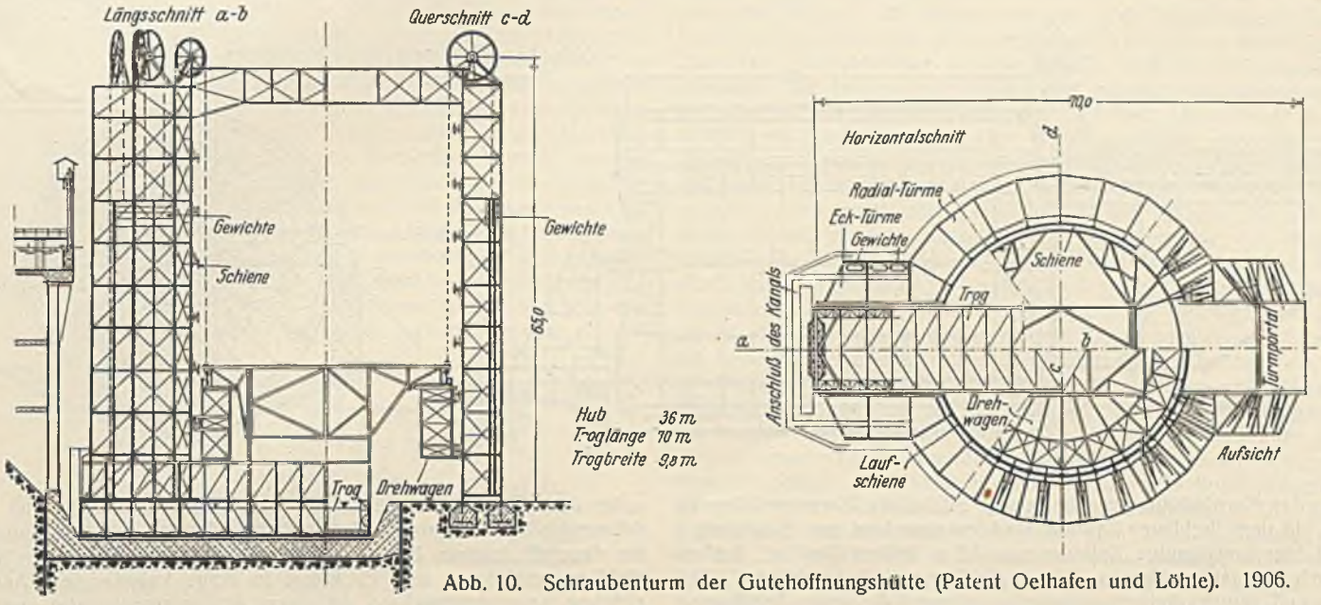


Abb. 10. Schraubenturm der Gutehoffnungshütte (Patent Oelhafen und Löhle). 1906.

Turmgerüst ist. Der Drehwagen hat 24 Laufrollen, 12 oben, 12 unten. Auf ihm ruht der Trog, der sich zwischen den beiden Teilen des Turmgerüstes lotrecht auf und ab bewegt, sein Gewicht wird dabei durch 32 Gegengewichte an Drahtseilen ausgeglichen. Die Laufrollen des Drehwagens werden durch Schneckenantrieb in Bewegung gesetzt. Sie ruhen auf Federn. Bei erheblicher Gleichgewichtstörung werden diese Federn so weit zusammengedrückt, daß Druckplatten, die zwischen den Rollen gelagert sind, zur Auflagerung kommen und so die Räder entlastet werden; dadurch entsteht gleitende Reibung und Selbstsperrung. Diese Sicherung durch Federung der Lagerrollen zeigt in ihrem Grundgedanken sehr viel Übereinstimmung mit der für den neuen Entwurf vorgesehenen Sperrvorrichtung.

Bei Ausschalten des Stromes werden die Laufrollen festgehalten, auch dann tritt gleitende Reibung und damit Sperrung ein.

Die Akademie vermißte an dem Entwurf die erwünschte Einfachheit und bemängelte die Verwendung so zahlreicher beweglicher, teilweise schwer zugänglicher Teile, die ständiger Überwachung bedürfen, und schloß demzufolge auch diesen Entwurf von der engeren Wahl aus.

Ein zweiter Entwurf der Firma Haniel & Lueg sieht eine Ausführung nach Henrichenburger Vorbild vor (Abb. 11).

Es sind aber nicht fünf, sondern drei Brunnen mit vergrößerten Abmessungen vorgesehen, die Bodenschächte haben 51,5 m Tiefe gegen 28 bei Henrichenburg; sie sollten durch Gefrierverfahren abgeteuft und durch gußeiserne Tübbings umschlossen werden. Die Gerüsthöhe beträgt 54 m gegen 30 bei Henrichenburg, die 47 m langen Spindeln sollten aus drei Teilen gestoßen und feststehend angeordnet werden.

Wegen seiner hohen Kosten und wegen der technischen Schwierigkeiten, die sich der Ausführung entgegenstellen, wurde der Entwurf verlassen. Die Akademie empfahl aber, im Hinblick auf die guten Erfahrungen bei Henrichenburg eine Umgestaltung zu versuchen, etwa unter Ersatz der Schwimmer durch Gegengewichte an Drahtseilen oder einen anderen Gewichtsausgleich.

Wesentlich mehr Beachtung hat damals der schon erwähnte, von der M. A. N. eingereichte Entwurf zu einem Hubzylinder oder einer Hubtrommel gefunden. Der in Abb. 12 dargestellte Hubzylinder schwimmt drehbar auf dem Unterwasser, er ist beiläufig 68 m lang und hat 51 m lichten

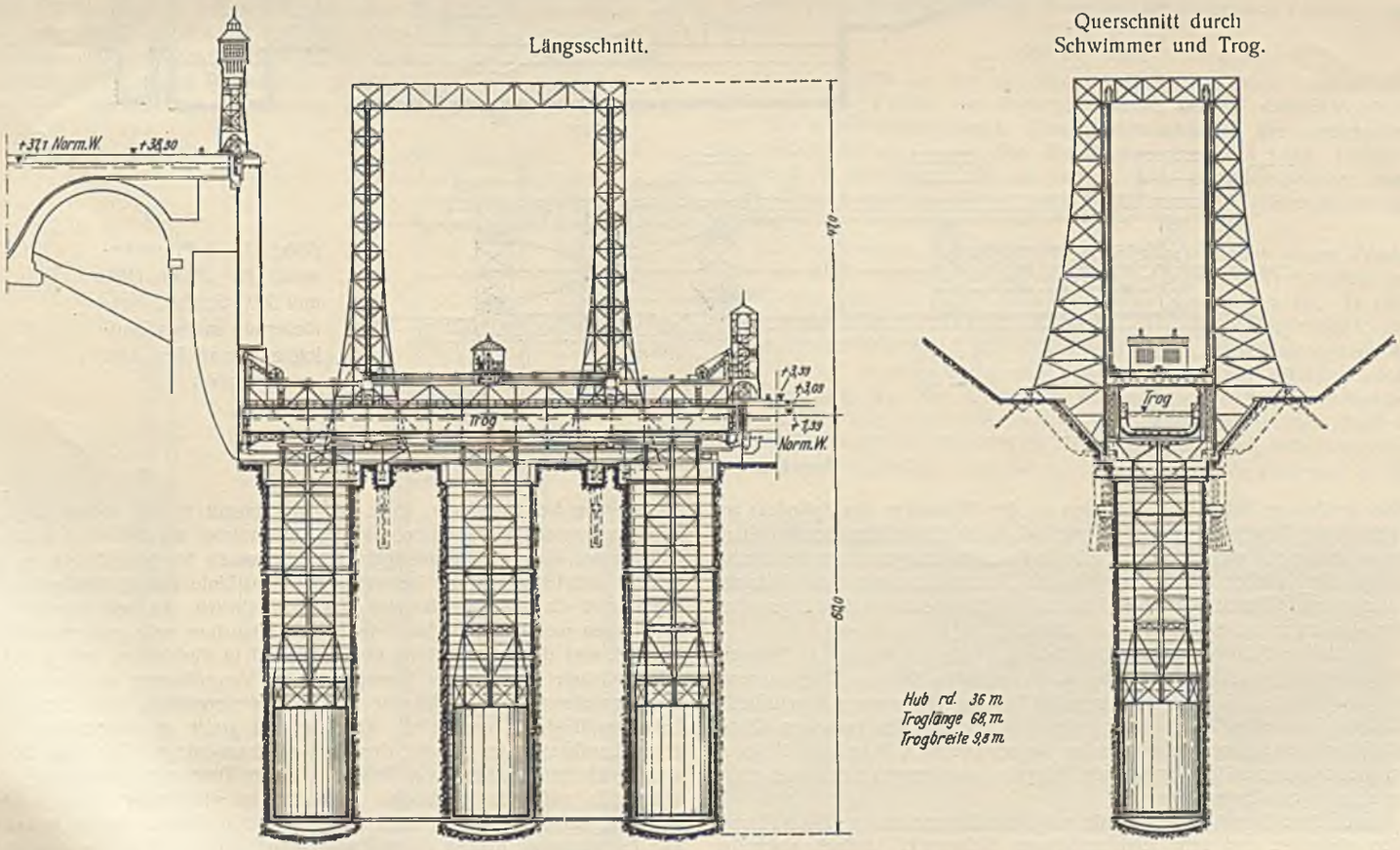


Abb. 11. Senkrechtes Hebewerk mit Schwimmern und Schraubenspindeln von Haniel & Lueg. 1906.

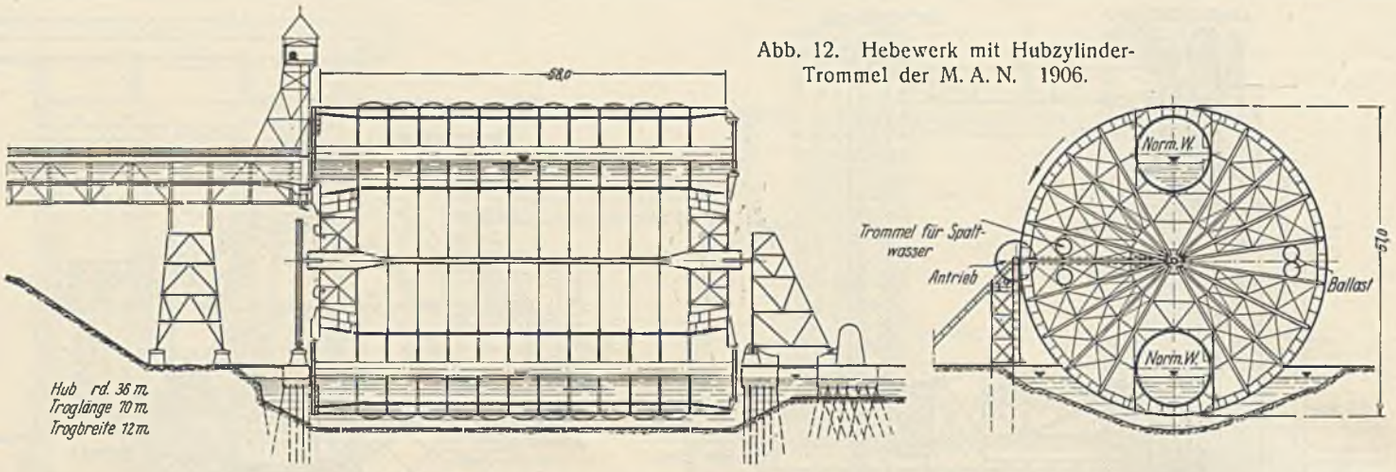


Abb. 12. Hebewerk mit Hubzylinder-Trommel der M. A. N. 1906.

Durchm., das Konstruktionsgewicht beträgt 5400 t, die Wasserverdrängung 10 600 t. In dem drehbaren Zylinder sind fest eingebaut zwei Schiffströge; das sind hier kreisförmige Zylinder von 12 m lichtem Durchm., beiderseits durch Tore abgeschlossen. Die große Trommel dreht sich um 180° vorwärts und zurück, dadurch vertauschen jedesmal die beiden Schiffströge ihre Lage, so daß ein Schiff von oben nach unten und gleichzeitig ein zweites von unten nach oben befördert wird. Die obere Haltung ist durch ein Tor abgeschlossen. Die untere bedarf keines Abschlusses. Der in der Achse des Hubzylinders angebrachte Zapfen wird beiderseits durch Schwingen geführt, die eine kleine bogenförmige Bewegung auf und ab erlauben. Die Achse der Schwingen ist zugleich Achse eines Zahnradpaares für den Antrieb. Die durch eine Welle miteinander verbundenen Ritzel greifen an Zahnkranzsegmenten an den Stirnseiten des Zylinders an. Während der Bewegung wird die Trommel durch diese Ritzel festgehalten. Um so mehr, als auch die Trommel von Formänderungen nicht frei bleibt, gibt das im Hinblick auf Kraftangriffe und Formänderungen durch Wärmedehnung sowie durch Wind, Wellen und außerordentliche Gleichgewichtstörungen zu mancherlei Bedenken Anlaß.

Besondere Schwierigkeiten bereitet noch die Anpassung an Wasserstandschwankungen. Man wollte um die Tröge herum Ringkammern anordnen, in die bei der Bewegung ein Teil des Trogwassers hineinfließt, wodurch dann eine Verminderung des Spiegelabstandes zwischen Ober- und Unterwasser ausgeglichen werden kann. Die M. A. N. schlug übrigens vor, größere, nur selten eintretende Spiegelschwankungen vermittels einer Vorschleuse zu überwinden.

Nach dem Urteil der Akademie zeigt der Entwurf ein in seinen Hauptteilen einfaches und sehr leistungsfähiges Hebewerk. Jedoch erscheine die Herstellung und Erhaltung einer genau kreisrunden Form des Zylinders unter dem Einfluß des Gewichtes, des Windes und ungleicher Wärmedehnungen bei den großen Abmessungen schwierig, so daß keine Gewähr für dauernd richtigen Eingriff der Ritzel geboten, auch ein Festklemmen nicht ausgeschlossen sei. Es könne in Frage kommen, die Antriebvorrichtung umzugestalten und die ganze Anlage zum Schutze gegen Wind und Wetter zu überdachen (was übrigens recht kostspielig ist). Zu Bedenken gäbe ferner die Verbindung der Tröge mit der Vorschleuse Anlaß; auch müsse für die während der Drehung in dem Troge befindlichen Schiffe größere Sicherheit geschaffen werden.

Die M. A. N. hat den Entwurf später verlassen.

Der Entwurf der Felten & Guilleaume-Lahmeyer-Werke nach Bauart Röder (Abb. 13) stellt ein Hebewerk mit Längsförderung über trockenen Scheitel dar, d. h. der Trog taucht in der oberen Lage in das Oberwasser, in der unteren in das Unterwasser ein und wird aus dem Oberwasser über die Wandungen des Oberkanals hinweggehoben, wagerecht in der Längsrichtung bewegt und in das Unterwasser hinabgelassen. Dabei wird ein Abschluß der Haltungen entbehrlich. Es muß aber in Kauf genommen werden, daß der Trog beim Eintauchen sehr großen Auftrieb erleidet, was die Auswuchtung erschwert und in Verbindung mit der dazu erforderlichen wagerechten Bewegung und Vergrößerung der lotrechten Bewegungstrecke die Zeitdauer des Hubes vergrößert und damit die Leistungsfähigkeit herabsetzt. Der Entwurf stellt gewissermaßen eine große Laufkatze dar, an der der Trog als Last hängt. Der Trog ist an vier Flaschenzügen aus je 24 Seilen an einem Trogwagen aufgehängt, der seinerseits auf acht paarweise angeordneten vierrädrigen Wagenuntergestellen aufliegt und sich oben auf dem 180 m langen Viadukt befindet. Zur Auswuchtung dienen zwölf Eisenbeton-Gegengewichte, die aber nicht unmittelbar am Trog angreifen, sondern an einem unter dem Trog bühnen-

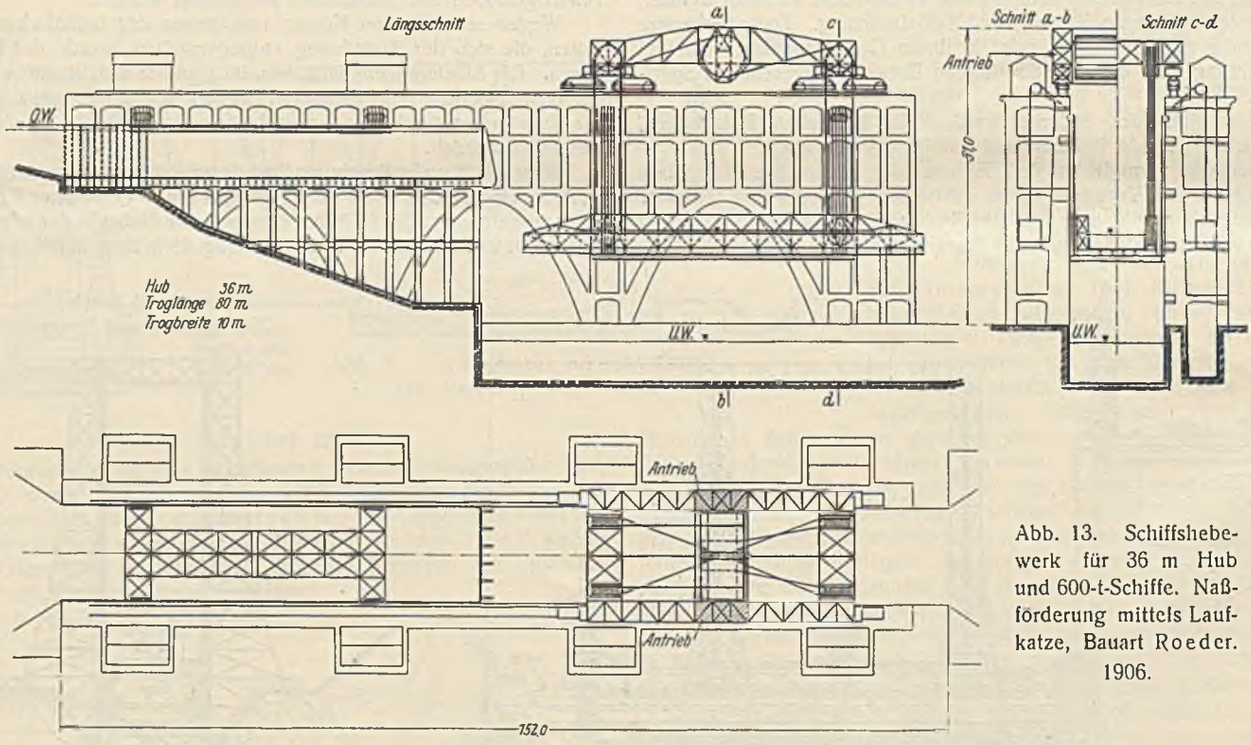
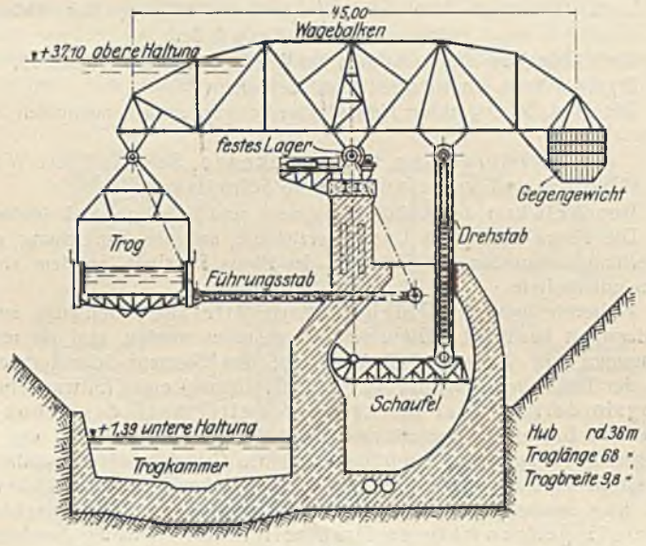


Abb. 13. Schiffshebewerk für 36 m Hub und 600-t-Schiffe. Naßförderung mittels Laufkatze, Bauart Roeder. 1906.

Grundriß.

artig angeordneten Fachwerkgerüst, vom Erfinder als Schuh bezeichnet. Dieser Schuh macht die wagerechte Bewegung nicht mit, es sind also zwei Schuhe — je einer für das Oberwasser und einer für das Unterwasser — erforderlich. Die Gegengewichte sollen auf einer Kurvenbahn so geführt werden, daß auch während des Ein- und Austauchens Gleichgewicht besteht. — Diese wenigen Andeutungen dürften ausreichen, um darzutun, daß der Entwurf nicht dasjenige Maß von Einfachheit besitzt, das wir heute unbedingt fordern. Schwierigkeiten hinsichtlich der Geradführung des Troges, der Sicherung bei Trogleerlauf und der Anpassung der Auswuchtungsvorrichtung an die wechselnden Wasserstände will ich übergehen. Die Akademie bemängelt, daß ein Hebewerk dieser Art zu vieler Einzelbewegungen und Einzelantriebe bedürfe, daß seine Leistungsfähigkeit den Anforderungen in Wirklichkeit kaum entsprechen dürfte, und daß die Flaschenzüge bei Trogleerlauf keine genügende Sicherheit bieten.



Querschnitt.

Abb. 14. Schiffshebewerk mit Wagebalken von Beuchelt, Schnapp, Bruno Schulz. 1906.

Am meisten Anerkennung fand damals der von der Firma Beuchelt & Co. in Grünberg eingereichte Entwurf zu einem Schiffshebewerk mit Wagebalken nach Schnapp-Bruno Schulz (Abb. 14).[10]) Die die Gewichte tragenden Wagebalken schwingen um eine feste Achse, so daß die Aufhängepunkte des Troges Kreisbogen beschreiben, die Umdrehungsachse ist Schwerachse der bewegten Massen. Die sechs 45 m langen Wagebalken sollten aus je zwei miteinander verbundenen Fachwerkträgern bestehen, die vier äußeren ruhen auf durchgehenden Mauern, die beiden mittleren auf Pendelstützen. Der Trogkörper hängt mittels geschlossener Rahmen gelenkig an den Wagebalken. Damit er seine lotrechte Stellung behält, sind vier Führungsstäbe angebracht. Die beiden Endgelenke eines solchen Führungsstabes bilden mit dem Aufhängepunkte des Troges und dem Drehpunkte des Wagebalkens ein Parallelogramm. Der Antrieb geschieht, abgesehen von der Mitwirkung einer Mehr- oder Minderbelastung des Troges, die ja bei fast allen Hebewerksystemen eine Rolle spielt, durch sechs Druckwasserzylinder, deren wagerechte Kolben Zahnstangen tragen, die mittels einfacher Vorgelege auf Zahnkränze an der Drehachse der Wagebalken wirken. Die Druckzylinder sollten zur Erzielung gleichmäßiger Wirkung durch Rohre miteinander verbunden werden. Die in der Troglängsachse wirkenden Kräfte, insbesondere also der recht erhebliche Wasserdruck auf das Trogtor und den Spalt zwischen Trog und Haltung sollten durch die beiden äußeren Wagebalkenpaare aufgenommen werden, was bei der gewählten Anordnung freilich wohl kaum angängig sein dürfte. Zur Regelung der Bewegung und zum Schutze gegen zu große Beschleunigung bei Trogleerlauf dienen drei Bremsschaufeln, je etwa 12 × 6 m groß, die sich in wassergefüllten Kammern um eine Achse derart bewegen, daß zwischen Schaufel und Kammerwand ein schmaler Spalt verbleibt. Die Kammern sind untereinander durch Rohre verbunden. Die Kammern können auch mit dem Oberwasser durch eine Leitung verbunden werden, die nur bei Trogleerlauf in Wirksamkeit tritt. Dadurch würde angeblich auch bei Trogleerlauf eine Sperrung erzielt werden können. In der Endstellung sollten sich die Gegengewichte auf Flüssigkeitspufferkolben aufsetzen. Infolge der kreisförmigen Bewegung des Troges verschieben sich die Anfahrtstellen auch ein wenig seitlich.

Die Akademie sah in dem Entwurf eine im Grundgedanken einfache Lösung der Aufgabe, die aber noch weiterer Ausarbeitung bedürfe. Namentlich gäbe die Lagerung einzelner schwerer Wagebalken auf Pendelstützen zu Bedenken Anlaß, auch erscheine eine sichere Führung des Troges erforderlich. Es sei noch nachzuweisen, daß sich die Bremskammern wasserdicht herstellen lassen.

Schlußergebnis des Gutachtens der Akademie vom 16. Oktober 1907 war die Feststellung, daß bei einem zu erwartenden Verkehr von über 3 Mill. t zweckmäßig eine Schleusentreppe von vier oder fünf Stufen und daneben ein Hebewerk zu errichten sei, wobei für das Hebewerk die folgenden Grundgedanken empfohlen wurden:

a) einfache senkrechte Hebung mit Schraubenspindelführung und Gegengewichten oder sonstigem zweckmäßigen Gewichtsausgleich,
b) schwingende Hebung durch Wagebalken in sicherer Führung,
c) halbkreisförmige Hebung durch eine schwimmende Trommel mit gesichertem Antrieb.

Nach diesen Richtungen sollte eine weitere Ausarbeitung vorgenommen werden.

C. 1907 bis 1912.

Genau danach ist von der Bauverwaltung verfahren worden. Die Schleusentreppe wurde, wie eingangs erwähnt, alsbald vierstufig erbaut und 1914 in Betrieb genommen. Eine Weiterbearbeitung der bezeichneten drei Grundgedanken wurde den drei Firmen Haniel & Lueg, Beuchelt und M. A. N. anheimgegeben; sie sollten, falls es ihnen gelänge, eine einwandfreie Lösung zu finden, nach Ablauf von drei Jahren Mitteilung machen.

Das besprochene Gutachten der Akademie bedeutet einen Wendepunkt für die Erkenntnis, daß für die hier vorliegenden Verhältnisse ein eigentliches Hebewerk einer geneigten Ebene vorzuziehen ist. Es trifft so einfache, freilich noch recht allgemein gehaltene Festsetzungen, daß man eigentlich erwarten sollte, es würde nunmehr schnell wenigstens für einen der drei Grundgedanken eine baureife Bearbeitung erzielt werden; tatsächlich ging aber der Kampf um die allgemeinen Ideen, verbunden mit der Erwerbung zahlreicher Patente usw., unentwegt weiter. Auch in den drei Jahren fehlte es keineswegs an neuen Vorschlägen, so insbesondere in den Veröffentlichungen von Jebens in der Bauzeitung 1909 und in der

[10]) D. R. P. 205577.

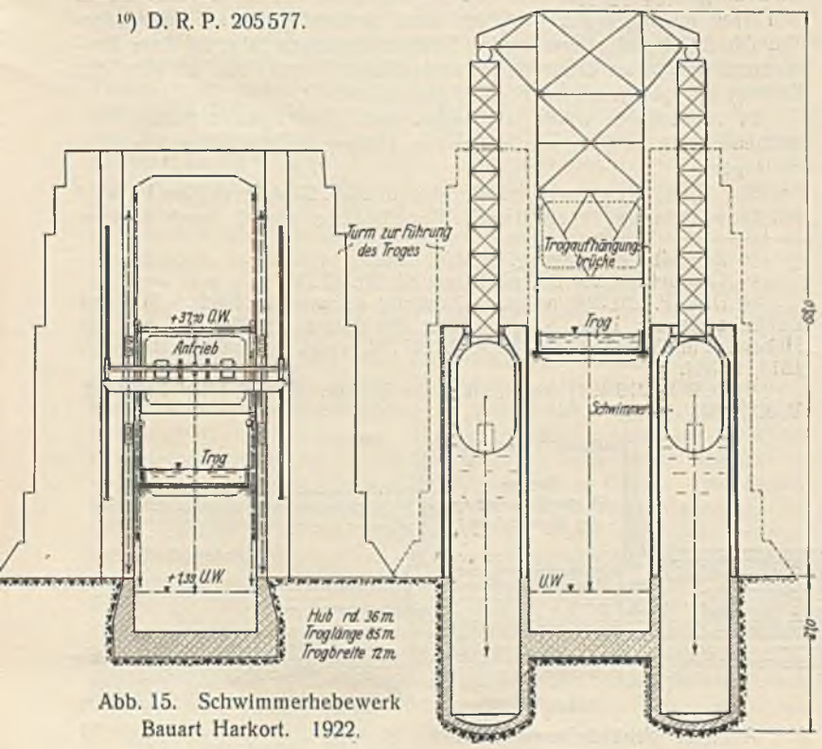


Abb. 15. Schwimmerhebewerk Bauart Harkort. 1922.

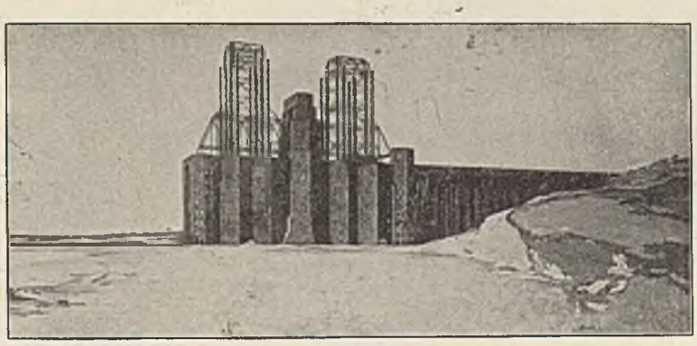


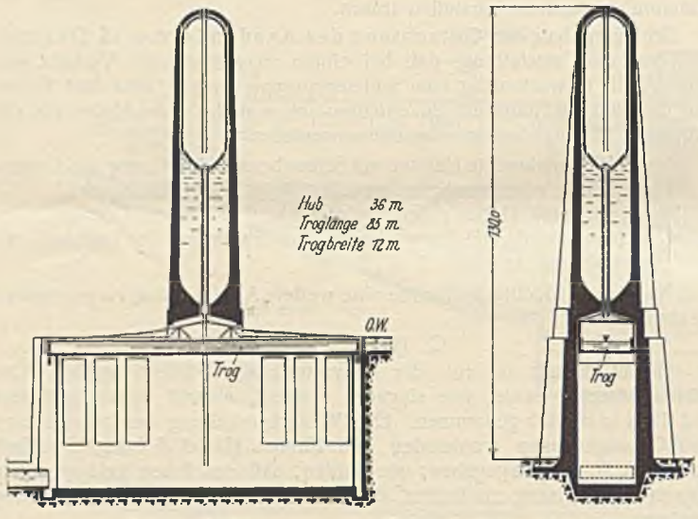
Abb. 16.

Hannoverschen Zeitschrift 1009 bis 1912.[11]) Jebens schlägt u. a. vor, für hohen Hub kurze Spindeln anzuwenden, die sich in durchlaufenden, am Portalgerüst befestigten Spindelmuttern bewegen. Solche kurze Spindeln sieht auch der hier neu behandelte Entwurf von 1926 vor. Während aber die Spindelmuttern in dem neuen Entwurf zweiteilig angeordnet sind, so daß sie die Spindeln symmetrisch umfassen, also als geschlitzte Hohlsäulen oder als geschlitzte Spindelmuttern zu bezeichnen sind, hat Jebens eine einteilige Spindelmutter, deren Eingriff nur auf wenig mehr als $^1/_4$ des Umfanges stattfindet. Jebens erwähnt auch federnde Lagerung umlaufender Spindelmuttern, die den Stoß abschwächen und einen Bremsweg hergeben sollen.

Ferner behandelt er Hebewerke mit wagerechten Schwimmern, sogenannten Kesselschwimmern, die übrigens schon früher von Offermann angegeben waren; man vergl. dazu indes den neueren Vorschlag der Firma Grün & Bilfinger A.-G., Direktor Baurat Böhmler, auf eine „Tauchschleuse".[12])

Weiterhin schlägt er ausführlich — auch für Niederfinow — ein Hebewerk mit Seitenschwimmern vor, wie es früher schon von Hoech und Prüsmann erwähnt worden war. Der in den Abb. 15 u. 16 dargestellte Entwurf ist indes nicht von Jebens, sondern ein späterer Vorschlag der Gesellschaft Harkort, zu dem aber die Firma neuerdings erklärte, er sei überholt und habe nur noch historische Bedeutung, sie identifiziere sich selbstverständlich nicht mehr damit. Hier ragen bei der dargestellten oberen Troglage die höchsten Teile 70 m über Unterwasser und rd. 90 m über Sohlenunterkante der Schwimmerschächte. Da der Raum zwischen Troggerüst und den dieses tragenden Säulen auf die Hubhöhe frei bleiben muß, erscheint eine befriedigende Führung nicht möglich.

Endlich behandelt Jebens auch ein Hebewerk mit Schwimmern über dem Trog. Er sagt dazu: „Eine dritte Lage zum Trog ist möglich, nämlich über demselben. Es waren dann seitwärts starke Pfeiler nötig; darüber ein mächtiger Zylinder, in welchem der Schwimmer auf und ab geht, der unten eine starke Stange trägt, die durch den Zylinderboden mittels Stopfbüchse geführt ist und den Trog trägt. Diese Bauart ist einfach, sie erfordert aber große Massen Mauerwerk und Eisen." Es wird dem Leser nicht entgehen, daß diese 1906 veröffentlichte Beschreibung auf den in Abb. 17 u. 18 dargestellten neueren Entwurf paßt, den die Herren Ollert und Rottmayer vor kurzem[13]) veröffentlicht und ausgestellt haben.



Längsschnitt. Querschnitt durch den Schwimmer.

Abb. 17. Schwimmerhebewerk von Ollert und Rottmayer. 1924.

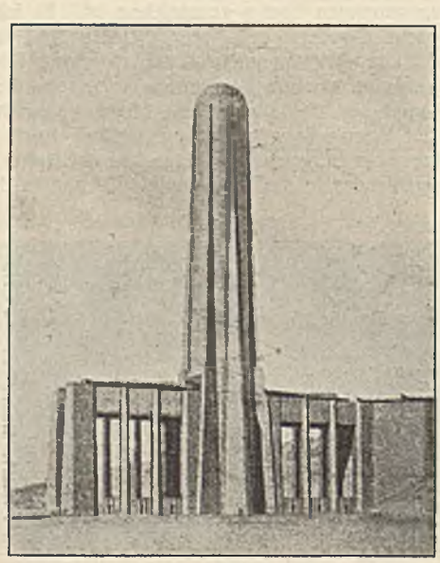


Abb. 18.

[11]) Deutsche Bauztg. 1909, S. 314; Ztschr. f. Architekt. u. Ingenieurw. 1909, Heft 6; 1910, Heft 1 u. 5; 1911, Heft 1.

[12]) D. R. P. 306 903. Zentralbl. d. Bauverw. 1919, S. 132; Deutsche Bauztg. 1919, S. 482; Zeitschr. d. V. d. I. 1918, S. 717; 1919 S. 735 u. f.

Für die Größenverhältnisse bei Niederfinow ragt der Turm etwa 124 m über Unterwasser und 140 m über Fundamentsohle, im unteren Teil des Schwimmbehälters herrscht ein Wasserdruck von $7^1/_2$ at. Schon diese Zahlen dürften die der Ausführung entgegenstehenden Schwierigkeiten ersichtlich machen.

Andere Vorschläge wie den zu einer pneumatischen Hubschleuse System Umlauf-v. Stockert[14]) will ich übergehen.

D. Wettbewerb 1912 und Weiterbearbeitung der dabei eingereichten Entwürfe.

Nach Ablauf der drei Jahre fand der Wettbewerb seinen Abschluß. Über das Ergebnis fasse ich zunächst kurz zusammen:

Die M. A. N. zog ihren Hubzylinder-Entwurf zurück zugunsten eines Entwurfs

mit Querförderung über trockenen Scheitel mit Wagebalken auf verschieblichem Schwimmer.

Beuchelt kam der Aufforderung nach und beteiligte sich lebhaft.

Die Firma Haniel & Lueg verzichtete auf die Einreichung eines Vorschlags zugunsten des Entwurfs der Firma Beuchelt, an dem sie sodann mitarbeitete.

Weiterhin hatte die Gutehoffnungshütte ihre Beteiligung an der Weiterarbeit beantragt. Diese war ihr gestattet worden, und sie reichte zusammen mit Dyckerhoff & Widmann, den Siemens-Schuckertwerken und der Deutschen Maschinenfabrik A.-G. (Demag) einen Entwurf ein mit Längsförderung über trockenen Scheitel nach der schon erörterten Bauart Röder mit einer Längsbewegung von 160 m. Der Entwurf fand aber aus den schon früher erwähnten Gründen keine Zustimmung. Daraufhin legte der genannte Konzern einen Entwurf zu einem Hebewerk mit nur senkrechter Trogbewegung und mit Auswuchtung durch Gegengewichte an Drahtseilen vor. Beiläufig brachte die Gutehoffnungshütte später noch einmal den Entwurf nach dem Patent Ölhafen-Löhle in Erinnerung.

Der Entwurf der M. A. N. mit Querförderung über trockenen Scheitel ist in vervollkommneter Gestalt von Geheimrat Dr. Carstanjen im „Bauingenieur" 1923, Hefte 19/20 u. 23, veröffentlicht,[15]) ich möchte deshalb nicht ausführlicher darauf zurückkommen; er ist von der Verwaltung nicht weiter verfolgt worden. Abb. 19 zeigt einen Grundriß der Anlage, der den besonderen Vorteil bietet, daß in der Verlängerung des Ober- und Unterhafens Warteplätze angeordnet sind. In der Darstellung des Lichtbildes befindet sich der Trog oben, währenddessen fährt ein Schiff aus der unteren Haltung in den unteren Warteplatz. Oben fährt das aufwärts geschleuste Schiff gerade aus dem Trog in die obere Haltung, während gleichzeitig aus dem oberen Warteplatz ein Schiff rückwärts in den Trog hineingezogen wird, um dann abwärts geschleust zu werden. Die Gleichzeitigkeit dieser beiden Schiffsbewegungen führt zu einer Zeitersparnis und bietet damit einen wesentlichen Vorteil, den übrigens der Entwurf mit quergeneigten Ebenen gemein hat.

In Niederfinow würde es wegen der schwierigen örtlichen Verhältnisse kaum möglich sein, die untere Haltung in den Hang hinein zu verlängern.

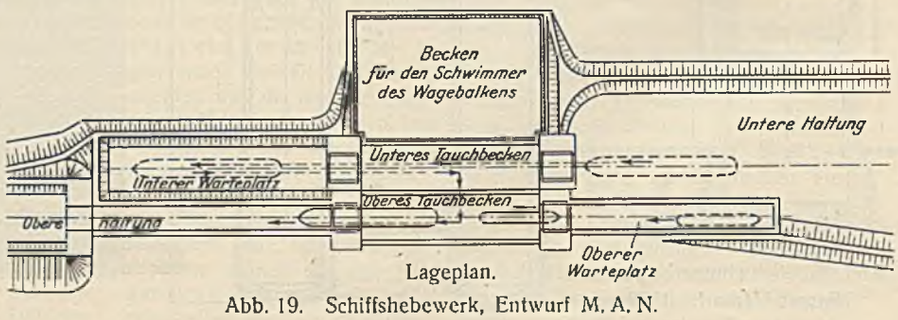
Die Firma Beuchelt reichte den in Abb. 20 dargestellten Entwurf mit Gewichtsausgleich durch Wagebalken ein,[16]) daneben einen

[13]) Zentralbl. d. Bauverw. 1924, S. 233.

[14]) Österreichisches Patent, Klasse 84, Nr. 42 211.

[15]) D. R. P. 251 318; vergl. a. Zentralbl. d. Bauverw. 1912, S. 700 und Deutsche Bauztg. 1912, S. 130. Über ein Patent der M. A. N. auf ein Hebewerk mit Tauchschacht, D. R. P. 303 724, vergl. Zentralbl. d. Bauverw. 1918, S. 364.

[16]) D. R. P. 219 491; vergl. Deutsche Bauztg. 1913, S. 199; Ztschr. d. V. d. I. 1913, S. 436.



Lageplan.

Abb. 19. Schiffshebewerk, Entwurf M. A. N.

zweiten mit Abänderungen, den ich übergehe. Der dargestellte Entwurf entspricht in seinem Grundgedanken dem schon vorhin besprochenen Vorschlag der Firma: vier doppelwandige Wagebalken von 60 m Länge sind zu zwei Raumfachwerken zusammengefaßt und in der Mitte auf massivem Unterbau drehbar gelagert, sie tragen zwei gelenkig aufgehängte Schiffstroge, von denen indes zunächst nur einer ausgeführt und der andere durch Ballast ersetzt werden sollte. Die Balken ruhen auf vier Stahlzapfen von 70 cm Durchm. Einem späteren Vorschlage des Geheimrats Dr.-Ing. Dr. Zimmermann gemäß sollten die Zapfen mit Durchbohrungen versehen und in diese Fadenkreuze eingebaut werden, um jederzeit die genaue Lage der Achse feststellen zu können, die hier von besonderer Wichtigkeit ist. Die Lager sollten nachstellbar angeordnet werden. Zur Regelung der Trogbewegung waren zwei Bremsschaufeln vorgesehen, die (im Gegensatz zu dem Entwurf von 1906) mit dem Anschlußstab starr verbunden sind und durch ein Gelenkparallelogramm geführt werden; um den Trog dauernd in lotrechter Lage zu erhalten, sind zwei Führungsstangen mit einer zweiten Parallelogrammführung angeordnet; zum Antrieb dienen Ritzel.

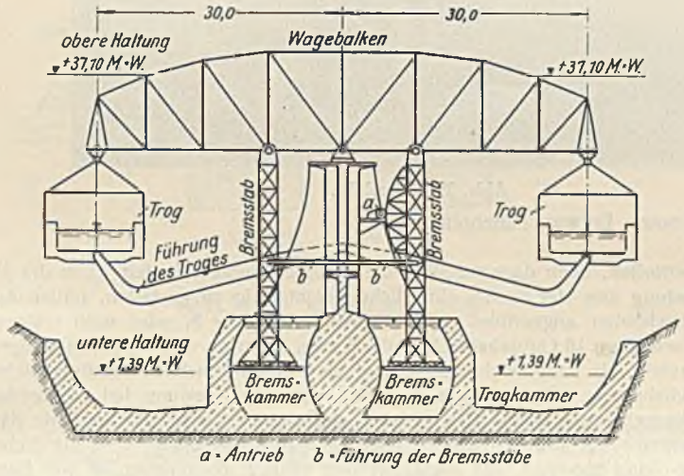


Abb. 20. Wagebalken mit Wasserdruckbremsen von Beucheit, Schnapp, Bruno Schulz. 1912.

Die Akademie gab in ihren Gutachten vom 12. Juli und 27. Dezember 1912 diesem Entwurf vor den beiden anderen ihr vorgelegten den Vorzug und erklärte ihn als betriebssicher. Demzufolge wurde bekanntlich der Bau des Hebewerks nach dem Beucheltschen System in Aussicht genommen, der Kriegsausbruch unterbrach die vorbereitenden Arbeiten.

Technische Schwierigkeiten des Entwurfs waren besonders: die hohe Belastung der Lager, die beim Übergang zu größeren Trogabmessungen noch erheblich hätte gesteigert werden müssen, die große Masse der schwingenden Wagebalken, der Winddruck auf diese, die Abhängigkeit der Betriebssicherheit von einer genauen Ausrichtung der Lager und damit von etwaigen Ungleichförmigkeiten in der Senkung des Baugrundes. Dem Fehlen einer besonderen Festhaltevorrichtung für den Fall des Trogleerlaufs stand der Vorteil gegenüber, daß die Bremsschaufeln der Entstehung von Beschleunigungen wirksam entgegenarbeiten, der Trog sollte dabei gebremst in die Endstellung fahren. Was aber damals zuerst Anlaß gab, eine Abänderung des Entwurfs anzustreben, waren nicht Bedenken technischer, sondern wirtschaftlicher Art. Nähere Untersuchungen, insbesondere der außerordentlich ungünstigen Untergrundverhältnisse und der dadurch bedingten Gründungsschwierigkeiten, führten zu der Erkenntnis, daß man mit der früher veranschlagten Summe und demzufolge auch mit den zur Verfügung stehenden Geldmitteln auch nicht annähernd werde auskommen können. Demzufolge untersuchte man nicht nur aufs neue, ob nicht der Bau einer Schleusentreppe wirtschaftlicher sei, was verneint werden mußte, sondern suchte auch neue mit geringeren Kosten herzustellende Hebewerkanordnungen. Der in Abb. 21 dargestellte Entwurf rührt von Bruno Schulz her, der ihn im Einvernehmen mit der Firma Beucheit eingereicht hat,[17]) das Bild zeigt ihn freilich nicht in seiner ursprünglichen, sondern schon in einer verbesserten Gestalt. Bei diesem Entwurf kamen auch erstmalig die neuen großen Trogabmessungen, wie schon erwähnt 85 × 12 m, zur Anwendung. Wie aus der Abbildung ersichtlich, sind die Wagebalken nunmehr auf Pendelstützen gelagert, derart, daß ihre Drehachse eine kleine seitliche Bewegung machen und demzufolge der Trog vollkommen lotrecht geführt werden kann. Gegenüberliegende Wagebalken sind je an einen kreuzkopfartig geführten Querbalken angeschlossen, was für die Starrheit des Ganzen von Bedeutung ist. Zum Antrieb, zur Bremsung und zur Sperrung bei außergewöhnlichen Gleichgewichtstörungen dienen Schraubenspindeln. Eine solche An-

[17]) D. R. P. 319 467.

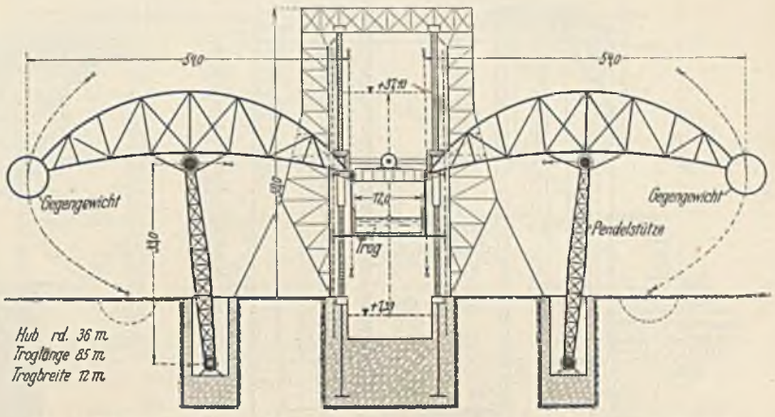


Abb. 21. Querschnitt. Wagebalken mit Schraubenspindeln und Pendelstützen von Beucheit, Bruno Schulz. 1919.

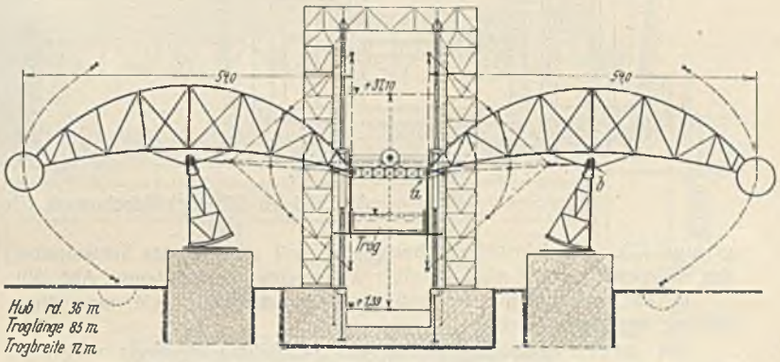


Abb. 22. Querschnitt. Wagebalken mit Schraubenspindeln und Rollpendeln. 1921.

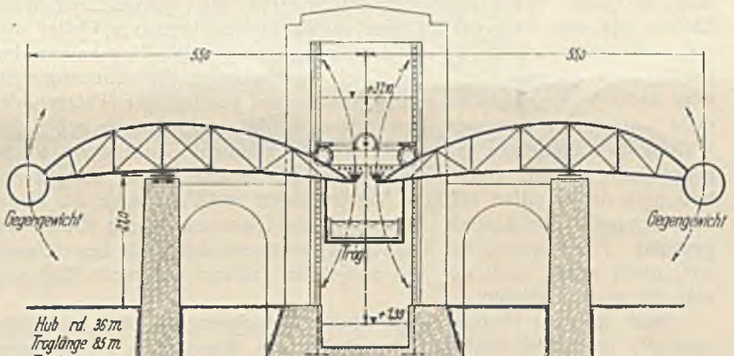


Abb. 23. Querschnitt. Wagebalken mit Zahnstangen und Wälzlagern. Vorschlag Beucheit. 1922.

ordnung ermöglicht eine lotrechte Trogbewegung, macht das Bauwerk von dem Einfluß etwaiger Bodensenkungen nahezu unabhängig und führt zu einer Kostenersparnis. Zeitweilig stand dieser Entwurf im Mittelpunkte des Interesses. Der in die Wagebalkenachse fallende Schwerpunkt der bewegten Massen beschreibt aber einen flachen Kreisbogen, der Weg weicht also von der Wagerechten ein wenig ab. Bei näherer Untersuchung stellte sich nun heraus, daß diese Abweichung doch schon zu einer unerträglich großen Gleichgewichtstörung führt. Näheres darüber habe ich in einer kleinen Veröffentlichung im Zentralbl. d. Bauverw. 1922, S. 277, ausgeführt (vergl. auch Abb. 33). Um dem abzuhelfen, wurden zwei Vorschläge zur Erwägung gestellt, einmal die Lagerung auf Roll- oder Wälzpendeln gemäß Abb. 22. Wälzpendel, freilich ganz anderer Art, waren schon früher von der M. A. N. vorgelegt. Ein Nachteil ist die Gefahr eines Gleitens oder einer allmählichen Verlagerung der Wälzflächen. Um Gleiten zu verhindern, sollten seitlich Zahnkränze oder an deren Stelle Führungsstäbe angeordnet werden. Wird in einer Ebene von einem starren Stabe ein Punkt *a* auf einer Lotrechten, ein anderer *b* auf einer Wagerechten geführt, wie das hier bei den Wagebalken der Fall ist, so beschreibt der Mittelpunkt der Strecke *a—b* einen Kreis, dessen Mittelpunkt der Schnittpunkt der Bahnen ist. Man könnte also Führungsstäbe anbringen, die diesen Schnittpunkt mit dem Mittelpunkte der Strecke *a—b* verbinden. Ob sich durch eins von diesen Mitteln ein Gleiten wirksam verhindern läßt, ist freilich nicht ohne Zweifel. Ist die Drehachse des Wagebalkens Achse der Wälzfläche und zugleich gemeinsame Schwerachse von Trog, Wagebalken uud Gegengewicht, so bleibt eine

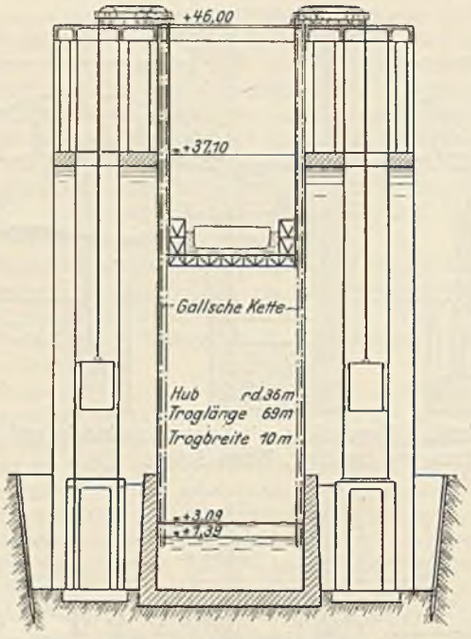


Abb. 24. Querschnitt *G—H*.

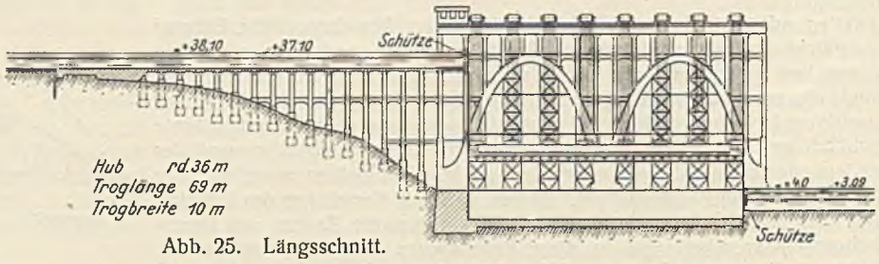


Abb. 25. Längsschnitt.

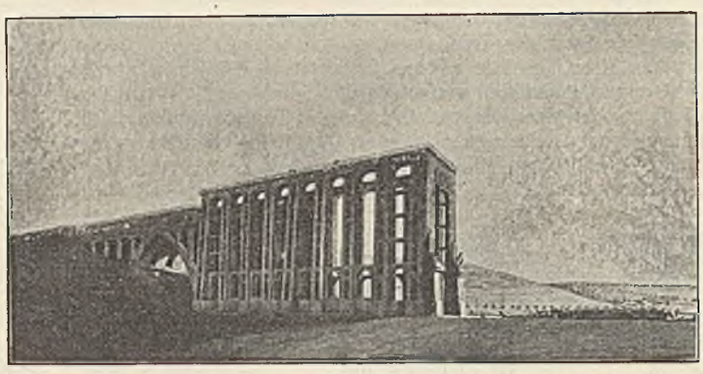


Abb. 26. Ansicht.

Abb. 24 bis 26. Schiffshebewerk Niederfinow. Entwurf Gutehoffnungshütte.

geringe Gleichgewichtstörung bestehen, weil sich ja der Schwerpunkt des Wälzpendels selbst nicht auf einer Wagerechten bewegt (vergl. Abb. 33).

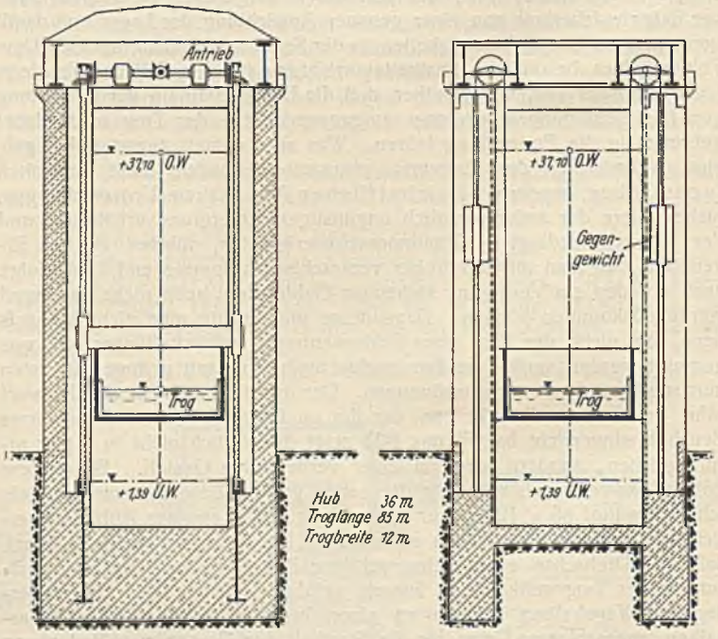
In der erwähnten Veröffentlichung ist dargetan, wie man diese Störung beseitigen könnte.

Ein zweiter Vorschlag wurde von der Firma Beuchelt vorgelegt. Der Hauptgrundgedanke war indes schon in einem älteren Patent der Firma Haniel & Lueg[18]) enthalten. Die Wagebalken ruhen gemäß Abb. 23 (unter Vermeidung von Zapfenlagern) mit zylindrischen Wälzflächen auf den wagerechten, ebenen Kopfflächen massiver Pfeiler und rollen dementsprechend hin und her; zwischen Trog und Wagebalken sind Gleitbahnen eingeschaltet. Das Ziel einwandfreien Gewichtsausgleichs wird dadurch erreicht. Die Firma glaubte, ein Gleiten der Wälzzylinder nicht befürchten zu müssen, bemerkte aber, daß zur Sicherung neben den Wälzlagern Zahnkränze angeordnet werden könnten. Auch wenn solche angeordnet werden, vermisse ich noch die in den beiden vorigen Abbildungen dargestellten kräftigen Verbindungen und Führungen der Wagebalkenenden. Für Antrieb, Bremsung und Sperrung waren Ritzel vorgesehen. Für Sperrung bei Trogleerlauf erscheint das nicht ausreichend; andernfalls würde auch der neu mitgeteilte Entwurf außerordentlich vereinfacht werden können.

Nach weiterer Prüfung auch dieser Abänderungsentwürfe entschloß man sich schließlich doch, die Anordnung mit Wagebalken zu verlassen, wobei in erster Linie die den soeben besprochenen Wagebalken-Hebewerken gemeinsamen Nachteile maßgebend waren. Das sind insbesondere die überaus große, infolge der Vergrößerung der Trogabmessungen noch erhöhte Belastung der Wagebalkenlager, deren Bedeutung bei den später ausgeführten Versuchen übrigens noch weit mehr in Erscheinung getreten ist, und die Vermehrung der bewegten Massen durch das Hinzutreten der riesigen schwingenden Wagebalken. Man wandte sich nunmehr dem Gewichtsausgleich durch Gegengewichte an Drahtseilen mit möglichst weitgehender Unterteilung zu.

Wie schon erwähnt, hatte die Gutehoffnungshütte im Verein mit anderen bedeutenden Firmen an Stelle ihres Entwurfes mit Längsförderung über trockenen Scheitel später einen wesentlich vereinfachten Entwurf mit lotrechter Trogbewegung und mit Gegengewichten an Drahtseilen vorgelegt (Abb. 24 bis 26), nicht unähnlich den zwei bereits im Bilde vorgeführten Vorschlägen von Haniel & Lueg. Der Trog und 160 Gegengewichte hängen an 160 Drahtseilen, die über 320 Rollen laufen; später wurde vorgeschlagen, jedes Seil nur über eine Rolle zu führen. Die Seile bestanden aus 288 Drähten von 2,3 mm Stärke, die Seilrollen hatten 2 m Durchm. Ein Ausgleich für das Gewicht der abrollenden Drahtseile war nicht vorgesehen. Nach späterer Mitteilung hielt man einen Ausgleich nicht für notwendig, weil die beschleunigende Kraft des abgelaufenen Seiles niemals die Größe des Reibungswiderstandes erreichen und demzufolge ein Wechsel in der Kraftrichtung nicht eintreten könne. Die Gewichte sind zu Gruppen von je zehn zusammengefaßt, derart, daß beim Bruch eines Seiles die übrigen neun das Gegengewicht tragen. Zum Antrieb, zur Parallelführung und Sperrung bei Trogleerlauf dienen 4×4 Gallsche Ketten in endloser Anordnung,[19]) die unten über Leitrollen, oben dagegen über die Antriebzahnräder laufen. Um die Belastung von vier Ketten einer Ecke gleichförmig zu gestalten, sollten Ausgleichhebel angeordnet werden. An jedem der 8, oder nach späterem Vorschlage 16 Getriebeblöcke sollten zwei Bremsen wirken; je eine Magnetbremse als Fallgewichtbremse und eine durch Druckluft betätigte Sicherheitsbremse. Diese Bremsen sollten auch die Sperrung bei Trogleerlauf übernehmen. Nach einem später vorgelegten Gutachten sind sie dazu ausreichend; wir stellen aber heute höhere Anforderungen an die Sicherheit und möchten uns nicht auf den bloßen Reibungsschluß von Bandbremsen verlassen und anderseits eine möglichst unmittelbare Übertragung der Sperrkraft auf den Trog erreichen, während bei dem besprochenen Entwurf zwischen Bremse und Trog unter Umständen ein langes Stück der Gallschen Kette liegt, so daß der Bruch eines der vielen Kettenglieder die Bremse außer Wirkung setzen würde.

Das Hubgerüst sollte aus Eisenbeton hergestellt werden. Beton bietet jedenfalls den Vorteil, daß er den Erschütterungen eine größere Masse entgegenzusetzen vermag und, wie in dem Entwurf besonders betont, eine bessere architektonische Wirkung erzielen läßt (Abb. 26). Man erwartete davon auch eine wesentliche Verminderung der Unterhaltungskosten.



Querschnitt vor den Führungsspindeln.

Querschnitt vor den Gegengewichten.

Abb. 27. Aufzug mit Drahtseilen und Gegengewichten. Demag, Gutehoffnungshütte und Dyckerhoff & Widmann. 1921.

[18]) D. R. P. 141 277. — [19]) D. R. P. 285 452.

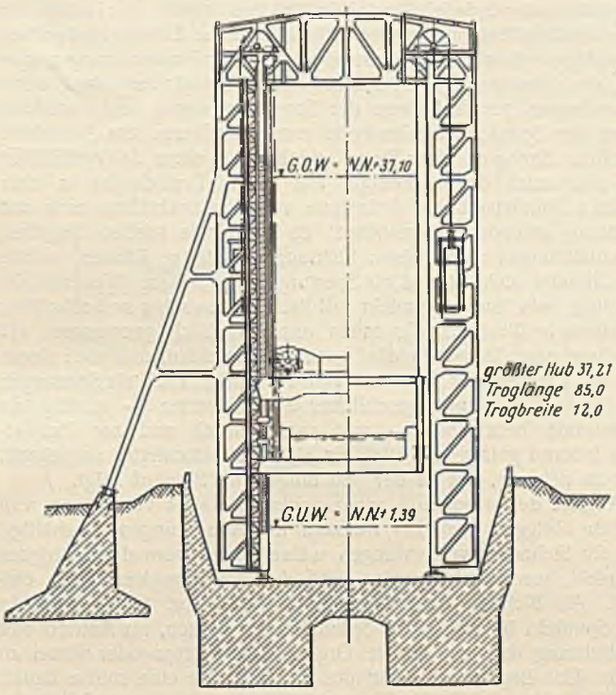
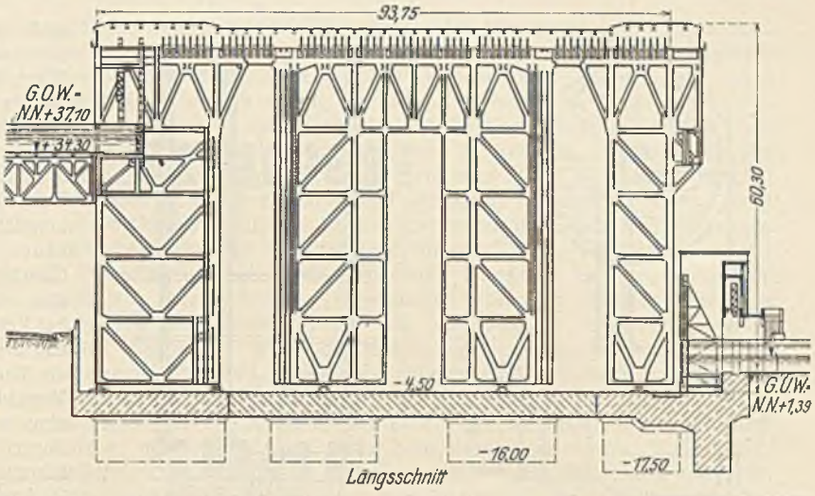
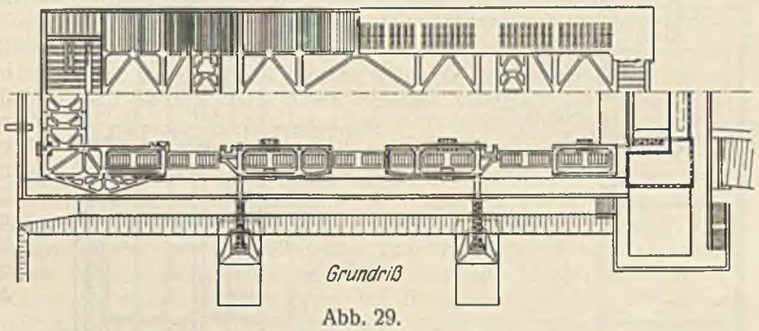


Abb. 28. Querschnitt.



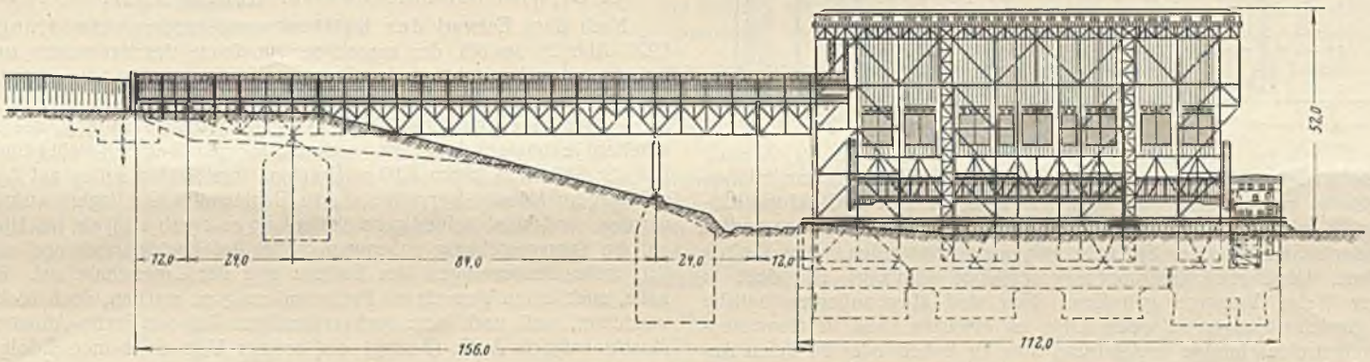
Längsschnitt



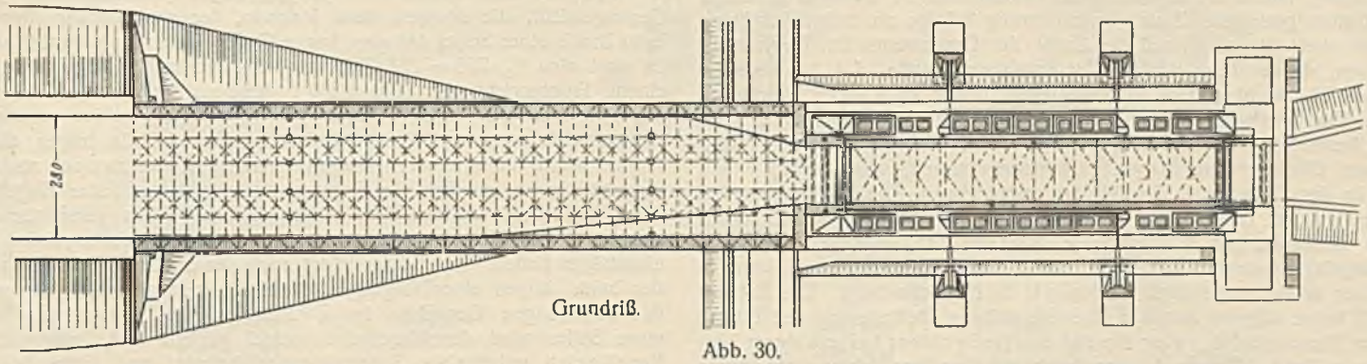
Grundriß

Abb. 29.

Abb. 28 bis 30. Entwurf 1926.



Ansicht von Süden.



Grundriß.

Abb. 30.

Die Akademie äußert in ihrem Gutachten vom 12. Juli 1912 Bedenken gegen die Häufung so zahlreicher größerer und kleinerer beweglicher Teile, sie erachtete auch die Gallschen Ketten bei ihrer großen Länge und ihrem erheblichen Gewicht im vorliegenden Falle für nicht zweckmäßig und die Bremseinrichtungen für nicht hinreichend betriebsicher.

Das Gutachten der Akademie wurde dem bezeichneten Firmenkonzern und der M. A. N. auszugweise mitgeteilt. Beide erhoben Gegenvorstellungen, nahmen an ihren Entwürfen gewisse Verbesserungen vor und reichten Gutachten namhafter Sachverständiger zugunsten ihrer Entwürfe ein. Nach erneuter Prüfung gab die Akademie am 27. Dezember 1912 ein weiteres Gutachten dahin ab, daß die vorgeschlagenen Wege bei vollständiger Durcharbeitung im einzelnen sämtlich zu dem Ziele führen würden, ein betriebsicheres Hebewerk zu schaffen, daß aber nach Ansicht der Akademie, wie erwähnt, unter den drei tüchtigen Entwürfen demjenigen der Firma Beuchelt der Vorzug zu geben sei.

Der Konzern arbeitete später am Hebewerkentwurf weiter und reichte 1921 einen neuen Vorschlag auf ähnlicher Grundlage ein (Abb. 27). Der Trog ist nunmehr 85 × 12 m groß, er hängt an 216 Seilen von 56 mm Durchm.; von 12 Seilen tragen jedesmal 10 die Gegengewichte, die anderen einen Rahmen, der bei Seilbruch die abgestürzten Gewichte aufnehmen kann. Die Seile sind durch Kauschen angeschlossen, ihre Rollen haben 2 m Durchm. und laufen mit bronzenen Buchsen auf stählernen Zapfen, über ihnen sind Holzpappdächer angeordnet. Zum Antrieb, zur Parallelführung und zur Sperrung bei Trogleerlauf dienen, wie in Henrichenburg, umlaufende Spindeln, die aus einem Stück bestehen. Sie müßten etwa 46 m lang werden. Die Gewinde sind doppelgängig geschnitten, die bronzenen Spindelmuttern in Haltern aus Stahl kugelig gelagert. Schwierig ist es, die Spindeln gegen Biegungsbeanspruchungen durch die Mutter zu schützen; das soll durch bewegliche Lagerung des Troges erreicht werden. Die Spindeln werden angetrieben durch vier Gleichstrommotoren von je

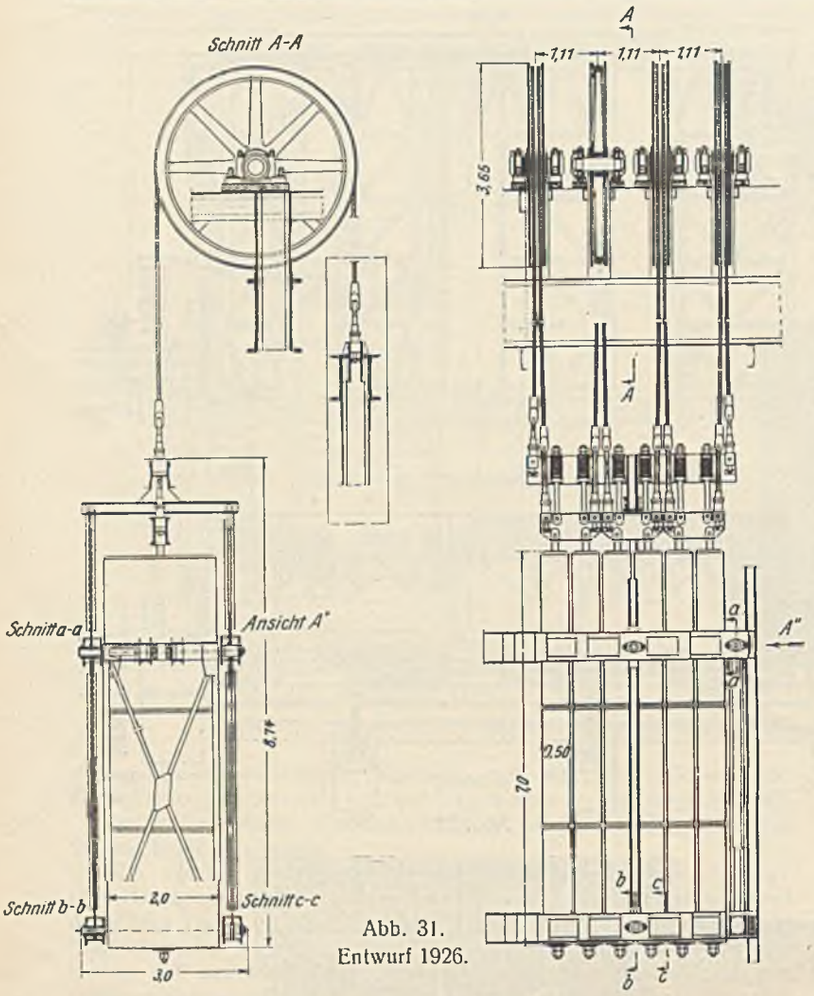


Abb. 31.
Entwurf 1926.

200 PS in Leonardschaltung; die Antriebe sind durch Transmissionen zwangläufig miteinander verbunden. Aufwärts gerichtete Gleichgewichtstörungen, wie sie bei Trogleerlauf eintreten, sollten durch besonders konstruierte Spurlager der Spindeln aufgenommen werden. Für abwärts gerichtete Gleichgewichtstörungen erheblichen Umfangs ist nicht in gleicher Weise Vorsorge getroffen. Nun sind aber außergewöhnliche Gleichgewichtstörungen in erster Linie zu erwarten (und in Henrichenburg aufgetreten) infolge unrichtigen, also zu hohen oder zu tiefen Anfahrens des Troges und dementsprechend zu geringer oder zu großer Trogfüllung; beides ist ungefähr gleich wahrscheinlich. Dabei kann freilich die abwärts gerichtete Gleichgewichtstörung infolge zu tiefen Anfahrens niemals auch nur annähernd die Größe des Grenzwertes für Trogleerlauf erreichen, da der Trog sich nur bis zu seinem Rande, d. i. bei unserem Entwurf 80 cm über dem Wasserspiegel, füllen kann. Das würde zu einem Grenzwerte der Gleichgewichtstörung von 830 t führen, der sich durch besondere Maßnahmen noch herabsetzen ließe. Immerhin vermag ich dem Oberingenieur Heym nicht zuzustimmen, wenn er in einem 1925 in der Zeitschrift „Der Rhein" erschienenen Aufsatz[20]) behauptet, Trogleerlauf sei die einzige Betriebstörung. Zur Stützung der Spindeln gegen Schwankungen sind noch je zwei auf- und abwärts bewegliche Führungslager vorgesehen. Tore und Anschlußdichtungen sollten in ähnlicher Weise ausgebildet werden wie in Henrichenburg. Der Entwurf enthält keine näheren Angaben über Herstellung, Beförderung und Einbau solcher Riesenspindeln, über die Art des Nachrichtens bei etwaigem Verwerfen u. dergl. Unsere Untersuchungen haben uns leider nicht davon überzeugt, daß sie überhaupt zuverlässig aus einem Stück ausgeführt werden können. Über den etwaigen Stoß der Spindeln sagt der angeführte Aufsatz von Heym, bei Längen von mehr als 40 m müsse man daran denken, die Spindeln aus mehreren Stücken zusammenzusetzen. Das bedinge, daß eine solche Spindel fest im Fundament verankert auszuführen ist, so daß sie dann nur Zugkräfte zu übertragen hat und nicht auch durch Drehungskräfte beansprucht wird, wie die sich drehenden Spindeln; für den Stoß seien verschiedene brauchbare und betriebsichere Lösungen gefunden worden. Hier mag sich wohl ein Versehen eingeschlichen haben: bei einer relativen Drehbewegung zwischen Spindel und Mutter wird die Spindel durch Drehmomente beansprucht, ganz unabhängig davon, ob die Spindel sich dreht und die Mutter feststeht oder ob die Spindel feststeht und die Mutter sich dreht. Der Stoß muß also auch bei feststehender Spindel Torsionskräfte übertragen. Wir haben für eine solche Stoßverbindung keine vollbefriedigende Lösung gefunden; ältere Vorschläge sahen zur Übertragung von Torsionsspannungen nur Splinte vor, die dazu gewiß nicht ausreichend sind. Wir versuchten dann Klauenverbindungen zur Aufnahme der Torsionsmomente und innerhalb der Bohrung der Spindel durchlaufende runde Stoßkerne zur Aufnahme der Längskräfte. Auch von einer Firma erhielten wir einen dahingehenden Vorschlag; aber auch der befriedigte uns nicht. Freilich ist es eher möglich, einen Spindelstoß zur Aufnahme von Torsionskräften nach nur einer Richtung geeignet zu gestalten; da aber, wie soeben dargetan, Gleichgewichtstörungen nach beiden Richtungen eintreten können, würde eine solche Spindel nicht einmal als Sperrorgan ausreichen. Weiterhin ist bei Verwendung sehr langer Spindeln mit flachen Gewinden zu befürchten, daß die Muttern heißlaufen. Wir sahen uns schließlich gezwungen, auf die Verwendung einer langen Spindel ganz zu verzichten, und nach einem Vorschlage des Oberbaurats Loebell vom November 1921 als Sperrorgan eine kurze Spindel in langer geschlitzter Spindelmutter — künftig als Mutterbackensäule bezeichnet — und zum Antrieb und zur Parallelführung ein federnd gelagertes Ritzel, an einer Zahnstockleiter angreifend, in Aussicht zu nehmen, wie es der neu mitgeteilte Entwurf zeigt.

Nach Angabe des wiederholt angezogenen Aufsatzes von Heym von 1925 hat sich übrigens auch der Konzern mit Anordnungen beschäftigt, bei denen die Sicherheitsvorrichtungen während des normalen Betriebes überhaupt nicht beansprucht werden und dadurch dem Verschleiß entzogen sind. Als Sicherheitsvorkehrungen sollten dabei lange Spindeln oder kurze Spindeln in geschlitzter Spindelmutter dienen, als Antrieb und zur Parallelführung dagegen andere Organe, wie Ketten oder Ritzel an Zahnstangen. Uns liegt ein Entwurf des Konzerns für eine solche Bauart nicht vor, doch teilte die Gutehoffnungshütte mit, daß sie auf Grund der inzwischen gemachten technischen Fortschritte und der neueren Erfahrungen eine Reihe von Einzelheiten ihrer älteren Entwürfe heute ändern würde.

E. Entwurf der Reichswasserstraßenverwaltung 1926.

Nach dem Entwurf der Reichswasserstraßenverwaltung von 1926 (Abb. 28 bis 38), der zurzeit der Akademie des Bauwesens zur Begutachtung vorliegt, hängt der Trog an 256 Drahtseilen, die in Gruppen von je acht zusammengefaßt sind. Wegen Platzmangels sind je zwei Seile über eine zweirillige Seilrolle geführt; zum Ausgleich des Dralls arbeiten je immer ein rechts- und ein linksgängiges Seil nebeneinander. Die 128 Seilrollen haben 3,50 m Durchm., ihre Zapfen sollen auf Tonnenrollenlagern laufen. Versuche, die in Dahlem mit Gleitlagern ausgeführt wurden, sind nicht befriedigend verlaufen; es ergab sich ein im Hinblick auf die Sperrvorrichtung unbequem großer Anfahrwiderstand, und schließlich traten Anfressungen des Zapfens und der Lagerschale auf. Es lag nahe, auch einen Versuch mit Preßschmierung zu machen, doch ist darauf verzichtet, weil nach dem sachverständigen Rat der Berlin-Anhaltischen Maschinenfabrik A.-G. (Bamag) ein solcher Versuch keinen Erfolg versprach.

Von den acht Seilen einer Gruppe tragen jedesmal sechs je ein Gegengewicht, die übrigen einen Rahmen, der zur Führung dient und beim Bruch eines Seiles das abgerissene Gegengewicht aufnimmt (Abb. 31). Es sind also $^6/_8 \cdot 256 = 192$ Gegengewichte vorhanden, von denen bei einem Troggewicht von etwa 4200 t demnach jedes etwa 20 t wiegt. Die Seilenden sind mit Seiltöpfen (Seilköpfen) angeschlossen und mit Spannvorrichtungen versehen. Die sechs Gewichtseile tragen die Gewichte nicht unmittelbar, sondern greifen zu je zweien an einem Wagebalken an, an dem die Gegengewichte hängen. Jeder Wagebalken hängt außerdem an zwei mit vorgespannten Federn versehenen Zugstangen, die ihr Widerlager in einem drei solcher Balken tragenden Profileisenträger finden. An diesem hängt auch der erwähnte Führungsrahmen, der beim Längen eines Gegengewichtseiles ein senkrechtes Verschieben des zugehörigen Gewichtes im Rahmen gestattet. Durch das Längen eines Seiles wird der Wagebalken schief gestellt und dadurch die im Regelbetrieb unbelastete Federzugstange belastet und diese Belastung auf die Rahmenseile übertragen. Das Gewicht der ablaufenden Drahtseile wird durch vier umlaufende Ketten ausgeglichen, die in den Abbildungen nicht dargestellt sind.

Zu der Frage, ob ein solcher Gewichtsausgleich notwendig ist, sei auf die Abb. 32 u. 33 hingewiesen. Abb. 32a zeigt einen im Gleichgewicht befindlichen Schwimmkörper. Man erkennt, daß dieser, wenn man ihn entweder etwas hinabdrückt oder heraufzieht, stets das Bestreben hat, in seine Gleichgewichtslage zurückzukehren, sich also den lotrechten Kräften gegenüber im stabilen Gleichgewicht befindet. Es folgt, daß eine Gleichgewichtstörung, wie sie beispielsweise in Henrichenburg durch das Eintauchen der Einsteigschächte und des Troggerüstes hervorgerufen wird, sowohl das Anfahren des Troges als auch dessen Bremsung am Schluß der Bewegung in günstiger Weise erleichtert. Senkt man dagegen in Abb. 32b das Gewicht auf der einen Seite, so erhält das Seil auf dieser Seite das Übergewicht und befördert die Abwärtsbewegung, der Gleich-

[20]) Der Rhein, 1925, Heft 14 bis 17, S. 114.

gewichtszustand ist labil. Durch das Gewicht der ablaufenden Drahtseile würde also sowohl die Anfahrt, die wegen der erforderlichen Massenbeschleunigung ohnehin einen wesentlichen Mehraufwand an Kraft erfordert, als auch das Bremsen beim Schluß der Bewegung erschwert.

Abb. 32a. Stabiles Gleichgewicht.

Abb. 32b. Labiles Gleichgewicht.

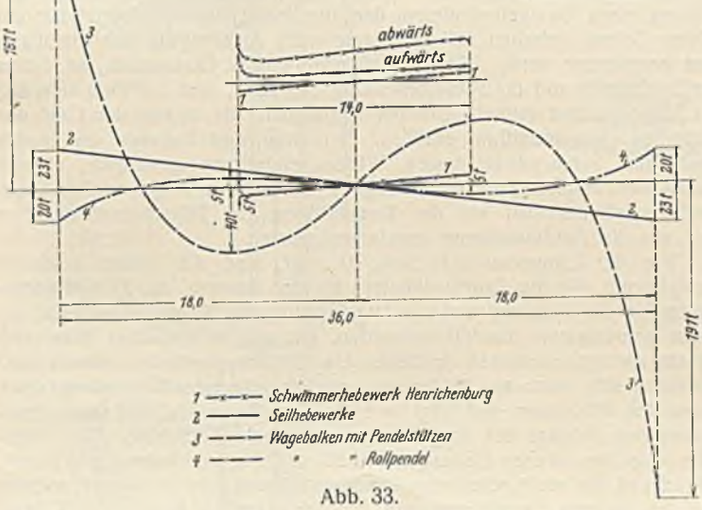


Abb. 33.

Um nun auch die Größen der Gleichgewichtstörungen vergleichen zu können, sind in Abb. 33 für verschiedene Fälle die Störungen ihrer Größe nach in gleichem Maßstab aufgetragen. Die Abszissen bedeuten Weg (oder annähernd auch Zeit), die Ordinaten die Gleichgewichtstörung, gemessen durch die Kraft, die an einer Spindel jeweils angebracht werden müßte, um das Gleichgewicht wieder herzustellen. Linie 1 zeigt (auf die Hubhöhe von 14 m) die Verhältnisse des Henrichenburger Hebewerkes. Darüber sind Kraftbedarfdiagramme dargestellt, wie sie durch unmittelbare Messung des Stromverbrauches gewonnen sind. Sie sind, abgesehen von den Spitzen am Anfang, die den Kraftbedarf zur Massenbeschleunigung wiedergeben, nahezu parallel mit der dort wiederholten Linie 1 zur Darstellung der Gleichgewichtstörungen; ihr Abstand von dieser gibt den Einfluß der Trogbelastung an, die, wie man sieht, stets derart gewählt wird, daß kein Vorzeichenwechsel für die Kräfte eintritt. Linie 2 zeigt für die Größenverhältnisse unseres Entwurfes die Gleichgewichtstörungen infolge des Ablaufes der Drahtseile für ein Ritzel. Vergleicht man die in den Endstellungen sich ergebenden Störungen mit den wesentlich kleineren, aber auch schon unbequemen Störungen am Henrichenburger Hebewerk und beachtet noch, daß, wie dargetan, das Vorzeichen in höchst ungünstiger Weise das entgegengesetzte ist, so wird man die Notwendigkeit eines Ausgleiches erkennen. Der Vollständigkeit halber sind auch die entsprechenden Angaben für einige der vorgeführten Wagebalkenhebewerke dargestellt. Die Linie 3 gilt für Wagebalken auf Pendelstützen; man erkennt, daß solche ohne besonderen Ausgleich nicht wohl ausgeführt werden könnten. Linie 4 gilt für das Rollpendel, wenn der Mittelpunkt des Rollkreises mit dem Drehpunkte des Wagebalkens übereinstimmt. Hier würden die verhältnismäßig kleinen Gleichgewichtstörungen in günstiger Weise Anfahrt und Bremsung erleichtern.

Über die am zweckmäßigsten zu wählende Drahtseilart sollen die in Dahlem in Ausführung begriffenen Versuche Aufschluß geben; zunächst ist ein Längsschlag-Rundlitzenseil aus $6 \cdot 37 = 222$ Drähten von 2,4 mm Stärke und 150 kg/mm² Festigkeit, entsprechend einer rechnerischen Bruchfestigkeit von rd. 150 t, in Aussicht genommen. Daneben kommen insbesondere auch Dreikantlitzenseile in Frage. Längsschlagseile haben bekanntlich starken Drall, der sie für viele Verwendungszwecke ungeeignet macht, aber im vorliegenden Falle von geringem Belang ist; sie bieten vor Kreuzschlagseilen den Vorteil, daß die langgestreckten Windungen der einzelnen Drähte besser auf der Seilrolle aufliegen und daher geringerem Verschleiß unterworfen sind. Durch den großen Durchmesser der Seilrolle wird die Biegungsbeanspruchung der Drähte und damit deren Abnutzung wirksam herabgesetzt; selbst wenn man die Biegungsbeanspruchung nach der zu ungünstigen Gleichung $\sigma = \frac{d}{D} \cdot E$ berechnet, ergibt sie sich nur zu $\frac{0{,}24}{350} \cdot 2\,100\,000 = 1440$ kg/cm².

Zum Antrieb, vergl. die Abb. 34 u. 35, sollen vier auf dem Trog stehende Gleichstrommotoren von je etwa 75 PS in Leonardschaltung dienen. Im Hinblick auf neuere Fortschritte wird noch zu prüfen sein, ob vielleicht auch Drehstrommotoren in Betracht kommen. Für die Frage, ob es zweckmäßig ist, die Bewegungswiderstände ganz oder teilweise durch Wasserballast zu überwinden, indem der Trog oben einige Zenti-

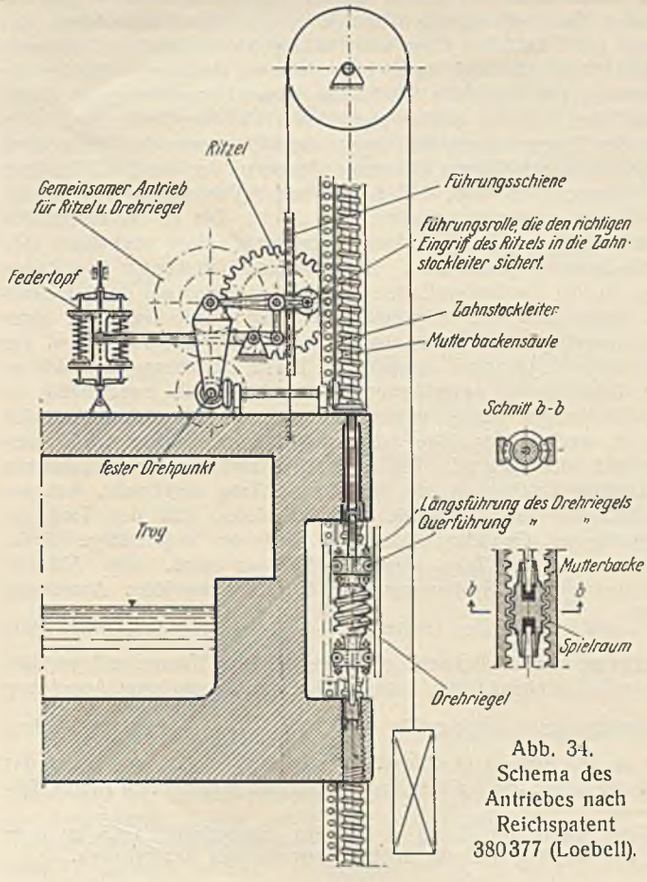


Abb. 34. Schema des Antriebes nach Reichspatent 380377 (Loebell).

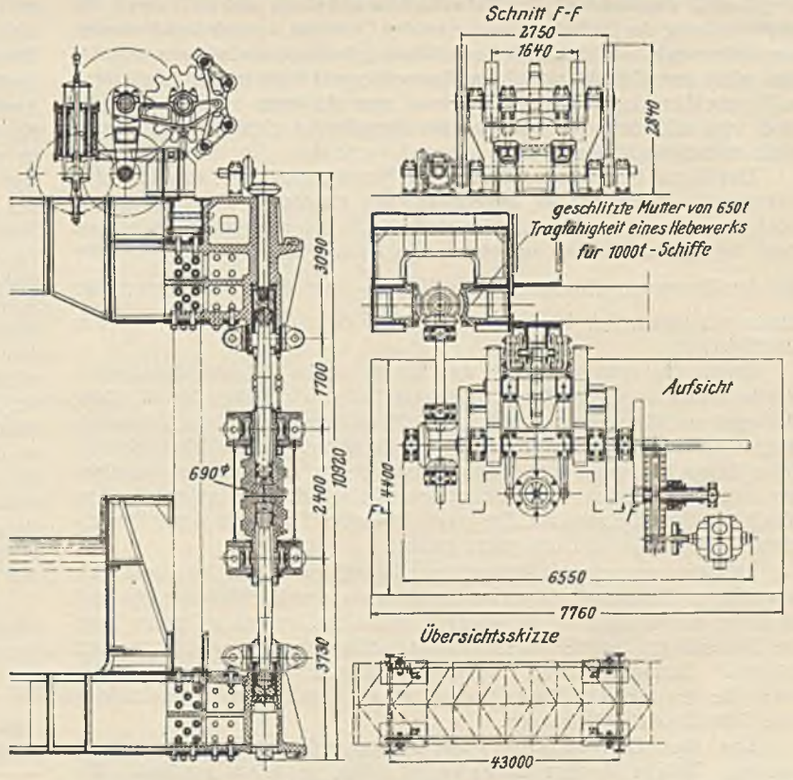


Abb. 35. Entwurf 1926. Trogantrieb nach R. P. 380377 (Loebell).

meter tiefer anfährt, als dem genauen Gewichtsausgleich entspricht, unten entsprechend höher, werden die Betriebserfahrungen am Hebewerk selbst maßgebend sein müssen. 1 cm Wasserfüllung entspricht einer Last von 10 t. Die Motortriebwerke sind durch eine umlaufende Wellenleitung zwangläufig miteinander verbunden und durch vier Rutschkupplungen gesichert. Sie treiben sowohl die vier Ritzel, die an Zahnstockleitern arbeitend den Trog bewegen und seine wagerechte Lage gewährleisten, als auch die zur Sperrung bei Störungen dienenden Drehriegel, das sind kurze Schraubenspindeln, die mit den Ritzeln durch eine Kegelradübersetzung derart verbunden sind, daß sie im Regelbetriebe in den Gewinden der Mutterbackensäule, ohne diese zu berühren, leer mitlaufen, wobei sie oben und unten je einen Spielraum von etwa 30 mm lassen. Die am stärksten beanspruchten Zahnräder sind unterteilt. Die Achse des Ritzels ist nicht fest, sondern auf einem Schwingensystem gelagert. Sie ruht auf einem ungleicharmigen Hebel, der mittels einer Hebelübertragung durch die Vorspannung von sechs zu einem Federtopf vereinigten Schraubenfedern nach beiden Richtungen in seiner Mittellage gehalten wird, nach Überwindung dieser Vorspannung aber nach oben oder unten ausschwingen kann. Die Vorspannung ist so groß zu wählen, daß sie durch die gewöhnlichen Bewegungswiderstände keinesfalls überwunden wird; nach dem Ergebnis vorgenommener Versuche wird sie einem Ritzelzahndruck von etwa 30 t entsprechen müssen.

Wird bei ruhendem Trog, z. B. durch Wasserverluste infolge Leckwerdens, dieser Zahndruck überschritten, so gibt die Federung nach, infolgedessen setzen sich die Drehriegel auf die Gewindegänge der Mutterbackensäule auf und übertragen die Last auf diese. Vermöge einer durch den Ausschlag des Federhebels zuverlässig betätigten Schaltung wird vorher die Strombahn unterbrochen, so daß die Motoren nicht angelassen werden können. Diese nachgiebige Lagerung des Antriebritzels zum Zwecke der Übertragung ungewöhnlicher Störungskräfte vom Triebwerk, das für solche in wirtschaftlichen Abmessungen nicht hergestellt werden kann, auf besondere dafür genügend stark bemessene Sperrorgane ist der Hauptgegenstand des Patentes 380 377 (Loebell). Tritt während der Trogbewegung eine derartige Gleichgewichtstörung ein, gleichviel in welcher Richtung, so wird bei erheblicher Überschreitung des kritischen Zahndruckes gleichfalls der Drehriegel in Wirksamkeit treten, durch die schon erwähnte Schaltung wird aber der Strom unterbrochen und damit das gesamte Triebwerk stillgestellt, noch ehe die Drehriegel aufsitzen, wodurch zugleich erreicht wird, daß stets alle vier Riegel fast vollkommen gleichzeitig zum Anliegen kommen. Zur weiteren Sicherung sollen Maximal- und voraussichtlich auch Minimal- (oder Rückstrom-) Ausschalter angeordnet werden, die bei erheblichen Gleichgewichtstörungen das Triebwerk unabhängig von dem Ausschwingen des Federhebels stillsetzen; bei dem in Eberswalde im Maßstab 1 : 5 ausgeführten Betriebsmodell hat sich ein Minimalausschalter durchaus bewährt. Sollten einmal gleichzeitig beide Arten der elektrischen Ausschaltung versagen, so würden sich die Drehriegel u. U. drehend auf die Mutterbacken aufsetzen und erst durch die große Reibung der flachen, selbstsperrenden Gewinde — nach Durchbrennen der Sicherungen — Stillstand herbeiführen. Auch das würde voraussichtlich nicht zur Zerstörung führen; immerhin wäre bedenklich, daß dann u. U. ein Drehriegel vor den anderen zum Anliegen kommen könnte; man wird m. E. schon deshalb auf die doppelte Art elektrischer Sicherung nicht verzichten dürfen.

Der 30 mm betragende Ausschlag des Ritzels liefert einen ausreichenden Bremsweg, der durch die unvermeidlichen elastischen Formänderungen noch einen Zuwachs erfährt. (Das Maß von 30 mm mag gering erscheinen, doch beträgt für die hier auftretende Geschwindigkeit von 12 cm/Sek. der für den Bremsweg charakteristische Wert $\frac{v^2}{2g}$ nur 0,73 mm, dagegen für einen mit 90 km/Std. fahrenden Schnellzug 32 m, das ist mehr als das 40 000fache.)

Damit der richtige Eingriff des Ritzels in die Zahnstockleiter nicht durch Formänderungen oder dergl. beeinträchtigt wird, trägt der zu seiner Auflagerung dienende ungleicharmige Hebel am Ende einen Führungswagen, der den richtigen Abstand zuverlässig sichert; um die dabei erforderliche Relativbewegung zum Trog zu ermöglichen, ist der Hebel auf einer um eine feste Achse beweglichen lotrechten Schwinge gelagert. Aus ähnlichen Gründen sind die Drehriegel mit dem Triebwerk durch Pendelstützen verbunden und besonders geführt.

Bei der vorgesehenen Hubgeschwindigkeit von 12 cm/Sek. wird sich ein Hub in 5 Minuten, ein ganzer Hubvorgang einschließlich der Ein- und Ausfahrt des Kahns in rd. 20 Minuten vollziehen, so daß an einem Tage bei 20stündigem Betrieb bis zu 30 Doppelschleusungen ausgeführt werden können. Betrachtet man, vorsichtig gerechnet, als Jahresleistung das 200fache der höchsten Tagesleistung, so ergibt sich eine Jahresleistung von 6000 Doppelschleusungen.

Das über Gelände 52 m hohe Gerüst soll aus Eisen hergestellt werden. Welche Vorzüge Eisenbeton hätte, ist schon erwähnt. Wir sind aber bei der Durcharbeitung zu der Überzeugung gelangt, daß es nur durch Verwendung einer Eisenkonstruktion möglich wird, die aus den Antriebs- und Sperrorganen, insbesondere also an der Mutterbackensäule zu übertragenden ungewöhnlich großen Kräfte einwandfrei aufzunehmen und kraftschlüssig in das Grundmauerwerk zu führen. Weiterhin lassen sich bei einer Eisenkonstruktion etwa erforderliche nachträgliche Änderungen, insbesondere Verstärkungen leichter anbringen; und endlich ist zu besorgen, daß in einem Eisenbetongerüst die durch die ungewöhnlich großen hier auftretenden Kräfte hervorgerufenen Schwingungen und Erschütterungen zur Rissebildung Anlaß geben könnten. Doch soll für das Gerüst St 37 verwendet werden, weil die Wahl von höher zu beanspruchenden Stahlsorten bei voller Ausnutzung des Baustoffs zu einem minder steifen und daher den Schwingungen weniger Widerstand leistenden Gerüst führen würde. Dagegen sollen der Trog und die anschließende Kanalbrücke aus St 48 oder Si-Stahl hergestellt werden. Das Gesamtgewicht des Eisengerüstes beträgt rd. 6000 t, das des Troges einschließlich der ihn abschließenden Hubtore und der auf ihm stehenden Maschinenanlage rd. 1600 t.

Wie ersichtlich, stellt das Gerüst im Querschnitt in statischer Beziehung einen Zweigelenkrahmen dar, der jedoch für die Aufstellung ein drittes Gelenk erhalten soll, das erst nach Aufbringung der ständigen Last geschlossen wird. In den Ebenen derjenigen Gerüststiele, an denen der Trogantrieb und die Sperrvorrichtung angreifen, sind zur Verminderung der Schwingungen seitliche Streben vorgesehen, die freilich den Grad der statischen Unbestimmtheit erhöhen. Seilrollen und Zubehör sind durch Dach und Seitenwände gegen Witterungseinflüsse geschützt; ebenso stehen die Motoren auf dem Trog in besonderen Maschinenhäuschen. Endlich befindet sich auf der Trogplattform ein Führerhäuschen, von dem aus die Antriebmotoren angelassen werden.

Wie der Längsschnitt in Abb. 29 zeigt, sind die beiden mittleren Gerüsttürme, die die Zahnstockleitern für den Antrieb, die Mutterbackensäulen für die Sperrung und die Querführung des Troges aufnehmen, zu einem gemeinsamen Bauteil verbunden, der sich in statischer Beziehung als ein Zweigelenkrahmen darstellt. Der Ostturm (nach dem Unterwasser zu) stützt sich durch ein beiderseits gelenkig gelagertes Verbindungsstück gegen den Mittelturm und trägt in Höhe der oberen Haltung einen Prellbalken zum Schutze des Trogtores gegen anstoßende Schiffe. Der Westturm trägt den oberen Haltungsabschluß mit der Verbindung zur Kanalbrücke und die recht schwierige Troglängsführung. Er ist doppelt so lang wie die anderen Einzeltürme und für sich standfest gelagert und dementsprechend an den Mittelturm verschieblich angeschlossen. Durch die Anordnung des oberen Haltungsabschlusses und der Troglängsführung auf dem Westturm wird erreicht, daß sich ein großer Teil der wagerechten Längskräfte — der Anpressungsdruck des Dichtungsrahmens und der Spaltwasserdruck, soweit er außerhalb der Torfläche wirkt — auf kurzem Wege innerhalb des Turmes ausgleicht, ohne die Grundmauern zu belasten.

Zum Abschließen des Troges dienen beiderseits Hubtore; die anschließenden Kanalhaltungen erhalten je zwei Hubtore, von denen eins als Hilfstor gilt. Zwischen Trog und Haltung ist ein gewisser Spielraum erforderlich (Spalt), bedingt durch Längsdehnung des Troges infolge der Wärmewirkung und durch die Spielräume in den Längsführungen. Dieser Spalt von etwa 150 mm größter und 60 mm kleinster Breite muß beim Anschluß des Troges an die Haltungen abgedichtet werden. Dazu dient ein wagerecht verschiebbarer U-förmiger Rahmen, der durch 12 Exzenter so weit vorgeschoben wird, daß die an seiner Vorderfläche angebrachte Gummidichtung wasserdicht schließt (Abb. 36).[21]) Die an der Innenfläche des Rahmens sich ergebende, U-förmig umlaufende Fuge wird durch eine Stopfbuchs-Dichtung geschlossen. Die Exzenterwellen werden über Rädervorgelege hinweg von beiden Enden einer Wellenleitung aus durch Elektromotoren angetrieben, die unmittelbar mit den Schneckenwellen eines Schneckenvorgeleges gekuppelt sind. In die Schneckenräder sind zur Sicherung Rutschkupplungen eingebaut. Diese Einrichtung hat sich an dem im Maßstabe 1 : 5 ausgeführten Betriebsmodell als zweckmäßig erwiesen. Die Rahmen dichten gegen Schilde, die so eingerichtet sind, daß der Trog in wechselnder Höhe anfahren kann, was wegen des Wasserstandswechels notwendig ist. Wie ersichtlich, sind die Dichtungsrahmen an den Haltungsabschlüssen, die Schilde am Trog angebracht, was vor der umgekehrten Anordnung die Vorteile bietet, daß der Trog ein etwas geringeres Gewicht erhält und daß der regelmäßige Spaltwasserdruck auf den Trog wesentlich kleiner wird. Wie Abb. 37 ausweist, beträgt der Spaltwasserdruck bei der gewählten Anordnung $\frac{b\,(t+k)^2}{2}$ und erreicht den Grenzwert $\frac{b\,(t'+k)^2}{2}$ nur dann, wenn ganz ausnahmsweise der in Betracht gezogene höchste Wasserstand wirklich eintreten sollte (vielleicht nie), während bei der umgekehrten Anordnung der Spaltwasserdruck regelmäßig den Wert $\frac{b\,(t'+k)^2}{2}$ annimmt. (Öffnet man das in der Abb. 37 geschlossen dargestellte Trogtor, so ändert das nichts an der Größe der auf den Trog wirkenden wagerechten Kraft.) Bei-

[21]) Vergl. dazu Abb. 3 auf S. 502 der „Bautechnik" 1925 zu dem Aufsatze von Sperling über die Schiffshebewerke des Centrekanals.

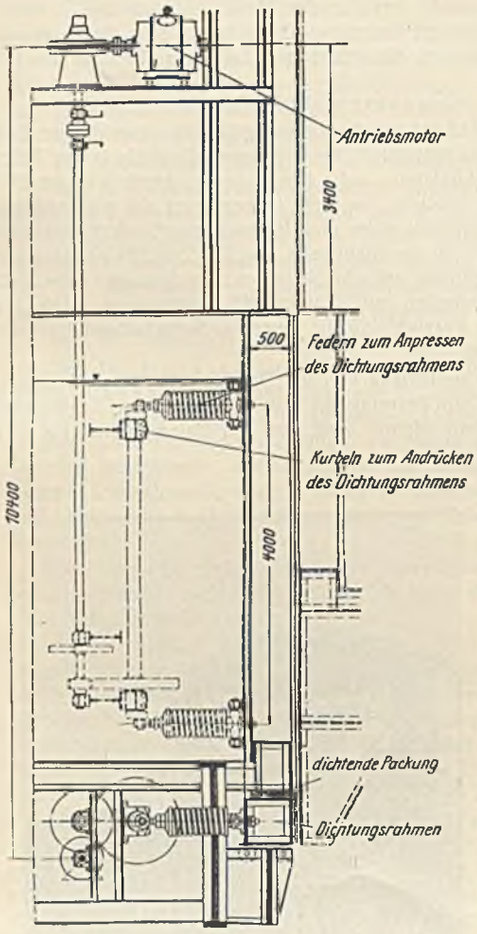


Abb. 36. Entwurf 1926. Spaltabdichtung.

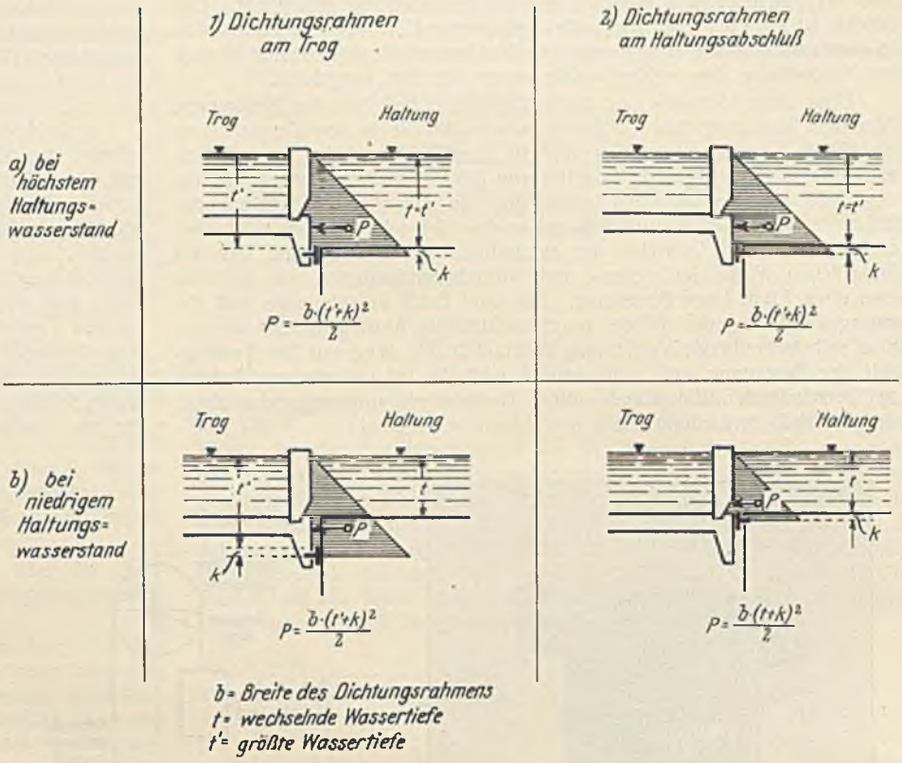


Abb. 37. Entwurf 1926. Spaltwasserdruck.

spielsweise ist im Unterwasser gewöhnlich $t = 2{,}90$, dem mit $b = 14{,}6$ und $k = 1{,}0$ m ein $P = 111$ t entspricht, während sich bei dem in Rechnung gestellten HHW mit $t' = 4{,}70$ ausnahmsweise $P = 237$ t ergeben würde.

Abb. 30 gibt einen Überblick über die Gesamtanlage. Wie daraus ersichtlich, ist zum Übergang zwischen dem anschließenden Damm und dem Hebewerk eine eiserne Kanalbrücke vorgesehen, deren Trog 28 m Nutzbreite aufweist. Bordhöhe des Troges und Tragfähigkeit der Brücke sind so bemessen, daß die Haltung später auf 3,9 m über Trogsohle angespannt werden kann, wodurch erreicht wird, daß die Brücke unverändert bleibt, wenn etwa der Wasserspiegel des Hohenzollernkanals für den Verkehr mit 1000-t-Schiffen gehoben werden sollte. 300 m oberhalb des Hebewerks soll ein Sicherheitstor angeordnet werden, das vom Hebewerk aus durch Fernsteuerung geschlossen werden kann.

Die Untergrundverhältnisse sind bereits in der „Bautechnik" 1926, Heft 11, erörtert worden. In der Abb. 38 ist die Lage der Gründungspfeiler für das Hebewerk und die anschließende Kanalbrücke zu ersehen. Wegen der ungünstigen Baugrundverhältnisse muß die Gründung des Hebewerks auf — 16, teilweise sogar auf — 17,5 m unter N.-N. hinabgeführt werden. Die Senkkasten, deren größter etwa 260 m² Grundfläche hat, sollen mit Druckluft eingebracht werden, nachdem die Baugrube unter Grundwassersenkung auf N.-N. — 8 ausgehoben ist. Die Lagerungsverhältnisse der verworrenen Hangschichten machen es notwendig, die nach dieser Richtung ungünstigste Hangstrecke im Berührungsgebiet zwischen Diluvium und Tertiär auf einer Länge von etwa 80 m von Pfeilern frei zu halten, was eine große Öffnungsweite der Kanalbrücke bedingt. Langwierige Untersuchungen haben aber zu dem Ergebnis geführt, daß trotzdem eine Kanalbrücke einer Dammschüttung bis unmittelbar an das Hebewerk aus wirtschaftlichen und technischen Gründen vorzuziehen ist.

Zur praktischen Erprobung der vorgeschlagenen, zum Teil neuartigen Anordnungen sind zwei Gruppen von Versuchen ausgeführt, die zum Teil noch fortgesetzt werden: erstens in einem Versuchsturm auf dem Gelände des Staatlichen Materialprüfungsamtes in Berlin-Dahlem, in dem Drahtseile, Seilrollen und deren Lager in natürlicher Größe erprobt, ihre Bewegungswiderstände gemessen werden usw., Abb. 39 zeigt den 1924/25 errichteten 23,5 m hohen Versuchsturm; zweitens an einem betriebsfähigen Teilmodell im Maßstab 1 : 5 (Abb. 40), das in Eberswalde aufgestellt ist und eine Erprobung der Betriebseinrichtungen, insbesondere

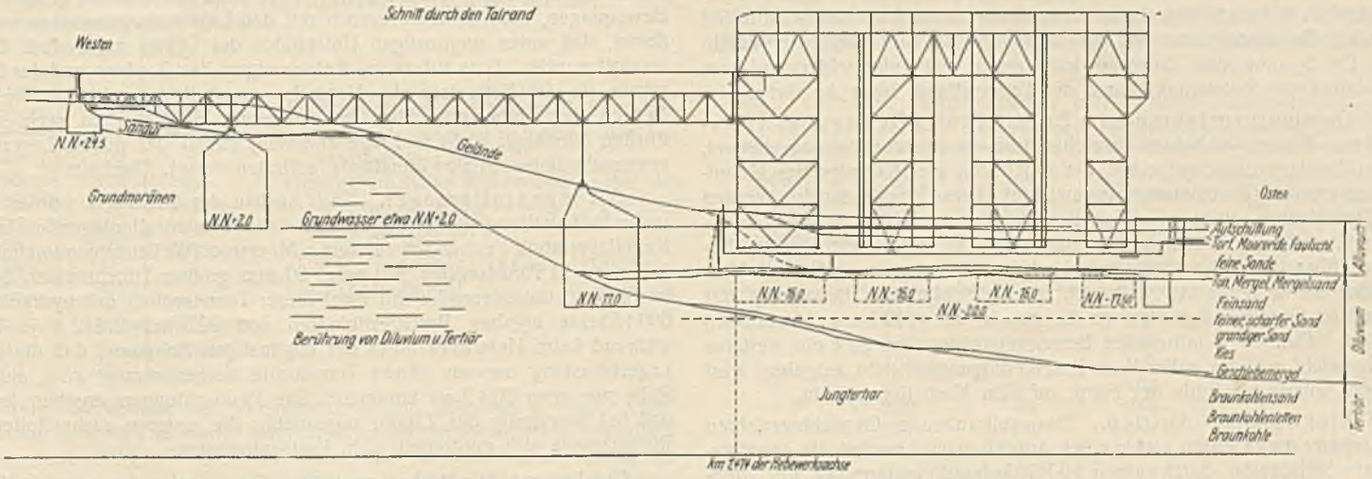


Abb. 38. Entwurf 1926. Längsschnitt in der Hebewerksachse.

also des Antriebes, der Sperrung und der Spaltdichtung ermöglicht. Das Modell ist 1924 bis 1926 durch die Ardeltwerke G. m. b. H. in Eberswalde in engstem Zusammenarbeiten mit dem Neubauamt für den zweiten Abstieg bei Niederfinow, das in Eberswalde seinen Sitz hat, ausgeführt.

Über diese Versuche und deren Ergebnisse berichtet das Neubauamt (Vorstand Regierungsbaurat Plarre) wie folgt: Die in den Versuchsturm eingebaute Versuchseinrichtung besteht gemäß Abb. 41 im wesentlichen aus einer doppelrilligen Seilscheibe von 3,50 m Durchm., wie sie später verwendet werden soll, den beiden über sie laufenden Drahtseilen, der Belastung durch zwei tunlichst genau je 45 t schwere Gewichtskörbe, entsprechend dem Gewichte der zukünftigen Betriebslast, und den erforderlichen Meß-, Aufzeichen- und Antriebvorrichtungen, sie gestattet eine etwa 7,0 m lange Bewegung. Sie kann durch aufzulegende und abzufangende Übergewichte oder durch elektrischen Antrieb betätigt werden. Eine selbstschreibende Vorrichtung zeichnet Dauer, Weg und Geschwindigkeit der Bewegung auf, eine andere mißt die bei elektrischem Antrieb zu überwindenden Widerstände mittels Torsionsdynamometers und zeichnet sie gleichfalls fortlaufend auf.

Abb. 39. Versuchsturm in Dahlem.

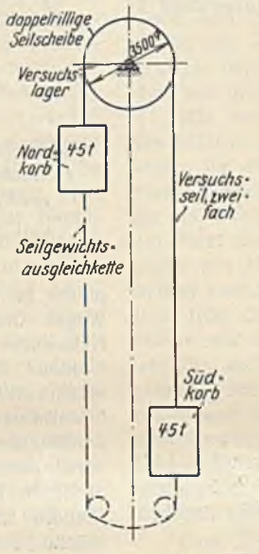


Abb. 41. Versuchseinrichtung in Dahlem.

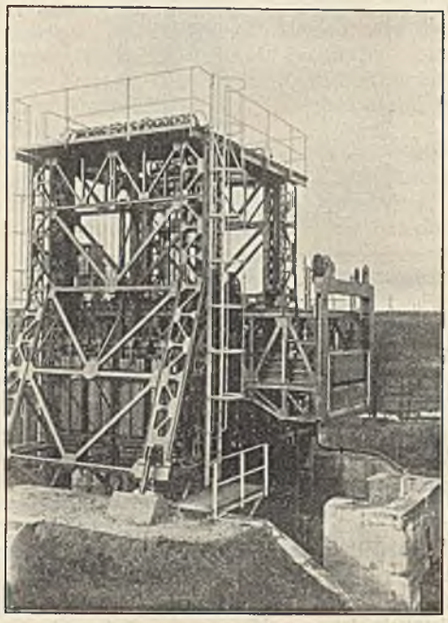


Abb. 40. Modell. 1 : 5.

Versuchsergebnisse.

a) Seilscheibe. Auf der von der Bamag gelieferten zweirilligen Seilscheibe von 3500 mm Seilmittendurchmesser liegen die Seile in den Rillen mit einem Drittel ihres Umfanges auf. Die Nabe ist durch vier um 90° versetzte Teilfugen unterbrochen, so daß immer zwei der vorhandenen acht Arme an einem Nabenstück sitzen und demnach ungehindert schwinden können. Zum Befestigen auf der Stahlwelle von 220/240/220 mm Durchm. sind beiderseits Schrumpfringe auf die Nabe warm aufgezogen; die Teilfugen sind vor dem Bearbeiten mit Weißmetall ausgegossen. Die bisherigen Versuche haben gezeigt, daß die gewählte Seilscheibenbauart den Anforderungen entspricht.

b) Gleitlager. Die gleichfalls von der Bamag gelieferten Gleitlager waren Stehlager von 220 mm Bohrung mit Kugelbewegung; als Lagermetall für die untere Lagerschale diente eine von der Bamag gelieferte Blei-bronze. Verschiedene mit Gleitlagern erprobte Schmiermittel — Sonderöle durch Überflutungsschmierung, Sonderfette durch Druckschmierung — zeigten zwar keine sehr wesentlichen Unterschiede, ließen aber erkennen, daß der Schmierzustand der Lagerflächen stark beeinflußt wird durch die Dauer des Stillstandes der Lager vor dem Versuch bezw. durch die Bewegungen, die vor dem Versuch mit den Lagern vorgenommen werden, derart, daß unter ungünstigen Umständen der Ölfilm unter dem Zapfen zerstört wurde. Dies führte zu Anfressungen des Zapfens und der Lagerschale, die ein Fortsetzen der Versuche unmöglich machten. Da beim Betrieb des Hebewerks aber mit längerem Stillstand zu rechnen ist, dürften Gleitlager nicht in Frage kommen, zumal bei diesen Lagern unerwünscht hohe Anfahrwiderstände auftraten (vergl. Abschnitt g).

c) Tonnenrollenlager. Nach Ausbau der Gleitlager wurden diese unter Beibehaltung der Lagergehäuse durch Tonnenrollenlagereinsätze der Kugellagerfabrik Fischer-Schweinfurt a. M. ersetzt (Wellenzapfendurchmesser 180 mm, 13 Tonnenrollen je Lager, 60 mm größter Durchmesser, 84 mm lang). Belastungsversuche mit zwei dieser Tonnenrollen mit hydraulischer 600-t-Presse ergaben Bruchfestigkeiten von 397 bezw. 542 t je Rolle, während beim Hebewerk unter der ungünstigen Annahme, daß die ganze Lagerbelastung nur von einer Tonnenrolle aufgenommen wird, auf jede Rolle nur etwa 50 t Last kommen. Die Beobachtungen ergaben jedoch, daß bei Bewegung der Zapfen regelmäßig die unteren sechs Rollen der Rollenkränze sich mitdrehen, d. h. Last aufnehmen.

Die Lager haben bisher zu keinen Beanstandungen geführt. Durch eine demnächst aufzustellende Lagerprüfmaschine, die nach dem Grundsatz der reibungslosen Druckbelastung (Vieweg) arbeitet, sollen mit Rollenlagern verschiedener Bauart Dauerversuche vorgenommen und die reinen Reibungswiderstände (ohne Seilsteifigkeitswiderstand) gemessen werden. Die Lagerprüfmaschine soll später auch dazu dienen, alle in das Hebewerk einzubauenden Lager vorher zu prüfen.

Versuchsverfahren.

a) Gewichtsverfahren zum Ermitteln des Anfahrwiderstandes. Die Belastung eines der beiden Gewichtskörbe, in oberster Stellung stehend, wird durch allmählich zunehmendes Auflegen von Zusatzgewichten von 10 bezw. 5 kg so lange gesteigert, bis sich die mit den Gewichtskörben belastete Seilscheibe in dauernde, nicht wieder zum Stillstand kommende Bewegung setzt und die Fahrstrecke bis zum Abbremsen durchläuft. Die Summe aller Zusatzgewichte ergibt den Anfahrwiderstand zum Überwinden der Seilsteifigkeit und der Lagerreibung beim Anfahren.

b) Gewichtsverfahren zum Ermitteln des Bewegungswiderstandes. Einem der beiden Gewichtskörbe, in oberster Stellung stehend, werden Zusatzgewichte aufgelegt, um ihnen eine gleichförmige Beschleunigung zu erteilen (Beschleunigungsgewichte). Diese Zusatzgewichte werden nach Durchlaufen einer gewissen Beschleunigungsstrecke wieder so abgefangen, daß die beschleunigte Bewegung in eine gleichförmige Bewegung übergeht. Beschleunigungsgewicht und -strecke sind durch Vorversuche so ausgeprobt, daß sich die gleichförmige Bewegung mit bestimmten Geschwindigkeiten (z. B. $v = 10$ bezw. 12 bezw. 15 cm/Sek.) vollzieht. Den zu ermittelnden Bewegungswiderstand gibt ein weiteres Zusatzgewicht an, das außer dem Beschleunigungsgewicht aufgelegt wird und von Anfang bis Ende der Fahrt auf dem Korb liegenbleibt.

c) Elektrischer Antrieb. Das zeitraubende Gewichtsverfahren wurde später durch einen elektrischen Antrieb ersetzt, wobei die gewichtsbelastete Seilscheibe durch einen 10-PS-Verbundreguliermotor mit Drehzahlregelung 1 : 6, Umdrehungszahl = 525 bis 1350, Gleichstrom 220 V, über ein Schneckengetriebe und dreistufiges Vorgelege durch Ritzel und Zahnkranz bewegt wird. Jede gewünschte Seilgeschwindigkeit konnte nunmehr durch Feldregler sofort eingestellt werden.

Das zwischen Ritzel und Vorgelege eingebaute Torsionsdynamometer nach Vieweg gestattet, die Drehmomente eines in die Antriebwelle eingeschalteten, aus Sonderstahl bestehenden Meßstabes auf eine Trommel aufzuzeichnen; aus der so gewonnenen Kurve lassen sich die insgesamt auftretenden Widerstände und die gefahrenen Zeiten ermitteln.

d) Seile. Für Versuchsabschnitt A wurden verwendet:

Seil I: Rundlitzendrahtseil 52 mm Durchm. aus blankem Gußstahldraht, in Kreuzschlag, bestehend aus 6 Litzen zu je 37 Drähten von 2,4 mm Durchm., 1 Hanfseele; Bruchfestigkeit des Drahtes 150 kg/mm², rechnerische Gesamtbruchfestigkeit 150 t, Lieferwerk: Felten & Guilleaume, Carlswerk A.-G., Köln-Mülheim.

Für Versuchsabschnitt B wurden verwendet:

Seil II: Dreikantlitzenseil 48 mm Durchm., aus blankem Gußstahldraht, in Längsschlag, bestehend aus 6 Litzen und 1 Hanfseele, jede Litze zusammengesetzt aus 3 zu einem Dreikantherz vereinigten Formdrähten, 12 inneren Runddrähten von 2,25 mm Durchm. und 15 äußeren von 2,85 mm Durchm.; Bruchfestigkeit des Drahtes 150 kg/mm², rechnerische Gesamtbruchfestigkeit 150 t, Lieferwerk: Felten & Guilleaume.

Seil III: Rundlitzenseil wie Seil I, jedoch in Längsschlag.

Seil IV: Dreikantlitzenseil 48 mm Durchm., aus blankem Gußstahldraht, in Längsschlag, bestehend aus 6 Litzen zu je 12 inneren Drähten von 2,25 mm Durchm. und je 12 äußeren Drähten von 2,85 mm Durchm., in jeder Litze ein aus 6 einzelnen, zu einem Dreikantherz verflochtenen Drähten bestehend. Bruchfestigkeit des Drahtes 150 kg/mm², rechnerische Gesamtbruchfestigkeit 143,81 t. Lieferwerk: Westfälische Eisen- und Drahtwerke A.-G., Abteilung Seil- und Kabelwerke Troitzsch, Berlin-Tempelhof.

Die Versuche haben bisher zu einer Entscheidung über die anzuwendende Seilart noch nicht geführt, da keins der Seile ausschlaggebende Vor- oder Nachteile zeigte.

e) Seiltöpfe. Zum Verbinden der Seile mit dem Trog und den Gegengewichten dienen Seiltöpfe aus Baustahl St 48. Die innen konischen Seiltöpfe wurden mit den Seilenden durch eine Bleilegierung vergossen, nachdem das Seil zum Verhindern des Auflockerns abgebunden, die freien Drahtenden zu einem sogenannten Drahtstrauß auseinander- und hakenförmig umgebogen und gereinigt waren, die Hanfseele bis zur Abbindestelle entfernt und der Drahtstrauß in flüssiges Zinn getaucht worden war.

Die Seilzerreißversuche haben ergeben, daß die Seiltöpfe eine Zugbelastung von etwa 135 t anstandslos aushielten, während das mit ihnen vergossene Seil bei dieser Belastung riß. Nach dem Zerreißversuch wurde ein Seiltopf der Länge nach aufgeschnitten, wobei sich zeigte, daß der Bleikopf keinerlei Formänderungen erlitten hatte. Im Betrieb entfällt auf jedes Seil eine Belastung von 22,5 t.

f) Spannvorrichtungen. Die zwischen jedem Seiltopf und der Last angeordneten Spannvorrichtungen sollten ein Nachspannen der Seile um 250 mm unter Last gestatten. Die Versuche zeigten jedoch, daß das Anziehen der Spannvorrichtungen unter Last besondere Vorkehrungen und Hilfsvorrichtungen (langarmiger Hebel, Seilzug, Seilkloben, Kran) erforderlich macht und sehr viel Zeit beansprucht. Es sollen daher beim Hebewerk Maßnahmen getroffen werden, die ein Nachspannen der Seile unter Last entbehrlich machen.

g) Bewegungswiderstände. Die bisher durchgeführten Versuche zur Ermittlung der Bewegungswiderstände gliederten sich in zwei Hauptabschnitte: A. Versuche mit einer Seilart (Seil I) und Gleitlagern; B. Versuche mit vier verschiedenen Seilarten (Seil I bis IV) und Tonnenrollenlagern.

Tafel I. Widerstände mit Gleitlagern und Rundlitzen-Kreuzschlagseilen 52 mm Durchm.

Widerstand in kg		
beim Anfahren	in der Bewegung	
722	302	Gewichtsverfahren
786	262	
788	282	
755	301	
763	326	
738	291	
765	281	
790	293	Elektrischer Antrieb
791	318	
740	284	

Durchschnittlicher Widerstand beim Anfahren = 761,8 kg = 0,85 % der Gesamtlast von 90 t;
Durchschnittlicher Widerstand in der Bewegung = 294 kg = 0,33 % der Gesamtlast von 90 t.

Schmiermittel für Gleitlager:
Spezial-Mineralfett, Voltolöl, Valvolineöl.

Einige Ergebnisse der Versuchsfahrten im Abschnitt A, unter voller Belastung von 45 t je Korb, zeigt Tafel I. Es ergibt sich ein verhältnismäßig gleichmäßiger Verlauf der Werte, die im Mittel etwa 760 kg für den Anfahrwiderstand und etwa 300 kg für den Bewegungswiderstand betragen; es geht hieraus aber auch hervor, daß die Anfahrwiderstände rd. siebenmal und die Bewegungswiderstände rd. dreimal so hoch sind als die späterhin mit Tonnenrollenlagern durch Gewichtsverfahren ermittelten Widerstände.

Die im Hauptabschnitt B für die einzelnen Seilarten ermittelten Durchschnittswerte für den Anfahr- und Bewegungswiderstand sind in Tafel II

Tafel II. Widerstände mit Tonnenrollenlagern. Gewichtsverfahren.

Seilart: R = Rundlitzen, D = Dreikantlitzen, K = Kreuzschlag, L = Längsschlag			Lieferer: $F\&G$ = Felten & Guilleaume, Carlswerk A.-G., Köln-Mülheim. Tr = Westf. Eisen- und Drahtwerke A.-G., Abt. Seil- und Kabelwerke Troitzsch, Berlin-Tempelhof.		Mittelwerte		Gesamtlast von 90 t	
					für den Anfahrwiderstand	für den Bewegungswiderstand	Anfahrwiderstand	Bewegungswiderstand
				mm Ø	kg	kg	%	%
I	R	K	$F\&G$	52	130	115[22])	0,145	0,128
II	D	L	$F\&G$	48	110	90	0,120	0,100
III	R	L	$F\&G$	52	106	85	0,118	0,090
IV	D	L	Tr	48	106	91	0,118	0,100

zusammengestellt. Die höchsten Werte ergaben sich für Seil I (s. oben) mit 130 bezw. 115 kg, die niedrigsten Werte für Seil III mit 106 bezw. 85 kg, die aber nur unwesentlich von den Werten für Seil IV abweichen. Die Zahlen für die Bewegungswiderstände wurden jedesmal für die Seilgeschwindigkeiten 10, 12 und 15 cm/Sek. festgestellt, doch ergaben sich keine Unterschiede für die verschiedenen Geschwindigkeiten. Erwähnt sei, daß eine bei Seil I vorgenommene künstliche Beheizung der Tonnenrollenlagerkörper mit elektrischen Heizpatronen bis auf 40 ° C Lagerwärme ohne Einfluß auf die Widerstände blieb; auch bei den anderen Seilen wurden Einwirkungen durch Temperaturunterschiede nicht festgestellt.

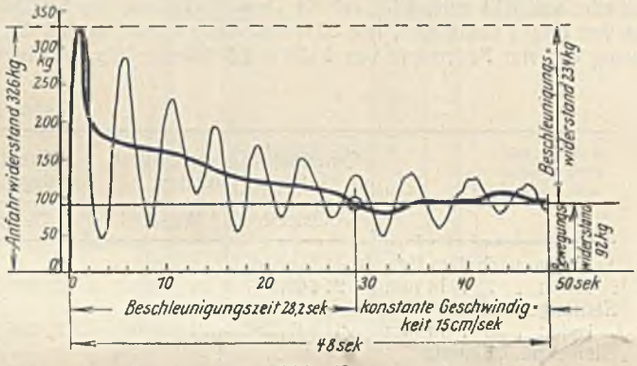


Abb. 42.

Die bisherigen Versuche zum Ermitteln der Anfahr- und Bewegungswiderstände mit elektrischem Antrieb und Torsionsdynamometer erlauben insofern noch keine endgültige Stellungnahme, wenigstens nicht für den Anfahrwiderstand, als die bisher gewonnenen Widerstandskurven störende Schwingungen gezeigt haben, die hauptsächlich auf den noch unvollkommenen elektrischen Antrieb der Versuchsanlage zurückzuführen sind. Im Beschleunigungsabschnitt des Diagramms, vom Anfahren bis zum Eintritt gleichbleibender Fahrgeschwindigkeit, ergaben sich Widerstände, die im Mittel etwa 150 % höher liegen als die mit dem Gewichtsverfahren gefundenen Anfahrwiderstände (Abb. 42). Während die Bewegungswiderstände (Seilsteifigkeit + Lagerreibung) sich durchaus in den Grenzen der mit Gewichtsverfahren ermittelten Bewegungswiderstände halten, also deren Richtigkeit bestätigen, zeigen die Widerstände, die beim Beschleu-

Tafel III. Widerstände mit Tonnenrollenlagern. Elektrischer Antrieb und Torsionsdynamometer.

Drehrichtung l = links r = rechts	Anfahrwiderstand	Bewegungswiderstand	Beschleunigungswiderstand	Zeit der Beschleunigung	Gesamtfahrzeit
	kg	kg	kg	Sek.	Sek.
l	326	92	234	28,8	48
r	330	108	222	18	49,5
l	198	89	109	22,7	72,7
r	267	105	162	21,8	68,7
l	352	94	258	18	62,8
r	287	98	189	12,3	72,2
l	354	84	270	28,3	51
r	368	100	268	18,1	68,3
l	287	91	196	16,7	81,1
r	292	103	189	19,3	76,4
l	397	90	307	23	48
r	420	96	324	25	55

[22]) Gleichbleibend bei 10, 12, 15 cm/Sek. und bei 40 ° C künstlicher Lagerwärme.

nigen der Massen aus der Ruhe bis zur betriebsmäßigen Geschwindigkeit zu überwinden sind, zu hohe Werte. Beispiel: Für eine Gesamtfahrzeit von 48 Sek. ergibt sich nach etwa 28 Sek. Beschleunigungszeit ein Bewegungswiderstand von 92 kg, dagegen ein Anfahrwiderstand von 326 kg, so daß der Beschleunigungswiderstand allein 326 — 92 = 234 kg beträgt.

In Tafel III sind Auswertungsergebnisse einer Reihe von Diagrammen zusammengestellt. Sie zeigen, daß die Bewegungswiderstände bei den verschiedenen Versuchen jeweils in annähernd gleicher Größe auftreten, lassen aber auch die Höhe und die Schwankungen der Beschleunigungswiderstände und Beschleunigungszeiten erkennen. Die verhältnismäßig großen Anfahrwiderstände, die das empfindliche Torsionsdynamometer ohne Zweifel richtig aufzeichnet, sind die natürliche Folge des bestehenden elektrischen Antriebes, dessen mit zu hoher Drehzahl ruckartig anspringender Motor die großen Massen nicht so stetig zu beschleunigen vermag, daß die Diagrammspitzen und -schwingungen sich abflachen.[23])

Die Versuche haben ergeben, daß der Bewegungswiderstand einer in Tonnenrollenlagern laufenden Seilscheibe, die durch zwei an zwei Seilen aufgehängte Gewichtskörbe von je 45 t belastet wird, rd. **100 kg** beträgt. Nach Umstellen des elektrischen Antriebes auf Leonardsteuerung wird noch eine geeignete Anfahrweise zum Ermitteln des Anfahrwiderstandes auszuproben sein, die die großen Massen durch eine allmähliche, feinfühlige Geschwindigkeitssteigerung in Bewegung setzt, und die zeigen wird, ob für die Beschleunigungszeit dann 10, 20 oder mehr Sekunden erforderlich sind. Es darf erwartet werden, daß sich bei richtig eingeleitetem Anfahren niedrigere Widerstände ergeben. Schon jetzt steht aber fest, daß selbst ein Anfahrwiderstand von 326 kg, der 0,36 % der Belastung der Seilscheibe von 90 t entspricht, auf die Gesamtbelastung des Schiffshebewerks von 8400 t übertragen, nur 30 t ausmachen würde, so daß die Vorspannung der vier Federtöpfe von $4 \cdot 30 = 120$ t keinesfalls erreicht wird.

i) Reibung zwischen Seil und Seilscheibe. Für ein Rundlitzen-Kreuzschlag- und ein Dreikantlitzen-Längsschlagseil sind in Tafel V die Werte für μ aus drei Versuchen zusammengestellt, die aus der Beziehung $T = te^{\mu\alpha}$ durch Entlasten eines Gewichtskorbes ermittelt wurden (T = Korbgewicht in t, t = Gewicht des entlasteten Korbes in t). Naturgemäß mußten die Entlastungen bei jedem ersten Versuche etwas höhere sein und ein größeres μ ergeben als beim zweiten und dritten Versuch, da die Seilrillen sich durch den ersten Versuch geglättet hatten. Die Entlastungen verursachten ein außerordentlich langsames, dauerndes Gleiten, nämlich 300 mm Gleitweg in 1 bis 2 Stunden, so daß diese μ-Werte als Grenzwerte für die Reibung der Ruhe angesehen werden dürfen. Die kleinste gefundene Reibungsziffer ist $\mu = 0{,}0903$.

Das Teilmodell 1:5 (Abb. 40) stellt von dem Gerüst den auch die Sicherheitsvorkehrungen tragenden Mittelturm dar, der Trog ist jedoch beiderseits etwas länger dargestellt als das Gerüst, so daß an einer Seite die Dichtungsvorrichtung eingebaut und erprobt werden konnte. An der anderen Trogseite sind Klappen angebracht, die es gestatten, die den Trog füllende Wassermenge (rd. 13 t) innerhalb weniger Sekunden auslaufen zu lassen und in dieser Weise große Gleichgewichtstörungen zu schaffen, wie sie beim endgültigen Bauwerk durch zu große oder zu geringe Trogfüllung, durch Trogleerlauf oder Abreißen einer großen Anzahl von Gegengewichten eintreten könnten.

Schon der Zusammenbau des Modells gab Aufschluß über die für das spätere Bauwerk bei seinen ungewöhnlichen Abmessungen zu erwartenden Aufstellschwierigkeiten und zeigte, daß einer äußerst genauen und maßgerechten Ausführung der Einzelbauteile und sorgfältigem Zusammenbau die größte Aufmerksamkeit zu widmen ist, da sonst die im Verhältnis zu den gewaltigen Abmessungen des Bauwerks geringen Spielräume des Systems durch Wärmedehnungen, toten Gang usw. in ihrer Wirksamkeit wesentlich beeinträchtigt werden können.

Tafel IV. Seilreckung.

	Rundlitzen-Kreuzschlagseil 52 mm Durchm.		Dreikantlitzen-Längsschlagseil 48 mm Durchm.		Rundlitzen-Längsschlagseil 52 mm Durchm.		Dreikantlitzen-Längsschlagseil 48 mm Durchm.	
	Ostseil	Westseil	Ostseil	Westseil	Ostseil	Westseil	Ostseil	Westseil
Seillänge nach dem Entlasten . . . in mm	21 669,7	21 643,8	21 650,2	21 599,6	21 705,6	21 700,0	21 569,3	21 559,0
Seillänge vor dem Belasten . . . in mm	21 537,0	21 530,0	21 546,5	21 529,0	21 566,2	21 583,7	21 506,3	21 480,8
Bleibende Dehnung in mm	132,7	113,8	103,7	70,6	139,4	116,3	63,0	78,2
In % der Länge . . .	0,618	0,530	0,482	0,328	0,650	0,540	0,300	0,364

h) Seilreckmessungen. Regelmäßige Messungen der Seillängen — Seile unbelastet, Seile belastet, Seilzustand nach etwa 350 Dauerfahrten auf und nieder, Seile entlastet usw. — lieferten gemäß Tafel IV die Werte für bleibende Dehnung am Ende jedes Versuchsabschnittes. Die größte gemessene Dehnung betrug mithin 0,65 %, die kleinste 0,3 % der Seillänge, entsprechend einer Längung von 139,4 mm bezw. 63 mm, bei einer ursprünglichen Länge des unbelasteten Seils, gemessen von Oberkante bis Oberkante Seiltopf, von 21 566 mm bezw. 21 506 mm. Werden rd. 0,5 % bleibende Dehnung gerechnet, so entspricht dies — bei einer Seillänge von etwa 56 m am Schiffshebewerk — einer Längung von 280 mm. In das Hebewerk dürfen daher nur vorgereckte Seile eingebaut werden, eine entsprechende Vorrichtung soll am Bauwerk gleich angebracht werden.

Tafel V. Reibung zwischen Seil und Seilscheibe.

Gewichtskorb	Rundlitzen-Kreuzschlagseil 52 mm Durchm.		Dreikantlitzen-Längsschlagseil 48 mm Durchm.	
	μ	Entlastung t	μ	Entlastung t
Nordkorb entlastet	0,119	14,6	0,117	14,6
	0,105	13,1	0,106	13,2
	0,108	13,4	0,093	12,6
Südkorb entlastet	0,113	14,0	0,140	16,6
	0,103	12,9	0,0903	11,84
	0,103	12,9	0,0903	11,84

So traten beim Regelbetrieb des Modells nach vollendetem Zusammenbau zwischen den die Drehriegel stützenden, in die Mutterbackensäulen hineinragenden Eckstücken des Troges und dem Führungsgerüst Klemmungen ein, die erkennen ließen, daß die hier erforderlichen Spielräume reichlich zu bemessen sind.

Auch zeigte sich, daß der Trog an den Drahtseilen frei in dem Führungsgerüst hängen muß, damit seine Führungsrollen zwanglos ohne Druck auf den Schienen des Führungsgerüstes laufen, da diese sonst aufgewalzt, die Befestigungen abgeschert und die Führungsrollen gestaucht werden. Zwecks leichterer Zugänglichkeit und Nachstellbarkeit und einfacheren Zusammenbaues der Mutterbackensäulen wurde für das spätere Bauwerk in Aussicht genommen, diese aus dem eigentlichen Gerüstbau herauszunehmen und als Bauteil für sich auszubilden.

Weiterhin erwies sich der zwischen Drehriegel und Mutterbackengewinde im Modell ursprünglich vorgesehene Spielraum als zu gering, so daß sich der Drehriegel anfangs bereits ohne Gleichgewichtstörung infolge des im Getriebe vorhandenen toten Ganges an die Mutterbacken anlegte. Der Spielraum mußte daher vergrößert werden.

Im Verlaufe der Versuchsfahrten stellte sich ferner heraus, daß die Antriebsritzel während der Trogbewegung ständig federnd ausschlugen. Dies wurde darauf zurückgeführt, daß die Federvorspannung sehr klein ist im Verhältnis zu der riesigen trägen Trogmasse, die an elastischen Drahtseilen aufgehängt ist und auf jede äußere Krafteinwirkung zufolge von Unebenheiten in der Führung, von ungleichmäßigem Zahneingriff der Antriebsritzel, von ungenauer Teilung in der Triebstockleiter usw. schwankend und schaukelnd reagiert. Durch Erhöhen der Federvorspannung konnte dieser Übelstand zwar vermindert, aber nicht völlig beseitigt werden.[24])

[23]) Der eingebaute Motor ist im Verhältnis zur wirklichen Ausführung zu groß und zudem den Betriebsvorgängen nicht genügend angepaßt. Er sucht — unbekümmert um die zu bewegende Last und deren große Masse — gleichbleibende Umdrehungszahl zu halten. Durch die elastische Ankupplung an das Triebwerk wird dadurch ein Wechselspiel zwischen beschleunigenden und verzögernden Kräften, zwischen Motor und Last, hervorgerufen, das zu Schwingungen führt, die das Bild über das Kräftespiel beim Anfahren trüben. Nach Einbau einer Leonardschaltung, wie eine solche auch für die wirkliche Ausführung in Aussicht genommen ist, werden voraussichtlich günstigere Ergebnisse zu erzielen sein.

[24]) Die Federausschläge am Modell sind im Vergleich zur wirklichen Ausführung verhältnismäßig zu groß, weil

1. der Antriebsmotor und demzufolge auch seine Drehmomente und Stoßwirkungen verhältnismäßig zu groß sind,
2. die Zahnstockleiter recht wenig genau gearbeitet ist, so daß

Weiter konnten die ständigen Betriebsausschläge durch Über- und Unterlast im Troge verringert werden. Das verbleibende geringe Federn der Ritzel erwies sich für den Betrieb im allgemeinen als belanglos.

Das erwähnte leichte Schwanken und Schaukeln des Troges während der Fahrt spricht dafür, am endgültigen Bauwerk zur sicheren Führung des Troges in der Querrichtung sowohl an dessen Ober- wie Untergurt Führungsrollen anzubringen.

Vor allem aber gab das Modell über die Wirkungsweise der federnden Ritzel in Verbindung mit den Drehriegeln und die dadurch zu erzielende Sicherung im Fall des Trogleerlaufs Aufschluß:

Wird der Trog in der Ruhelage entleert, so geben die Ritzel nach Überschreiten der Federvorspannung nach, die Drehriegel kommen selbsttätig zum Anliegen und übertragen das Übergewicht der Gegengewichte auf das Führungsgerüst.

Wird bei Abwärtsfahrt das Wasser entleert, so steigt entsprechend dem wachsenden Übergewicht die Stromaufnahme der Motoren, bis der Überstromauslöser diese abschaltet, der Trog zur Ruhe kommt und in gleicher Weise wie vor die Überlast durch die Drehriegel an das Gerüst abgibt.

Wird dagegen bei Aufwärtsfahrt der Trog entleert, so wirkt das wachsende Übergewicht in Sinne der Antriebsmaschinen, beschleunigt also die Bewegung, entlastet aber zugleich die Motoren, die Stromaufnahme sinkt und läßt den Minimalschalter herausfallen, so daß der Trog auch in diesem Fall nach Einfallen der Bremsen, durch die Federtöpfe abgefedert, sanft zum Stehen kommt.

Dabei wurde ein möglichst zeitiges Stillsetzen der Antriebsmaschinen, insbesondere für die Auffahrt des Troges, als ratsam erkannt, damit ein Anlegen des angetriebenen Drehriegels an das Muttergewinde vermieden wird; andernfalls fand bei Aufwärtsfahrt unter dem Drucke der Überlast bis zum Abschalten ein ruckweises Weiterbewegen des Drehriegels und des Troges statt. Durch leichtes Einfetten der Gewindegänge des Drehriegels und der Mutterbacken konnten die Stöße stark gemildert werden, so daß auch in diesem Falle ein allmähliches, ruhiges Aufsetzen eintrat. Im übrigen spricht diese Erscheinung für eine glatte Bearbeitung der Mutterbacken und einen möglichst großen Spielraum für den Drehriegel, damit bis zu dessem Anlegen Zeit zum Stillsetzen des Getriebes gewonnen wird.

Ein Versuch, die Antriebsmaschinen auf mechanischem Wege unter Benutzung der Zusammendrückung des Federtopfes durch einen Ausschalter stillzulegen, führte am Modell zu keinem befriedigenden Ergebnis, weil die Ausschläge bei Trogleerlauf infolge toten Ganges im Getriebe und wegen der Konstruktionsungenauigkeiten in den Zahnstockleitern in stets wechselnder Größe auftraten, so daß sie nicht mit Sicherheit zum Abschalten ausreichten. (Eine derartige Ausschaltung ist indes für die wirkliche Ausführung in Aussicht genommen und verspricht dort Erfolg.)

Die zum Ausgleich der Drahtseilübergewichte vorgesehenen Ketten, die an Stelle der ursprünglich beabsichtigten Spiraltrommeln ausgeführt wurden, haben sich beim Modell als einfach in der Herstellung und im Einbau erwiesen und im Betriebe bisher zu keinerlei Unzuträglichkeiten Anlaß gegeben. Der Gewichtsausgleich ist vollkommen.

Durch den Einbau der Trogandichtungsvorrichtung war es möglich, diese neuartige Anlage praktisch zu erproben. Sie erwies sich als zweckentsprechend und genügt den zu stellenden Forderungen.

Zusammenfassend darf festgestellt werden, daß die aus der Herstellung des Modells und den anschließenden Versuchen für die spätere Ausführung des Hebewerkes erhofften Vorteile erreicht sind und daß insbesondere am Modell keine Beobachtungen gemacht wurden, die gegen einen Antrieb des Hebewerkes nach Reichspatent 380 377 sprechen.

F. Andere neue Entwürfe.

Zum Schluß habe ich noch zwei neuere Vorschläge anzuführen, die uns erst bekanntgeworden sind, als der soeben behandelte Entwurf bereits bearbeitet wurde. Das Krupp-Gruson-Werk, das sich früher schon mit der Tauchbootschleuse nach Bauart Burkhardt befaßt hatte, reichte 1924 den in den Abb. 43 u. 44 dargestellten Vorschlag ein, den das Werk zusammen mit Harkort und Wayss & Freytag bearbeitet hatte.[25]) Zum Gewichtsausgleich dienen vier Gegengewichte, als Zugmittel zwischen Trog und Gegengewicht Gelenkketten besonderer Anordnung mit großen Gliedlängen, die über acht Kettenscheiben von 19,9 m Durchm. laufen. Diese Kettenscheiben sind so bemessen, daß $^7/_{12}$ ihres Umfanges gleich dem kleinsten Hub des Hebewerkes ist, wodurch erreicht werden soll, daß die Ketten am Scheibenumfang befestigt und so als Antriebsorgane benutzt werden können, ohne daß es einer Verzahnung zwischen Scheibe und Kette bedarf. Zum näherungsweisen Ausgleich des Gewichtes der ablaufenden Ketten sind den Befestigungsstellen der Ketten gegenüber an den Kettenscheiben besondere Gegengewichte angebracht. Die Scheiben erhalten Triebstockverzahnung, die mittels entsprechender Stirnradübersetzungen und Verbindungswellen durch zwei Motoren gleichmäßig angetrieben werden. Zur Sperrung bei Gleichgewichtstörungen dienen vier lange Schraubenspindeln, deren Muttern im Regelbetriebe ohne Berührung leer mitlaufen. Bei erheblichen, zu einer Beschleunigung führenden Gleichgewichtstörungen werden die Spindeln durch die Wirkung

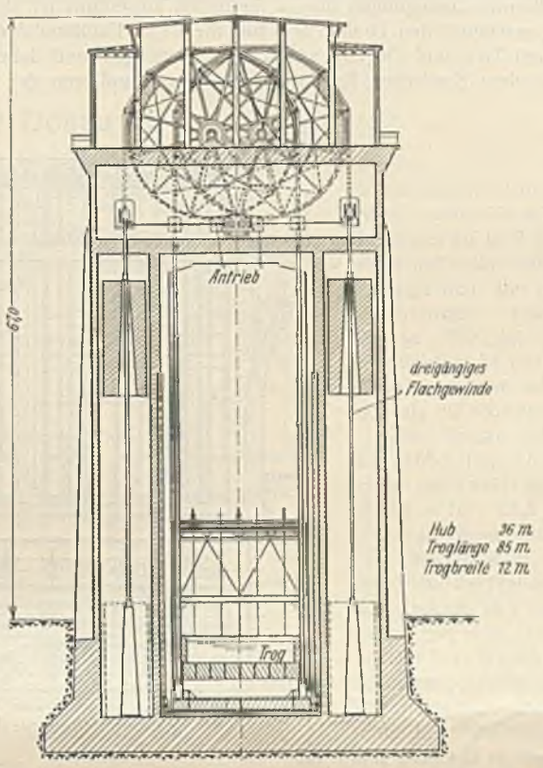


Abb. 43. Querschnitt. Gewichtsausgleich an Gelenkketten, Bauart Krupp-Grusonwerk. 1923.

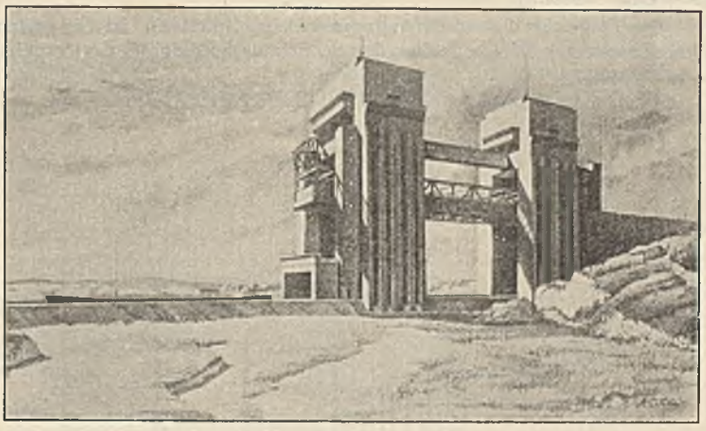


Abb. 44.

eines Fliehkraftreglers stillgesetzt und setzen sich auf. Die Sperrvorrichtung ist nur für Gleichgewichtstörungen nach einer Richtung, entsprechend dem Trogleerlauf, vorgesehen, dementsprechend ist auch der Stoß der Spindel für Torsionskräfte nur nach einer Richtung wirksam angeordnet. Die vorhin erörterte Programmforderung wird also nicht voll erfüllt. Nach unserer Auffassung ist eine Anwendung von Drahtseilen der Anwendung von Ketten unbedingt vorzuziehen. Die große Zahl der überaus stark belasteten, dem Verschleiß ausgesetzten und schwer zu schmierenden Kettenbolzen gibt zu Bedenken Anlaß. Durch das unstetige Abrollen der langen Kettenglieder entstehen unvermeidlich Schwingungen, die wegen der hohen Lasten auch nicht unbedenklich erscheinen. Weiterhin bedingt die starke Konzentrierung der Gewichte eine sehr starke Belastung der Kettenscheibenlager, deren nur 16 angeordnet sind gegenüber 256 bei unserem Entwurf. Die Lager entsprechen hinsichtlich ihrer Be-

dauernd unbeabsichtigte Zahndruckausgleichkräfte von einem Ritzel zum anderen geleitet werden,

3. die beabsichtigten Spielräume zwischen Drehriegeln und Mutterbacken und die unbeabsichtigten Spielräume in Lagern, Gelenken, Zahntrieben usw. sich in dem Modell zueinander nicht in dasselbe Verhältnis setzen lassen wie bei der Ausführung im großen.

[25]) D. R. P. 370 208.

lastung ungefähr den Lagern bei den Wagebalken-Hebewerken, sie sollten als Gleitlager mit Preßschmierung arbeiten.

Wie Abb. 44 zeigt, befinden sich die Maschinenteile in turmartigen Bauten, sind also gegen Witterungseinflüsse geschützt. Die Ausführung des Gerüstes in Eisenbeton führt in Verbindung mit der Konzentrierung der Gegengewichte zu einer wuchtigen, befriedigenden äußeren Erscheinung.

Abb. 45 zeigt die Darstellung einer Studie von Prof. Dr. Krell betreffend Seilaufzug für ein Hebewerk, die in den letzten Jahrgängen dieser Zeitschrift bereits ausführlich veröffentlicht worden ist.[26]) Unsere Stellungnahme zu dem bemerkenswerten Vorschlage geht schon aus den vorstehenden Darlegungen hervor, in denen ausgeführt ist, daß es zweckmäßig erscheint, den Drahtseilen nur die eine Funktion der Verbindung zwischen Trog und Gegengewichten zu übertragen und dabei im Gegensatz zu dem Krellschen Entwurf vom Schlupf und von der Reckung der Seile möglichst unabhängig zu bleiben. Ob vielleicht eine elektrische Verbindung zwischen den Antriebsmotoren an Stelle der mechanischen Kupplung in Betracht käme, mag noch näherer Untersuchungen wert sein.

Die Frage der Trockenförderung von Schiffen ist Gegenstand eines besonderen Wettbewerbes der Schlichting-Stiftung, dessen Ergebnis demnächst bekanntgegeben wird; ein näheres Eingehen darauf wäre daher hier untunlich. Ich bemerke dazu nur kurz: Selbst der eifrige Förderer dieser Idee, Dr. Teubert, äußerte sich gelegentlich dahin, daß Trockenförderung für hölzerne Finowkähne nicht geeignet sei. Nun sind die Fahrzeuge auf dem Hohenzollernkanal etwa zur Hälfte hölzerne Finowkähne, und es wäre durchaus unwirtschaftlich, ein kostspieliges Hebewerk zu errichten, das auch mäßigen Verkehr nicht allein zu bewältigen vermag, sondern dazu neben sich einer teuer zu betreibenden Schleusenanlage bedarf, und das nur der Hälfte der Schiffe den Vorteil schnellerer Abfertigung bietet. Gerade die Forderung, die Schleusentreppe zur Beseitigung ihrer Bauschäden außer Betrieb zu setzen, ist einer der wichtigsten Gründe für den baldigen Bau des Schiffshebewerkes. Dieser Hauptzweck würde also nicht erreicht (es sei denn, daß man die hölzernen Finowkähne wieder auf den Finowkanal verweisen wollte). Trockenförderung kommt demnach für Niederfinow nicht in Betracht.

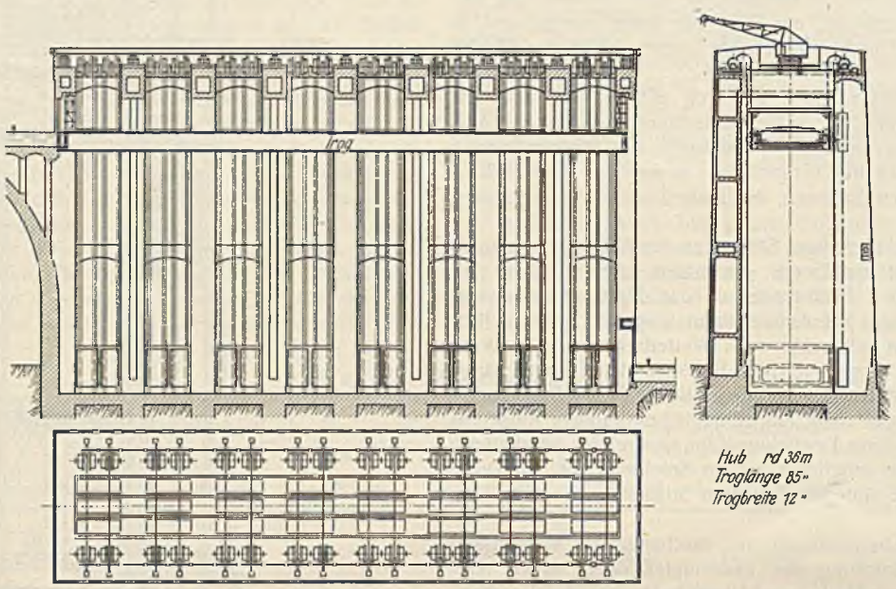


Abb. 45. Schiffshebewerk mit Seilaufzug nach Prof. Dr.-Ing. O. Krell. 1925.

Über einen hierhergehörigen Entwurf der Firma August Klönne — Bauart Klönne-Rheinmetall — finden sich in den Jahrgängen 1923/24, S. 201 u. 422 und 1926, S. 530 der Zeitschrift „Schiffbau“ nähere Angaben. Unsere Stellungnahme zu den technischen Einrichtungen dieses Entwurfes geht schon aus den bisherigen Darlegungen hervor, sowohl hinsichtlich der Verwendungsart der Drahtseile, als auch hinsichtlich der Forderung vollständigen Gewichtsausgleiches, die ja von einem derartigen Hebewerk auch nicht annähernd erfüllt wird.

[26]) „Die Bautechnik“ 1925, S. 492; 1926, S. 245 u. 296.

Abb. 1. Floridsdorfer Brücke. — Gesamtansicht.

Alle Rechte vorbehalten.

Die Floridsdorfer Brücke über die Donau in Wien.

Von Ing. **Ant. Hafner**, Ministerialrat im Bundesministerium für Handel und Verkehr, Wien.

Den Verkehr über die Donau in Wien vermitteln fünf Brücken (Abb. 2). Die erste, dritte und fünfte (rechts unten, auf dem Bild nicht mehr sichtbar) sind Eisenbahn-, die zweite und vierte Straßenbrücken. Sie wurden alle anläßlich der großen Regulierungsarbeiten an der Donau bei Wien, in den Jahren 1869 bis 1876 erbaut. Der Verkehr über die beiden Straßenbrücken, über die schon zur Wende des Jahrhunderts Straßenbahnen geführt wurden, stieg seit der im Jahre 1905 stattgefundenen Vereinigung der äußeren Bezirke zu der Großgemeinde Wien sehr rasch an. Insbesondere war dies nach dem neuen XXI. Bezirk — Floridsdorf — der Fall, der sich in kurzer Zeit zu einem mächtigen Industriegebiet entwickelte. Die Folge davon war, daß der Verkehr über die Kaiser-Franz-Josef-(jetzt Floridsdorfer)Brücke (in Abb. 2 die zweite Brücke von oben) sehr bald einen derartigen Umfang annahm, daß ihm diese nicht mehr genügte. Bei einer Fahrbahnbreite der Strombrücke (die Flutbrücken und die Kaibrücken waren etwas breiter) von 6,2 m, zwei Gehwegen zu je 2 m Nutzbreite und einem zulässigen Höchstgewicht der darüber verkehrenden Lastwagen von je 6000 kg erwies sich diese nicht nur als zu schmal, sondern sehr bald auch als zu schwach.

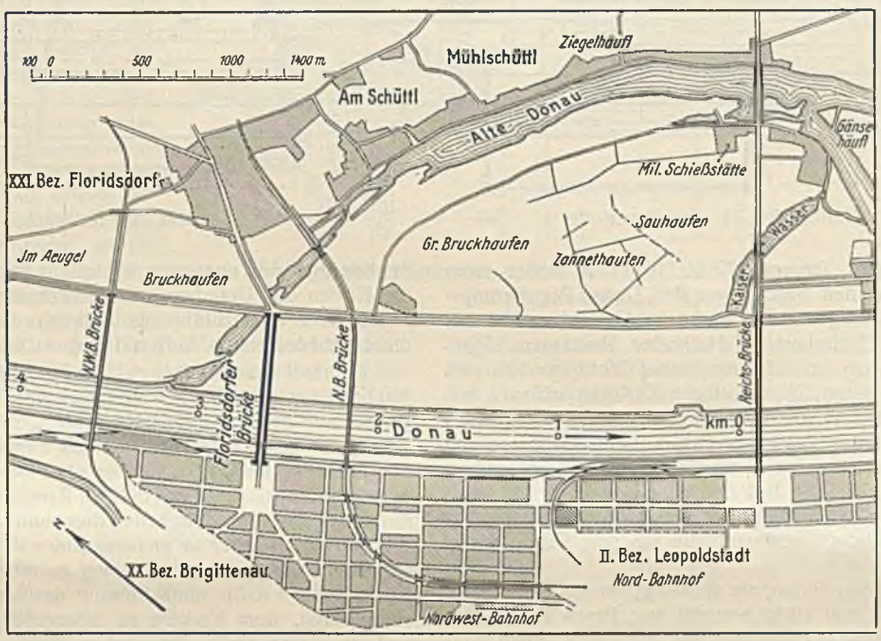


Abb. 2. Lageplan.

Die Brücke gliederte sich (Abb. 3) in eine Flutbrücke mit zwölf Öffnungen zu $35{,}1 + 10 \times 35{,}5 + 36$ m und eine Strombrücke mit vier Öffnungen zu 83,8 m Entfernung der Pfeilermitten. Daran schloß sich eine Kaibrücke mit zehn Durchfahrten von $5{,}5 + 8 \times 9{,}5 + 4{,}1$ m Stützweite, die mehrere Vollbahngleise sowie die Vorkaistraße zu übersetzen hatte, und eine 142 m lange Auffahrtrampe mit drei Durchfahrten zu 5,1 m Lichtweite.

Die Tragwerke aller drei Brücken waren aus Schweißeisen. Die Fahrbahnoberkante der Strom- und Kaibrücke war wagerecht, die Flutbrücke besaß ein Gefälle von 4,9 ‰, die stadtseitige Rampe ein solches von 26,5 ‰. Die Unterkante der Strombrückentragwerke lag mit Rücksicht auf die Schiffahrt 9,9 m über dem örtlichen NW.

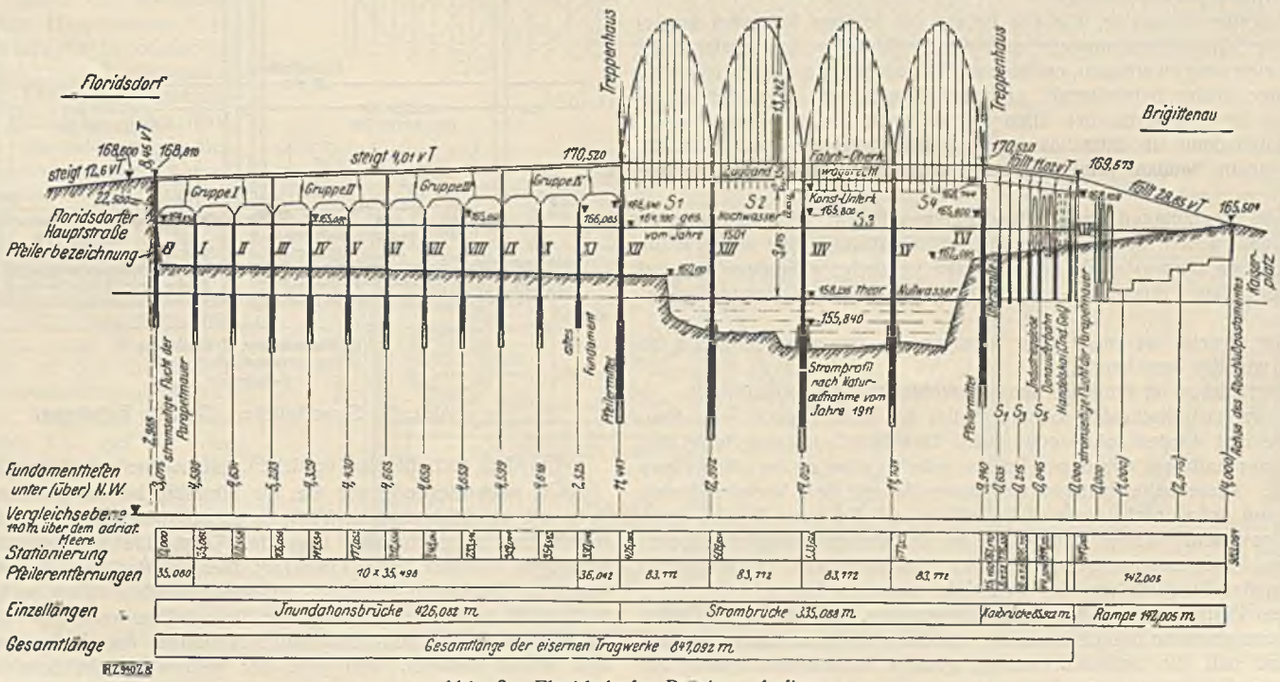


Abb. 3. Floridsdorfer Brücke. Aufbau.

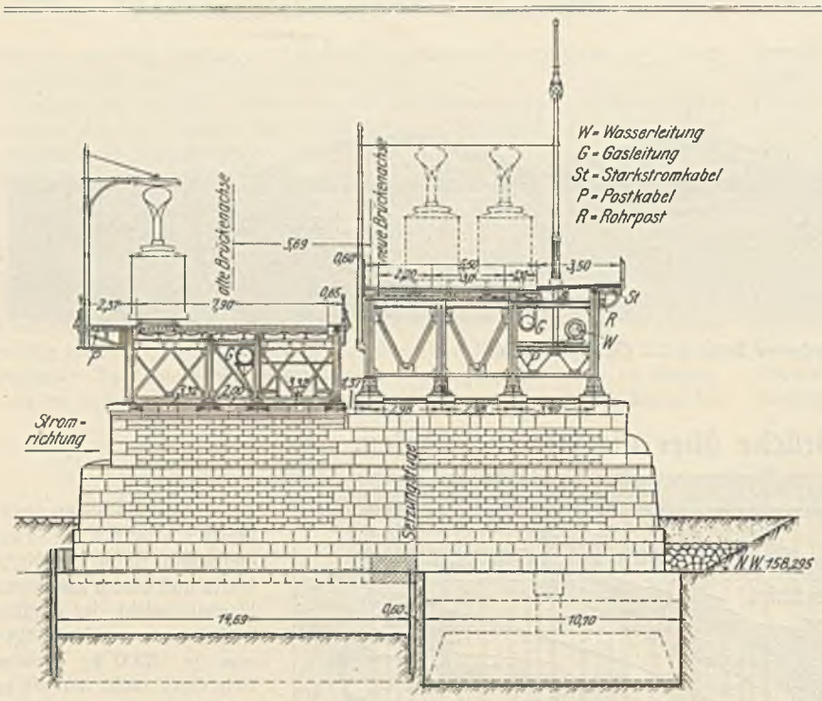


Abb. 4. Flutbrücke. 1. Arbeitsperiode.

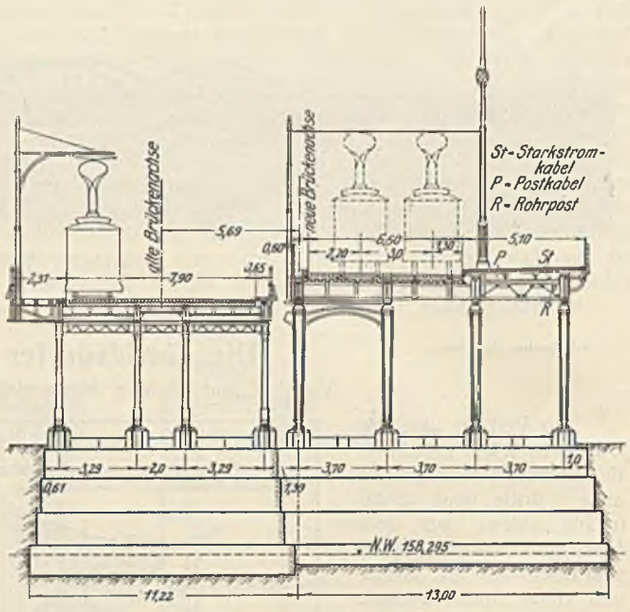


Abb. 5. Kaibrücke. 1. Arbeitsperiode.

Die Brücke wurde in den Jahren 1872 bis 1874 als Ersatz einer stromabwärts gelegenen hölzernen Brücke von der Donau-Regulierungs-Kommission erbaut. Die Lieferung der Tragwerke im Gesamtgewicht von 3983,8 t war der Firma Joh. C. Harkort auf Harkorten übertragen. Maßgebend für ihre Ausführung war ein auf Grund eines Wettbewerbes vom damaligen Oberinspektor der österr. Nordwestbahn Karl Hornbostl verfaßter Sonderentwurf. Von diesem rühmte die Überprüfungskommission „die einfache und klare Ausbildung der Konstruktion, die nur aus wenigen leicht zu beschaffenden Eisensorten sich zusammensetzt und ohne besondere Schwierigkeiten auszuführen ist. Die Brücke zeige ein volles Ebenmaß und nicht unschöne Formen". Tatsächlich war diese Brücke hinsichtlich ihrer architektonischen Durchbildung seinerzeit die schönste Donaubrücke in Wien.

Die Donau-Regulierungs-Kommission, die die vorgenannten Übelstände der Brücke sehr bald erkannte und eifrig bestrebt war, ihnen abzuhelfen, fand, daß eine klaglose Lösung der Brückenfrage nur durch einen vollständigen Umbau erzielt werden kann. Sie kam hierzu durch folgende Erwägungen: Eine Verstärkung der alten Tragwerke genügt nicht den Verkehrsanforderungen, da eine wesentliche Erhöhung ihrer Tragfähigkeit dadurch nicht erreicht werden kann. Diese erscheint bei dem minderwertigen Eisen, den unsicheren Spannungsverteilungen in den verstärkten Gliedern eher bedenklich und beseitigt keinesfalls die ungenügenden Breitenverhältnisse der Brücke.

Ein zweiter Vorschlag, die alte Brücke für leichtes Fuhrwerk zu belassen, für das Schwerfuhrwerk und die Straßenbahn in nächster Nähe der alten eine neue zu erbauen, erschien mit Rücksicht auf die anschließenden Straßenzüge nicht befriedigend und die Möglichkeit einer Überbeanspruchung der Tragwerke der alten Brücke dabei nicht ausgeschlossen.

So blieb denn als dritte Lösung ein vollständiger Neubau der Brücke.

Bei einem Neubau waren zunächst folgende Forderungen zu berücksichtigen:

1. Die Tragfähigkeit und Breite der neuen Brücke muß so bemessen werden, daß neben zwei regelspurigen Straßenbahngleisen noch Raum für drei Reihen schwerster Straßenfuhrwerke verbleibt; außerdem sind auf ihr Wasser-, Gas-, Starkstrom-, Postkabel- und Rohrpostleitungen unterzubringen.

2. Die Brücke ist mehr oder weniger an der gleichen Stelle zu errichten wie die bestehende.

3. Der Umbau ist tunlichst ohne Verkehrsstörungen auszuführen.

Nun war zu entscheiden, ob die Pfeiler der alten Brücke beim Neubau mitbenutzt werden sollen oder nicht. Ihre Nichtbenutzung hätte den Vorteil eines Aufbaues der neuen Brücke gehabt, ohne an der alten etwas zu rühren. Diese hätte während der ganzen Bauzeit dem Verkehr dienen können und wäre nach dessen Überleitung auf die neue Brücke abzubrechen gewesen. Weiter hätte sich bei der dadurch möglichen freien Wahl der Pfeilerentfernungen eine allen Anforderungen entsprechende Lösung in der Ausgestaltung der Tragwerke erreichen lassen.

Diesen Vorteilen stand der Nachteil gegenüber, daß die neuen Pfeiler nur in einem gewissen Mindestabstande von den alten aufzuführen gewesen wären und daß die hierdurch bedingte größere Achsenverschiebung der Brücke das Gesamtbild der Anlage in bezug auf die anschließenden Straßenzüge nur ungünstig beeinflußt hätte. Ferner hätten sich dadurch die Kosten des Unterbaues wesentlich erhöht, und es hätte der bis zum Stromgrund durchzuführende Abbruch der alten Pfeiler ebenfalls einen nicht unbedeutenden Aufwand verursacht.

Demnach entschloß sich die Donau-Regulierungs-Kommission, beim Neubau die alten Pfeiler mitzubenutzen und den Querschnitt der neuen Brücke auf den der alten übergreifen zu lassen. Dadurch war das Einhalten der oben erwähnten beiden Forderungen ohne weiteres möglich. Die dritte Forderung, den Neubau ohne wesentliche Verkehrsstörungen herzustellen, war zunächst nur bei den Rampenanlagen sowie bei der Flut- und Kaibrücke ohne Schwierigkeiten durchführbar. Da zufolge genügender Höhe die Tragwerke dieser in mehrere unter der Fahrbahn liegende Hauptträger aufgelöst werden konnten, so war es möglich, die neue Brücke in halber Breite (Abb. 4 u. 5), ohne Störung des Verkehrs, neben der bestehenden auszuführen, dem Verkehr zu übergeben, die alte Brücke abzubrechen und an deren Stelle die andere Hälfte der neuen anzubauen. Bei der Strombrücke war dieser Vorgang nicht so leicht durchführbar, da hier infolge der für die große Stützweite zur Verfügung stehenden zu geringen Bauhöhe die Hauptträger über der Fahrbahn angeordnet werden mußten.

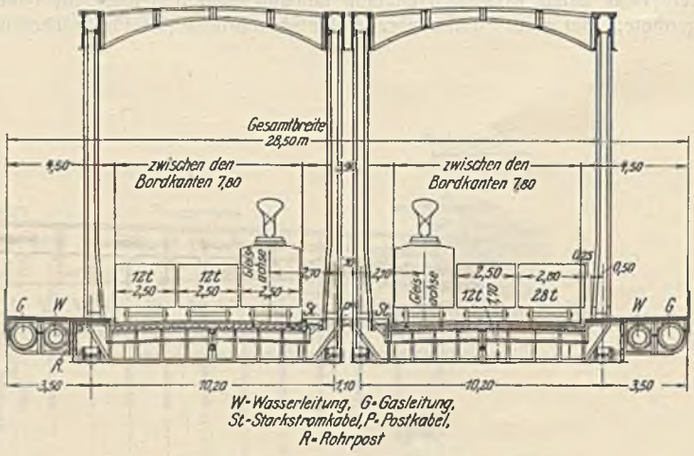


Abb. 6. Strombrücke. Geteilte Fahrbahn.

Um dies auch hier zu erreichen, gab es mehrere Lösungen:

Die nächstliegende war die, die Strombrücke mit geteilter Fahrbahn, d. h. mit vier Hauptträgern (Abb. 6) auszubilden. Die Anordnung zweier unmittelbar nebeneinander liegenden Tragwände konnte jedoch für ein derartiges Bauwerk einer Großstadt nicht befriedigen; außerdem wären dabei die Baukosten erheblich größer geworden. Dies auch deswegen, weil nebst einer Verbreiterung der Strombrücke auch eine Verbreiterung der anschließenden Kai- und Flutbrückenfelder notwendig gewesen wäre, und weiter dadurch, weil jede der beiden Strombrückenhälften außer einem Straßenbahngleis doch zwei Reihen Fuhrwerke hätte aufnehmen,

beide zusammen somit vier Reihen Fuhrwerken hätten Platz bieten müssen, wogegen bei „ungeteilter Fahrbahn“ (Abb. 7 u. 10) mit bloß drei Reihen das Auslangen gefunden werden sollte.

Eine andere Möglichkeit war die, die neue Brücke neben der bestehenden auszuführen, hernach die alte aus- und an deren Stelle die neue einzuschieben. Sollte die Unterbrechung des Verkehrs dabei den Zeitraum von einigen Tagen nicht überschreiten, so müßte die Verschiebung der neuen Tragwerke im betriebsfertigen Zustande stattfinden. Die Wahl dieses Vorganges scheiterte an den bedeutenden Kosten, die sowohl für die zeitweisen Unterstützungen der Tragwerke wie für die den großen Lasten entsprechend einzurichtenden Verschubvorrichtungen aufgelaufen wären. Eine weitere Erwägung, die bestehende Brücke vor Beginn des Baues auszuschieben, hätte wohl den Vorteil der Errichtung der neuen Tragwerke in ihrer endgültigen Lage gehabt, es erschien jedoch bedenklich, die aus minderwertigem Eisen bestehende alte Brücke den unbekannten Folgen einer Verschiebung auszusetzen und während der ganzen Bauzeit dem Verkehr zu überlassen.

Erst durch den gewählten und, soweit bekannt, hier zum erstenmal angewendeten Montierungsvorgang der Strombrücke wurde es möglich, den Neubau nicht nur unter Einhaltung der vorerwähnten Bedingungen herzustellen, sondern auch die unzweifelhaft besser entsprechende Lösung mit „ungeteilter Fahrbahn“ durchzuführen.

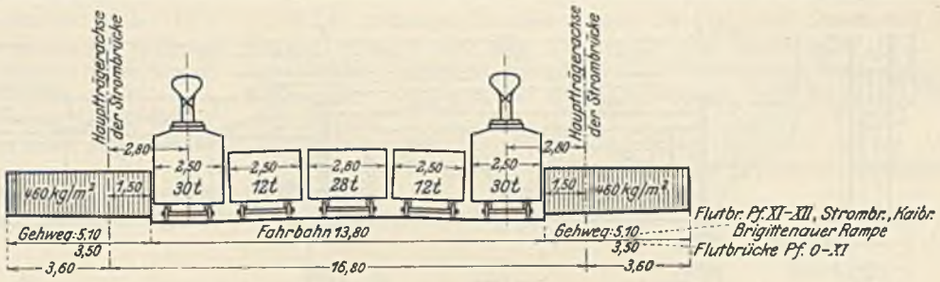


Abb. 7. Belastungen.

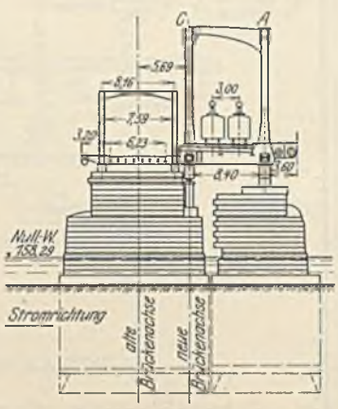


Abb. 8. 1. Arbeitsperiode.

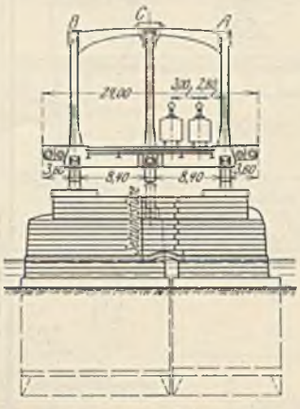


Abb. 9. 1. bis 2. Arbeitsperiode. Strombrücke. Querschnitt.

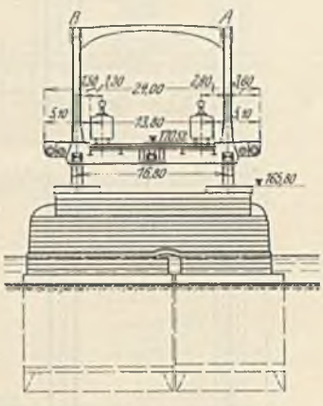


Abb. 10. 2. Arbeitsperiode.

Bei der Flut- (Abb. 4) und Kaibrücke (Abb. 5) waren demnach von den sieben Hauptträgern in der ersten Bauperiode vier aufzustellen, die Fahrbahn aufzubringen und durch ein einstweiliges Geländer abzuschließen.

In der zweiten Bauperiode waren nach Abbruch der alten Brücke die restlichen drei Trägerstränge mit der Fahrbahn herzustellen und die Brücke dem Verkehr zu übergeben. Das gleiche gilt für die beiderseitigen Auffahrtrampen (Abb. 3), die nur zu verbreitern und teilweise zu erhöhen waren.

In den vier Strombrückenöffnungen, deren Tragwerke im fertigen Zustande aus je zwei Hauptträgern *A* und *B* bestehen, stellte sich der Montagevorgang wie folgt dar: In der ersten Bauperiode (Abb. 8) ist außer den endgültig aufzustellenden Hauptträgern *A* je ein in der künftigen Brückenachse liegender Hilfsträger *C* einzuschalten und nach Einbau der Fahrbahn auf den so gebildeten Brückenteil der Verkehr überzuleiten. In der zweiten Bauperiode ist nach Abtrag der bestehenden Brücke zunächst in einer Öffnung ein endgültiger stromaufwärtiger Hauptträger *B* als dritter Träger (Abb. 9) aufzustellen und der übrige Teil der Fahrbahn einzubauen. Nach Zusammenschluß der Querträger und der oberen Querverbände mit dem in Verkehr stehenden stromabwärtigen Brückenteil ist der Hilfsträger *C* abzubrechen (Abb. 10) und in der nächsten Öffnung als endgültiger Träger *B* zu errichten. In gleicher Art ist sodann der Träger *C* der zweiten Öffnung als Hauptträger *B* in die dritte, jener der dritten in die vierte überzusetzen, während der Hilfsträger *C* der vierten Öffnung zum Schluß übrigbleibt (Abbild. 11). Somit sind nur drei Hilfsträger *C* sowie die endgültigen Träger auszubilden, während der vierte, nicht mehr zu verwendende, bloß für die in der ersten Bauperiode auftretenden geringeren Belastungen zu berechnen ist. Die Zugbänder der vier Hilfsträger, die nicht umgesetzt werden, sondern im endgültigen Zustande in der Brückenachse verbleiben und

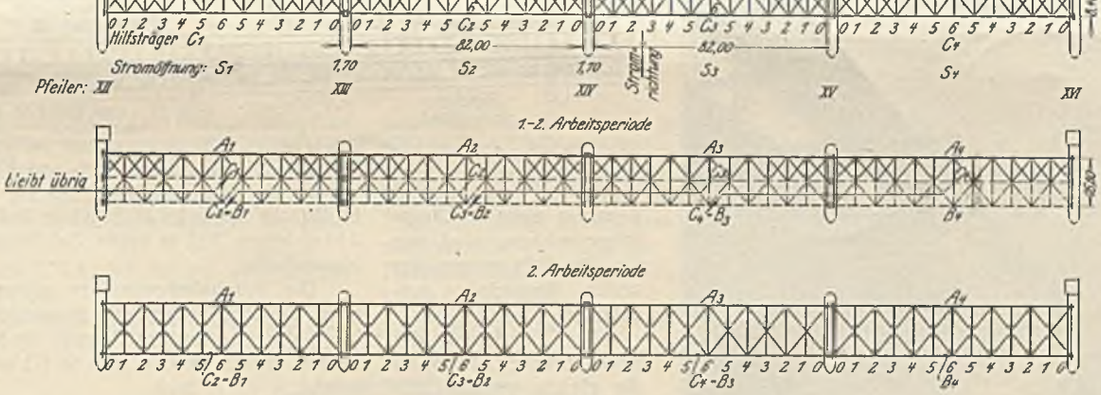


Abb. 11. Strombrücke. Austeilung der Hauptträger.

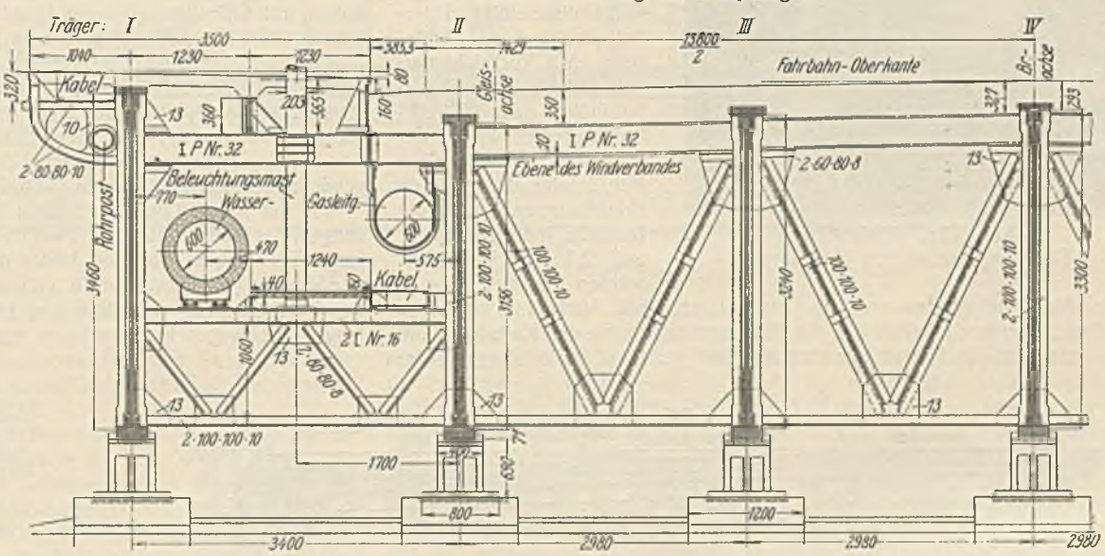


Abb. 12. Flutbrücke. Querschnitt über den Pfeilern.

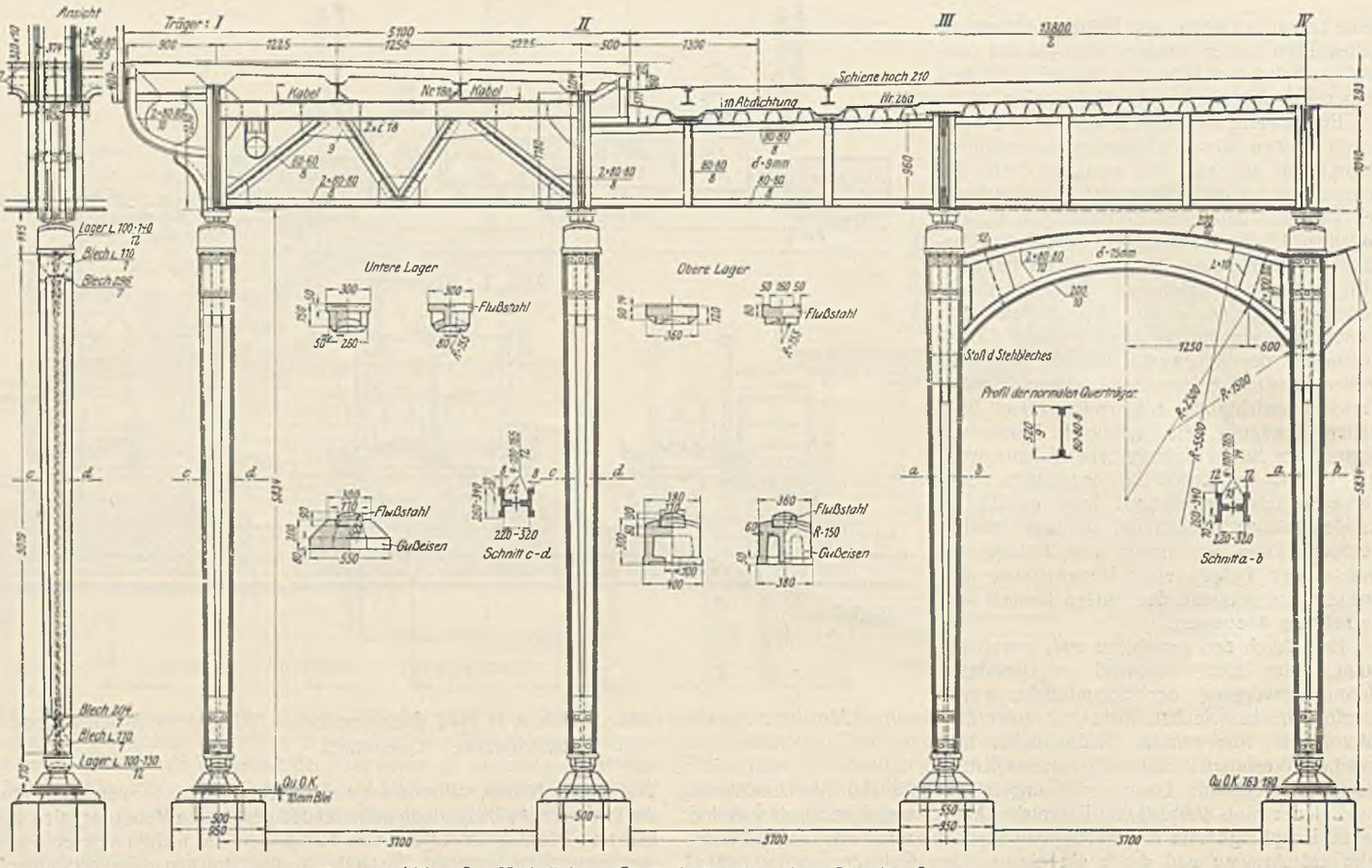


Abb. 13. Kaibrücke. Querschnitt über dem Ständer S_1.

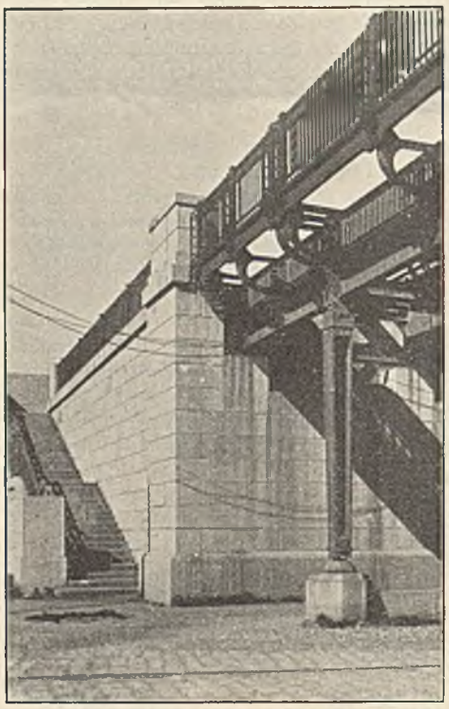


Abb. 13a. Kaibrücke.
Übergang am rechten Widerlager.

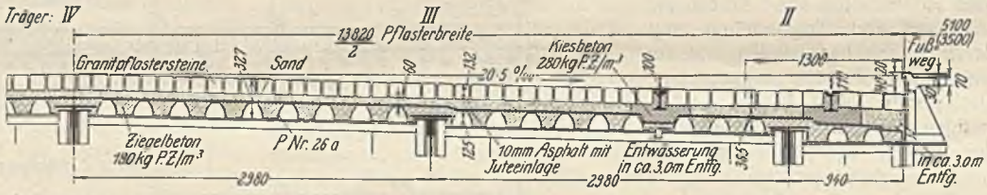


Abb. 14. Fahrbahn der Flut- und Kaibrücke.

dann nur mehr als Längsträger wirken, sind nur für die Belastungen der ersten Bauperiode auszubilden.

Die Gliederung der neuen Brücke (Abb. 3) ist die gleiche wie jene der alten, nur die Steigungsverhältnisse erhielten hierbei eine geringe Änderung. Mit Rücksicht darauf, daß die lichte Durchfahrthöhe der Strombrückenfelder wegen der Schiffahrt beizubehalten war, infolge der größeren Hauptträgerentfernung die Bauhöhe jedoch von 1,11 auf 2,35 m vergrößert werden mußte, wurde hier die Fahrbahnoberkante um das entsprechende Maß (1,24 m) höher gelegt. Hierdurch haben sich die Steigungsverhältnisse der Kaibrücke und der stadtseitigen Rampe nur unwesentlich geändert. Die Steigung der Flutbrücke wurde im allgemeinen beibehalten und anschließend daran eine 310 m lange, 30,1 m breite Zufahrtrampe mit 8,45 bezw. 12,6 ‰ Gefälle eingeschaltet.

Die Fahrbahnbreite der neuen Brücke beträgt durchweg 13,8 m (Abb. 12, 13 u. 7), jene der linkseitigen Auffahrtrampe 15,0 m. Die Gehwege der stadtseitigen Rampe, der Kai- und Strombrücke und des ersten Feldes der Flutbrücke sind je 5,1 m, jene des restlichen Teiles der Flutbrücke je 3,5 m breit.

Die Fahrbahn der Flut- und Kaibrücke (Abb. 14) besteht aus einem 5" hohen, mit Asphalt vergossenen Granitsteinpflaster in Sand, jene der Strombrücke (Abb. 15) aus 13 cm hohem Lärchenholzstockelpflaster auf Beton. Die Fahrbahn der Auffahrtrampen ist mit 7" starken Granitwürfeln in Sand gepflastert. Die Gehwege (Abb. 14 u. 15) der Tragwerke erhielten 7 cm starke Eisenbetonplatten mit 3 cm Asphaltbelag, die Gehwege der stadtseitigen Rampe ein 10 cm hohes Granitsteinpflaster in Sand.

Bei der statischen Berechnung der Tragwerke waren außer dem Eigengewicht folgende Belastungen (Abb. 7) zu berücksichtigen:

1. Auf jedem Gleis ein 2,50 m breiter Streifen von Straßenbahnfahrzeugen, jeder enthaltend zwei vierachsige, 30 t schwere, 10,30 m lange Triebwagen, vor und hinter diesen vierachsige 30 t schwere und 11,55 m lange Triebwagen in unbeschränkter Zahl; bei der Berechnung der Fahrbahn war außerdem ein zweiachsiger, 20 t schwerer, 10,65 m langer Triebwagen in Betracht zu ziehen.

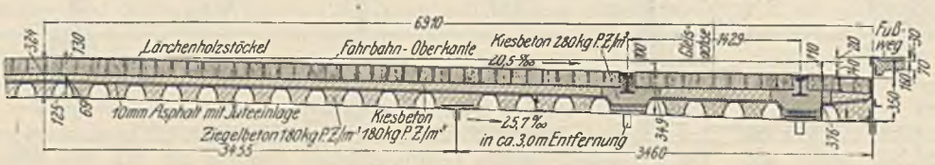
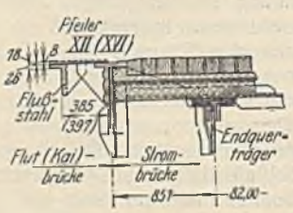


Abb. 15. Fahrbahn der Strombrücke.



Zu Abb. 15. Fahrbahnabschluß über Pfeiler XII (XVI).

2. Vier Laststreifen zu 2,50 m Breite mit unbeschränkt vielen 12 t schweren, vierspännigen Lastwagen und ein Laststreifen von 2,80 m Breite mit einem 28 t schweren, achtspännigen Lastwagen, vor und hinter diesem unbeschränkt viele 12 t schwere, vierspännige Lastwagen; an Stelle des 28-t-Lastwagens ein 2,50 m breiter Laststreifen mit einer 18 t schweren Dampfstraßenwalze von 6,10 m Länge, vor und hinter dieser unbeschränkt viele 12 t schwere, vierspännige Lastwagen.

3. Auf den Gehwegen und dem durch die Laststreifen nicht besetzten Raum der Fahrbahn eine gleichförmig verteilte Belastung von 460 kg/m².

3. Die zulässigen Beanspruchungen für Fluß- und Sonderstahl auf Biegung betragen 1000 bezw. 1200 kg/cm² und für die nach Hertz zu berechnenden Pressungen in Lagerteilen für Flußstahl 6500, für Sonderstahl 8000 kg/cm². Der Druck auf die Auflagerquader durfte 50 kg/cm² nicht überschreiten.

4. Für die Beanspruchung der Bauteile aus Eisenbeton galt die „Vorschrift über die Herstellung von Tragwerken aus Eisenbeton bei Straßenbrücken".

5. Für die Berechnung gedrückter Tragwerkglieder war die „Vorschrift

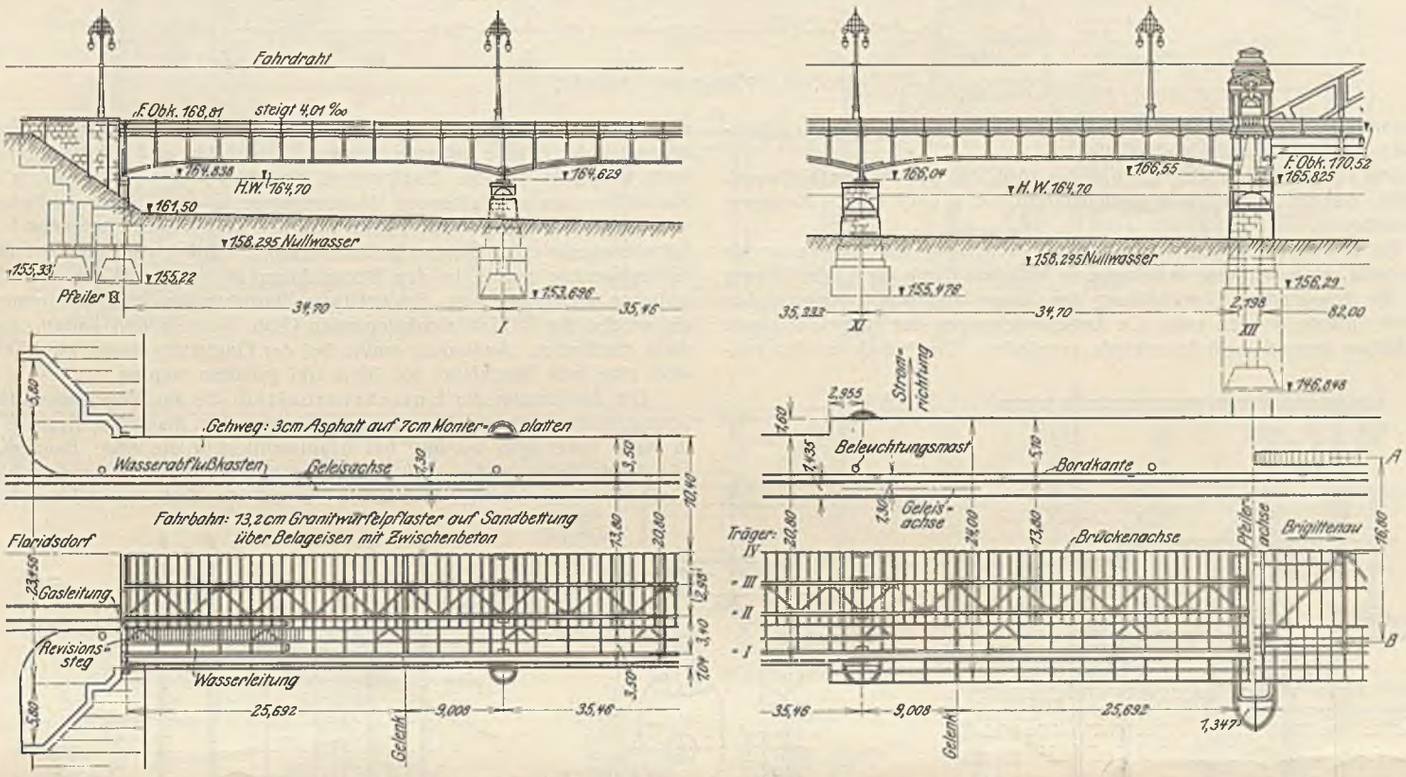


Abb. 16. Flutbrücke. Ansicht und Grundriß.

4. Hierzu kamen als ständige Belastung noch zwei Gasrohrstränge zu 170 kg, zwei Rohrstränge Wasserleitung zu 790 kg, zwei Starkstromkabelleitungen zu 160 kg, zwei Postkabelleitungen zu 140 kg und zwei Rohrpostleitungen zu 30 kg Gewicht für 1 lfd. m. Ferner auf der Flutbrücke zwei je 1,24 m breite Revisionsstege und in jeder Strombrücke ein Fahrgerüst mit einer Nutzlast von 100 kg/m².

Als Winddruck waren anzunehmen 270 kg/m² für die unbelasteten und 170 kg/m² für die belasteten Tragwerke.

Als Wärmeänderung gegenüber der mit 10° C anzunehmenden Aufstellungswärme der Tragwerke galten ± 35° C und als Wärmeunterschied zwischen den unter und den über der Fahrbahn liegenden Tragwerkteilen 15° C.

Für die in der ersten Bauperiode vorübergehend einzubauenden Tragwerkteile der Strombrücke kam hauptsächlich nur die Belastung durch 12 t schwere, vierspännige Lastwagen und Menschengedränge von 460 kg/m² in Betracht.

Als zulässige Beanspruchungen der Baustoffe hatten zu gelten:

1. Die in der „Vorschrift über die Herstellung der Straßenbrücken" festgesetzten Werte für alle Tragwerkglieder, die nicht von der Straßenbahn belastet werden.

2. Die in der „Verordnung des Eisenbahnministeriums, betreffend die Eisenbahnbrücken" festgesetzten Grenzwerte für jene Tragwerkteile, die eine Straßenbahnbelastung aufnehmen. Ausgenommen davon waren die Hauptträger der Strombrücke, die mit Rücksicht auf das große Eigengewicht nicht nach der Verordnung für Eisenbahnbrücken, sondern nach der eine Ersparnis bewirkenden Vorschrift für Straßenbrücken zu behandeln waren.

betreffend die Berechnung gedrückter Konstruktionsteile des Eisenbahnministeriums" maßgebend.

Die Hauptträgwerke der Flutbrücke (Abb. 16) sind vollwandige Gelenkträger. Ihre Höhe über den Pfeilern beträgt im Mittel 3,4 m, die Trägerunterkante ist bis zum ersten Viertel der Stützweite hochgezogen und verläuft von hier aus im gleichen Abstande zum Obergurt. Die Pfeilhöhe dieses Anzuges beträgt bei den mittleren Trägern 900, bei den äußeren 1050 mm.

Als Hauptträgersystem für die Strombrücke (Abb. 17) wurden voll-

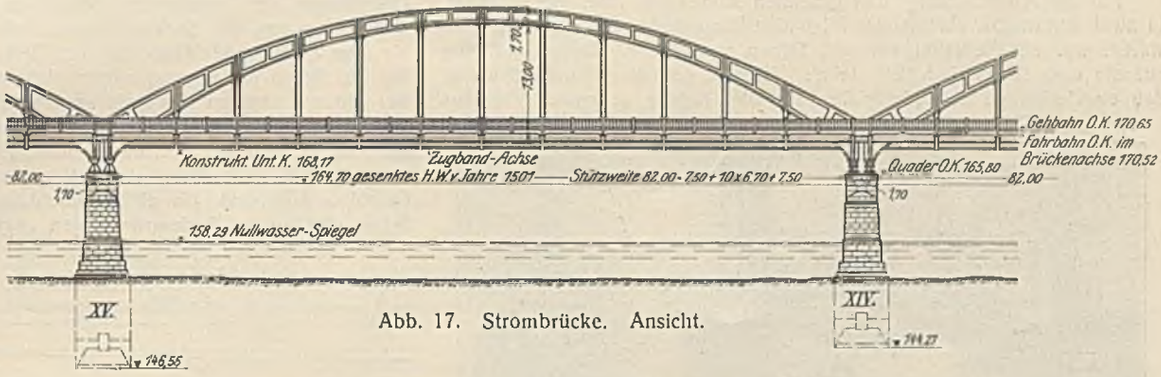


Abb. 17. Strombrücke. Ansicht.

wandige Bogenträger mit unter der Fahrbahn liegendem Zugbande gewählt. Ihr Pfeil beträgt 13,85 m und entspricht bei einer Stützweite von 82 m einem Verhältnis von 1 : 5,9. Die untere Leibung der Gurte verläuft nach einem Kreisbogen von 64 m, die obere nach einem aus zwei Kreisen von 97 bezw. 71 m Halbmesser zusammengesetzten Korbbogen. Die Stehblechhöhe, die im Scheitel mit 1,70 m angenommen wurde, wächst gegen die Auflager zu und erreicht dort ein Höchstmaß von 3,68 m. Die Hängepfosten sind vollwandig und unterteilen die Stützweite in 12 Felder. Ein oberer Verband, der mit Rücksicht auf die große Stützweite der Brücke

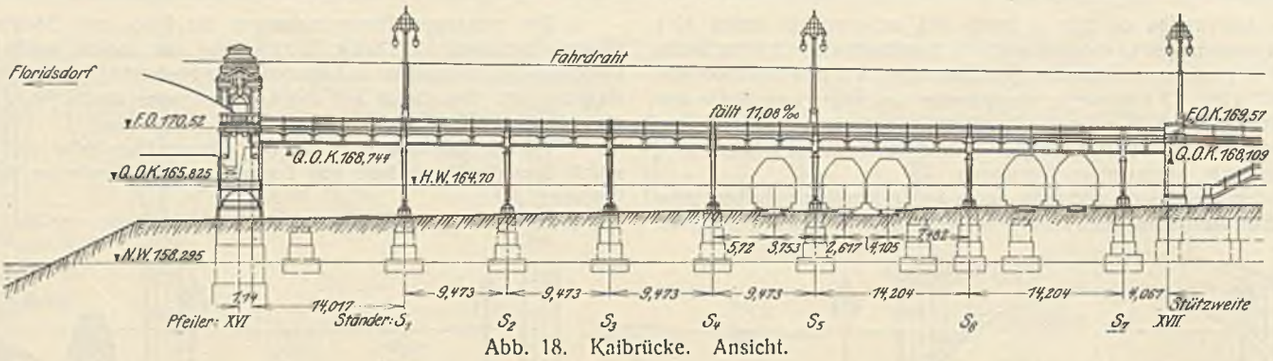


Abb. 18. Kaibrücke. Ansicht.

notwendig erschien, befindet sich nur zwischen den drei mittleren Hängepfosten und ist ebenfalls vollwandig.

Das Haupttragwerk der Kaibrücke (Abb. 18) besteht aus Vollwandträgern, die auf flußeisernen Pendelstützen bezw. auf den Widerlagern frei aufliegen.

Bei der architektonischen Ausgestaltung der Brücke wurde angestrebt, eine Wirkung des Bauwerks lediglich durch die Linienführung und die konstruktive Durchbildung der Träger allein zu erzielen. Aus diesem Grunde wurden auch alle Ausschmückungen der Tragwerke sowie ein Aufbau besonderer Brückenköpfe vermieden. Um jedoch bei den vollwandigen Trägern den bei großen Abmessungen zu befürchtenden Umstand, daß die Gurtwinkel zu sehr zurücktreten, zu beseitigen, wurden zwischen diese und die Stehbleche Beiflacheisen eingeschaltet. Diese vermitteln nicht nur in statisch richtiger Weise den Übergang vom Stehblech zu den Gurten, sondern bewirken im Verein mit den Stoßblechen und Nietkopfen der Absteifungen auch eine Belebung der sonst eintönig erscheinenden großen Blechflächen.

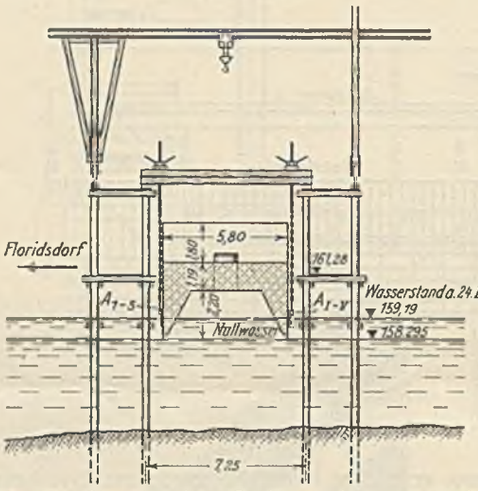


Abb. 19. Strombrücke. Senkkastenlage am 24. 9. 1913.

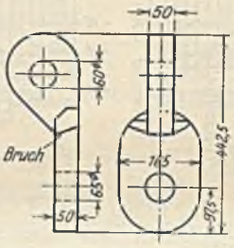


Abb. 20. Strombrücke. Ösen A I bis V der Eisensenkkasten.

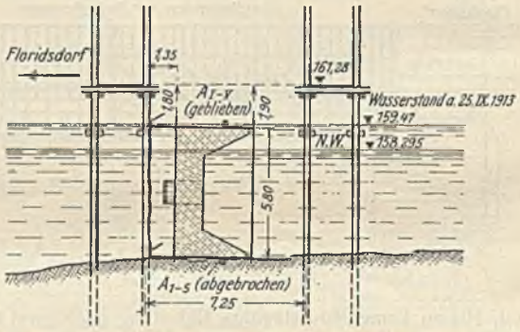


Abb. 21. Strombrücke. Senkkastenlage am 25. 9. 1913.

Für die Ausführung der gesamten Arbeiten, die, wie erwähnt, in zwei unmittelbar aufeinander folgenden Bauperioden zu bewerkstelligen waren, war ein Zeitraum von $4^1/_2$ Jahren vorgesehen. Davon entfielen auf die erste Bauperiode $2^1/_2$ Jahre. Hierbei galt als Grundbedingung, daß eine allfällige Einstellung des über die Brücke gehenden Verkehrs nur auf möglichst kurze Zeit zu beschränken ist. Außerdem durfte der unter der Brücke gehende Straßen-, Eisenbahn- und Schiffahrtverkehr nicht behindert werden. Erschwerend war die Forderung, daß die in den Stromöffnungen verbleibenden Montierungsgerüste im Winter unbelastet sein müssen und daß sich während dieser Zeit wegen Eisrinnens keine Schwimmgerüste im Strome befinden dürfen. Die Unterkante der Montierungsgerüste mußte in den Stromfeldern mindestens 8,7 m über dem örtlichen NW liegen, ein gleichzeitiges Einrüsten der Schiffahrtöffnungen, als welche die beiden rechtsliegenden (Abb. 3) zu gelten hatten, durfte nicht stattfinden. Außerdem mußte bei der Einrüstung dieser zwei Felder stets eine freie Durchfahrt von 32 m frei gehalten werden.

Die Ausführung der Unterbauarbeiten, die im Wege einer öffentlichen Anbotverhandlung der Bauunternehmung Ing. Mayreder, Kraus & Co. in Wien übertragen wurden, fiel hauptsächlich in die erste Bauperiode. Die Firma hatte in der verhältnismäßig kurzen Zeit von neun Monaten 14 Eisenbetonsenkkasten vom Lande aus auf eine Tiefe von 4,7 bis 11,4 m und drei Eisensenkkasten im Strom auf eine Tiefe von 11,7 bis 14 m abzusenken und die dazugehörigen Aufbauten herzustellen (Abb. 3). Die Arbeiten boten bei den günstigen Bodenverhältnissen — mittelschwerer Sand- und Schotterboden mit tieferliegenden Tegelschichten — mit Ausnahme des Heraushebens eines voll ausbetonierten, abgestürzten Eisensenkkastens keine ausnehmend großen Schwierigkeiten. Zu erwähnen ist nur, daß die Schneiden der Senkkasten, um ein Aufsitzen dieser auf den Gründungen der bestehenden Brücke zu vermeiden, in einem Abstande von 0,75 m von den Senkkasten der alten Brücke aufgelegt wurden.

Das aufgehende Mauerwerk der Pfeiler und Widerlager (Abb. 4 u. 17), das aus Beton mit Granitquaderverkleidung besteht, wurde nach Abbruch der stromabwärtigen Vorköpfe geschlossen und die Überbrückung des Raumes zwischen den Senkkasten und den Gründungen der alten Brücke bei den Pfeilern der Flutbrücke und dem der beiden Trennungspfeiler durch 1,10 m hohe Eisenbetonplatten, bei den drei Strompfeilern durch Gewölbe überbrückt. Um allfällige Schäden, die durch ein ungleichmäßiges Setzen der neuen Pfeilergründungen gegenüber jenen der alten Brücke

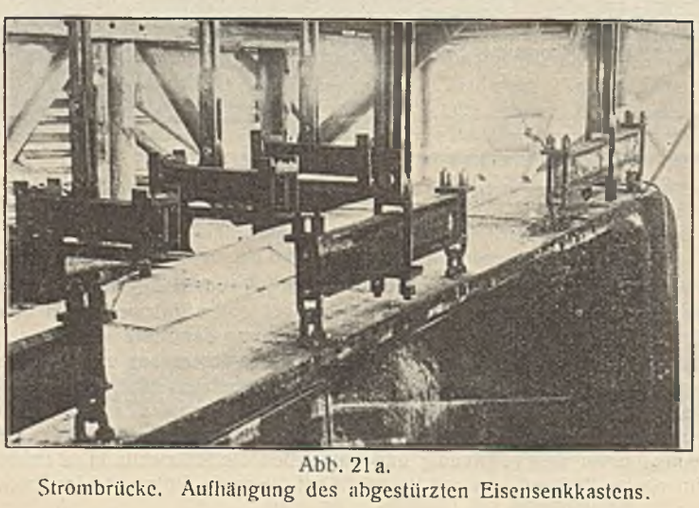


Abb. 21 a.
Strombrücke. Aufhängung des abgestürzten Eisensenkkastens.

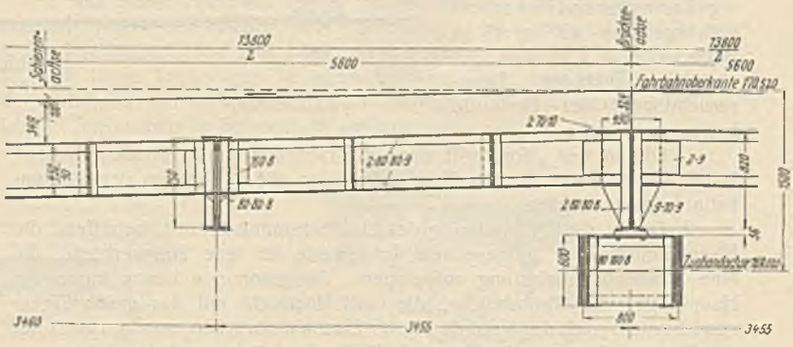


Abb. 22. Strombrücke. Zwischenquerträger.

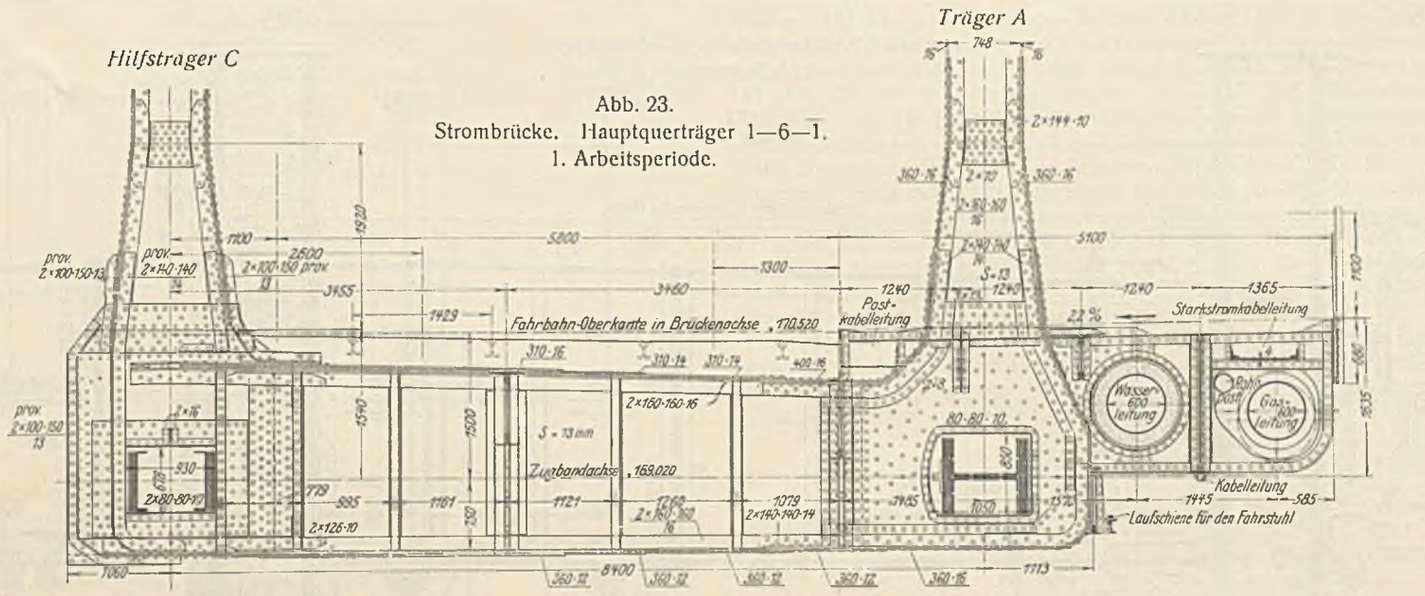


Abb. 23.
Strombrücke. Hauptquerträger 1—6—1.
1. Arbeitsperiode.

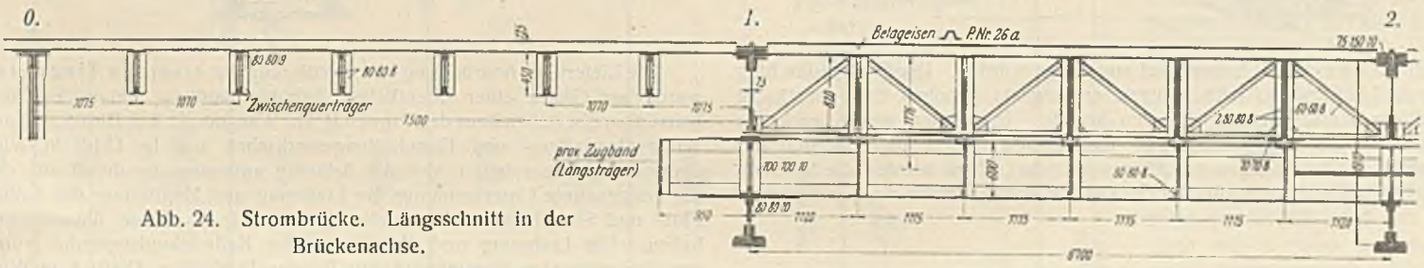


Abb. 24. Strombrücke. Längsschnitt in der Brückenachse.

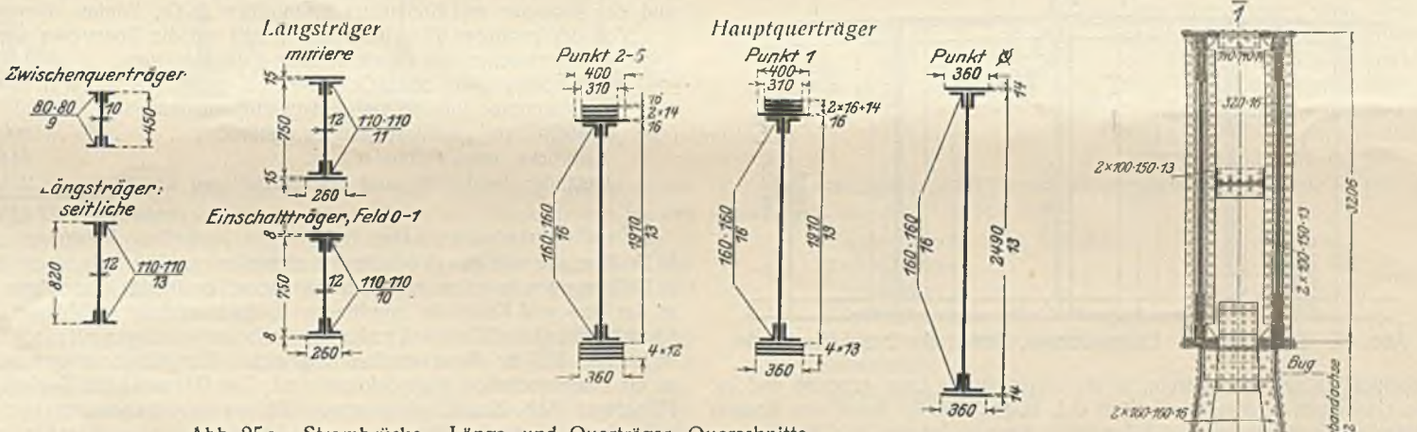


Abb. 25a. Strombrücke. Längs- und Querträger, Querschnitte.

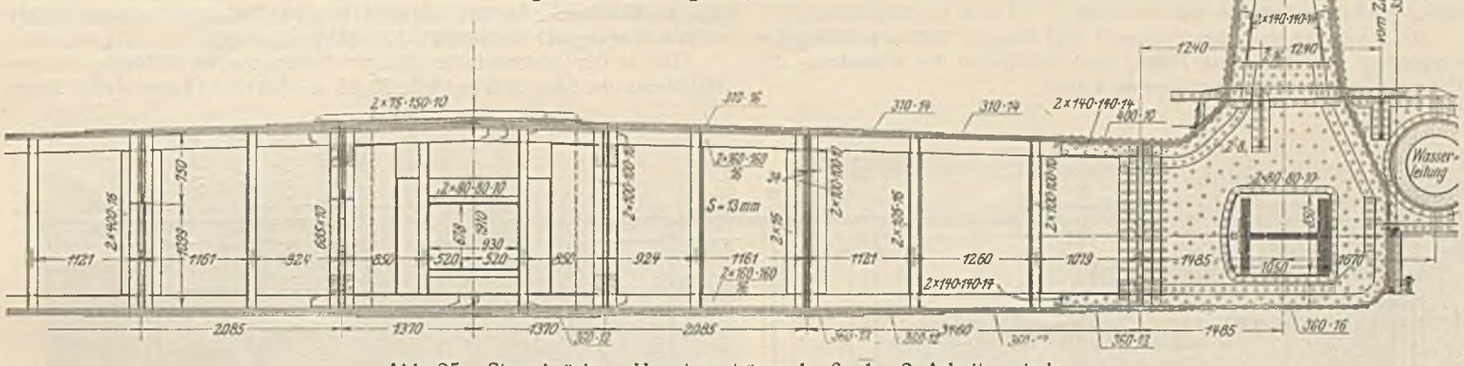


Abb. 25. Strombrücke. Hauptquerträger 1—6—1. 2. Arbeitsperiode.

eintreten könnten, zu vermeiden, wurde beim Zusammenschluß des aufgehenden Mauerwerkes eine durchgehende Setzungsfuge belassen.

Durch den Absturz des Senkkastens bei Strompfeiler XV ergaben sich unvorhergesehene, bemerkenswerte Arbeiten. Der Senkkasten wurde tags vorher fertig ausbetoniert; er hing jederseits auf fünf Spindeln (Abb. 19) und war im Absenken. Plötzlich — jedenfalls infolge Zurückbleibens einer Spindel — riß eine Öse der unteren Aufhängevorrichtung (Abb. 20). Das hatte zur Folge, daß die vier benachbarten Ösen ebenfalls rissen und der Senkkasten, dessen rechnungsmäßiges Gesamtgewicht 300 t betrug, abstürzte. Beim Absturz drehte er sich um 90° und kam mit der Seitenwand auf den Stromgrund zu liegen (Abb. 21). Der Wasserstand an dem Tage betrug + 1 m, die Wassertiefe an der Stelle war 5,2 m. Ein weiteres Unglück ist dabei nicht geschehen.

Den nun folgenden Erwägungen über das Heben oder Beseitigen des Senkkastens kam das unmittelbar darauf folgende Sinken des Wassers zugute. Dies ermöglichte es, daß der Beton in dem freiliegenden Teil nach und nach, zunächst von Hand, später mit Luftdruckhämmern ausgestemmt werden konnte, worauf die inzwischen entworfenen Hebevorrichtungen eingebaut wurden. Diese wurden derart eingelegt, daß die zwei oberen Knotenpunkte jedes Gesperres (Abb. 21a) je an eine Spindel, jene der Schneide zu

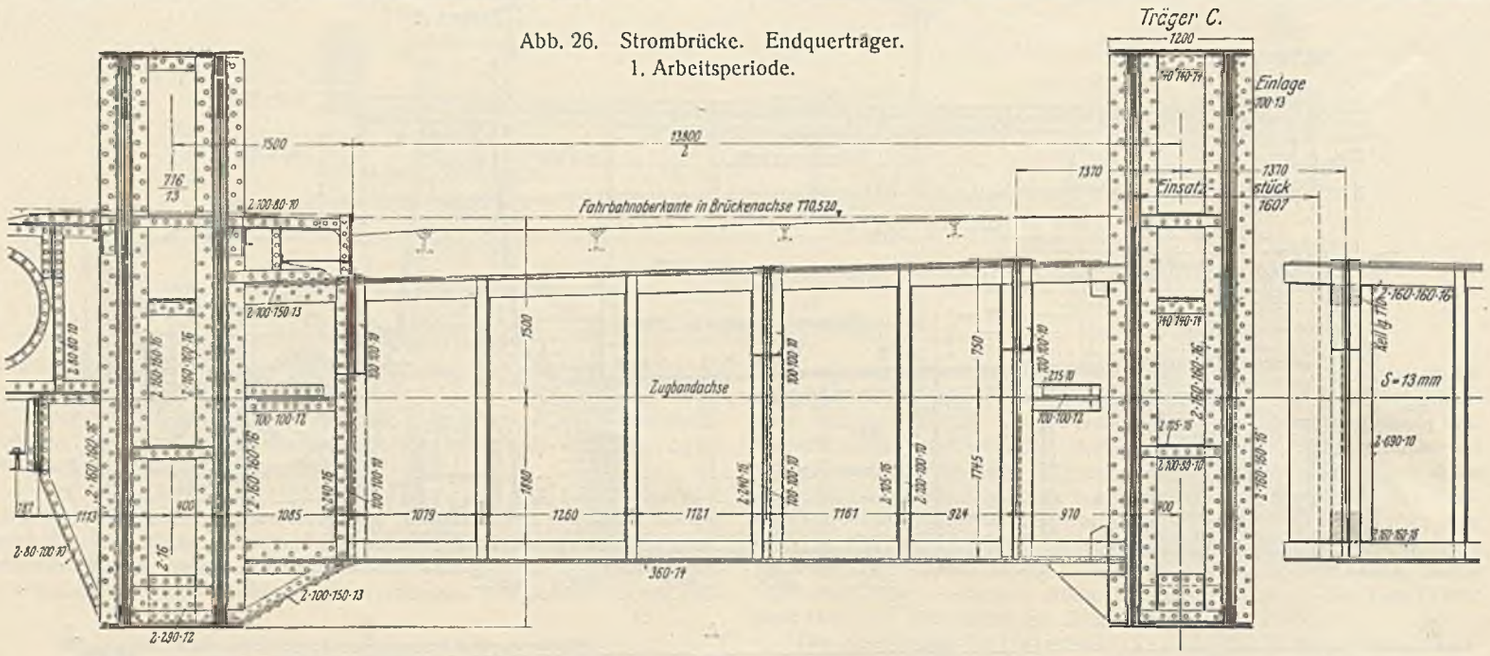


Abb. 26. Strombrücke. Endquerträger.
1. Arbeitsperiode.

zweit an eine zweite Hubspindel angehängt wurden. Der Senkkasten hing nun an 15 Spindeln, mittels deren er langsam gehoben und vollständig aus dem Wasser gezogen werden konnte. Inzwischen wurde auch der Beton aus der Senkkastendecke vollständig entfernt und dadurch das Gewicht des Senkkastens auf 180 t vermindert. Nun wurden die Spindeln einseitig nachgelassen und der Senkkasten durch allmähliches Nachbessern

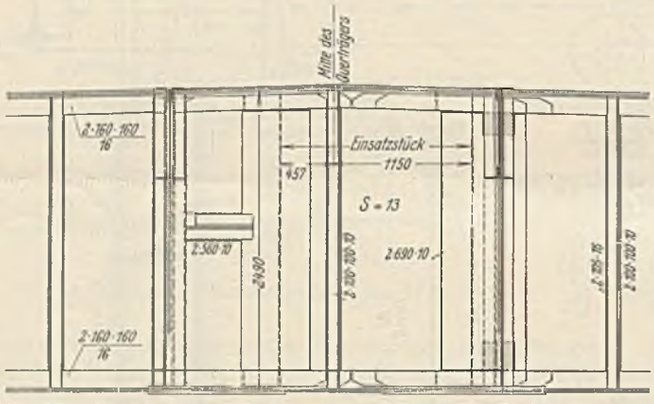


Abb. 27. Strombrücke. Endquerträger, Mittelteil. 2. Arbeitsperiode.

der Spindeln um 90° gedreht, in die ursprüngliche Lage gebracht und auf die Gerüstbühne abgesetzt. Weil sich zeigte, daß er durch den Absturz nicht gelitten hat, wurde er nach dem Wiederanbringen der Wandbleche instand gesetzt und abgesenkt.

Diese Arbeiten dauerten insgesamt drei Monate, hatten jedoch keine Verzögerung des Baues zur Folge, weil inzwischen die Absenkung der übrigen Senkkasten gefördert werden konnte.

Die Lieferung, Anarbeitung und Montierung der eisernen Tragwerke wurde auf Grund einer öffentlichen Anbotverhandlung einem Brückenkonsortium, bestehend aus den Firmen R. Ph. Waagner, L. & J. Biro & A. Kurz, Witkowitzer Berg- und Eisenhüttengewerkschaft und Ig. Gridl in Wien übertragen. Diese teilten sich die Arbeiten untereinander derart auf, daß die erstgenannte Unternehmung die Lieferung und Montierung der halben Flut- und Strombrücke, die beiden letzteren je $^1/_4$ davon übernommen haben. Die Lieferung und Montierung der Kaibrückentragwerke wurde von der genannten Vereinigung den Firmen Teudloff u. Dietrich in Wien und der Zöptauer und Stefanauer Eisenhütten A.-G., Zöptau, übertragen.

Von der gesamten Eisenlieferung entfällt auf die Tragwerke der

12 Flutbrücken ein Gewicht, ohne Geländer, von . .	4 146,8 t
4 Strombrücken, ohne Geländer	6 638,9 t
dazu kommen hier noch als einstweilig einzubauendes, nicht mehr zu verwendendes Material	390,0 t
Kaibrücke, ohne Geländer	644,0 t
Geländer der Brücke und der stadtseitigen Rampe .	225,3 t
zusammen	12 045,0 t

Das Fahrbahntragwerk aller drei Brücken besteht aus Belageisen ⌒ P. Nr. 26 a, die mit der Brückenachse gleichlaufen. Die Belageisen liegen in Entfernungen von 1 m auf gewalzten bezw. genieteten Querträgern, die in der Flut- und Kaibrücke unmittelbar in die Hauptträger einbinden. Die Strombrücke (Abb. 22) erhielt außerdem Zwischenquerträger mit einer Stützweite von 3,46 m; diese wurden in genietete Längsträger eingebaut, die an die Hauptquerträger angeschlossen sind. Das 600 mm hohe Zugband der Hilfsträger (Abb. 22 u. 23), das sowohl im vorübergehenden wie im endgültigen Zustande der Brücke auch als Längsträger zu wirken hat, stützt die kontinuierlich darüber hinweggehenden Zwischenquerträger mittels eigener Lager- und Steifenwinkel ab (Abb. 23 u. 24).

Die in der Fahrbahnmitte 1910 mm hohen, normalen Hauptquerträgerstehbleche der Strombrücke (Abb. 23, 25 u. 25a) sind 13 mm stark. Sie er-

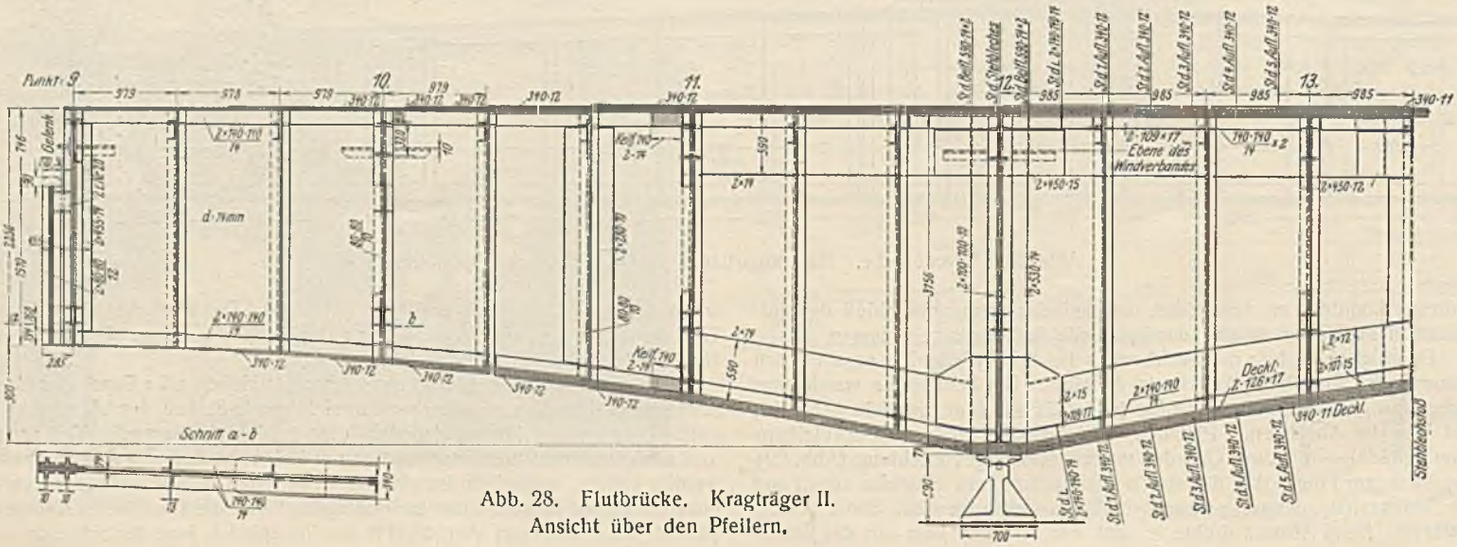


Abb. 28. Flutbrücke. Kragträger II.
Ansicht über den Pfeilern.

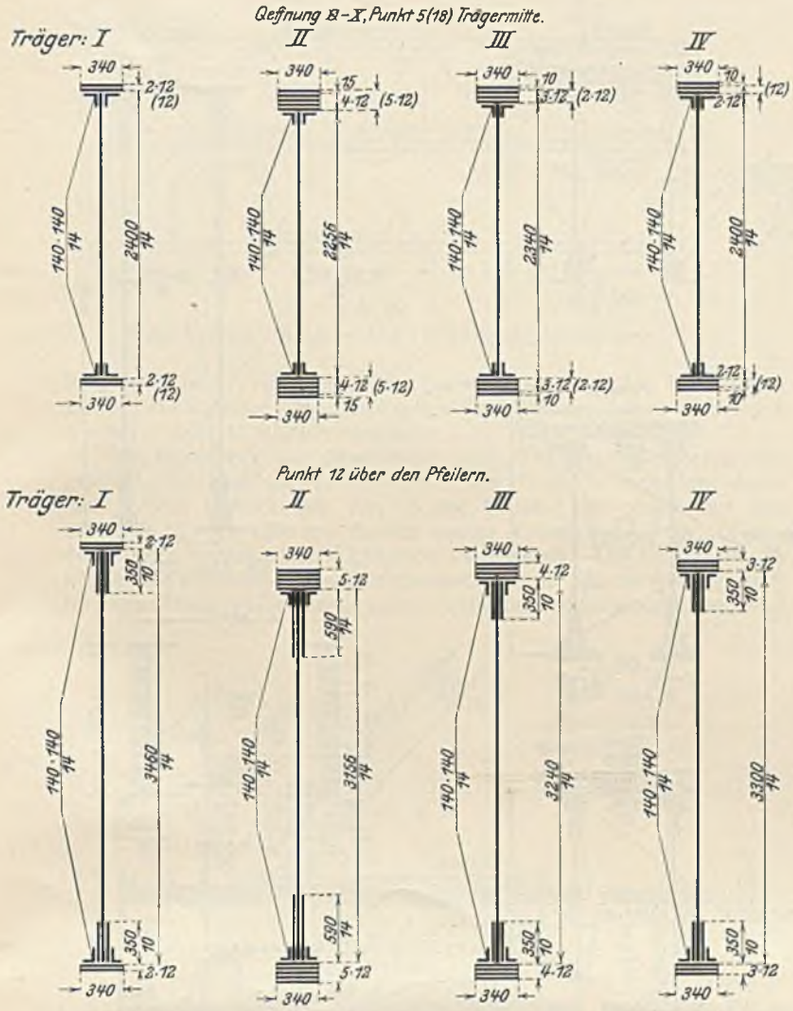
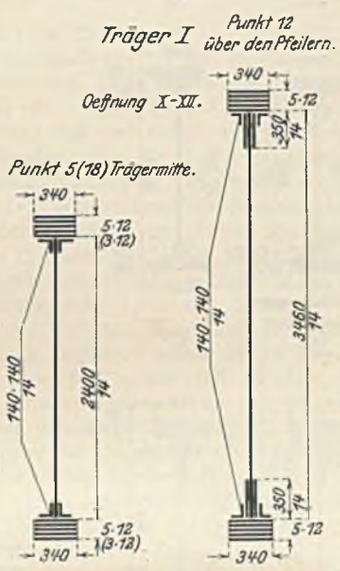


Abb. 29. Flutbrücke. Hauptträger, Querschnitte.



hielten beiderseitige Ausnehmungen für den Durchgang der normalen Zugbänder und eine weitere Ausnehmung in der Brückenachse für den Durchgang des Hilfsträgerzugbandes. Die ebenfalls 13 mm starken, in der Fahrbahnmitte 2490 mm hohen Stehbleche der Endquerträger (Abb. 25a, 26 u. 27) schließen unmittelbar an die Gurtenden der Bogen an und erhielten keine Ausnehmungen.

Die Gehwege aller drei Brücken (Abb. 12, 13 u. 23) liegen zum Teil auf Konsolen, in denen sich auch die Stützpunkte für die Überführung der Leitungen befinden.

Die Hauptträger der Flutbrücke (Abb. 16) gliedern sich in vier über je drei Öffnungen reichende Gruppen. Jede Gruppe besteht aus sieben unter der Fahrbahn liegenden Strängen und aus zwischen diesen in Obergurthöhe eingebauten Querträgern (Abb. 12). Die Gelenke liegen in den Außenfeldern. Die Länge der Kragarme beträgt 9,008 m. Die in einer gegenseitigen Entfernung von 2,98 bezw. 3,40 m liegenden Träger bestehen der Hauptsache nach aus einem 14 mm starken Stehblech und Gurtwinkeln 140 · 140 · 14 nebst 340 mm breiten Lamellen und Beiflacheisen (Abb. 28 u. 29). Die Hauptträger II und III werden, außer durch Querträger in Entfernungen von 3 m, durch lotrechte Dreieckverbindungen und einen in der Unterkante der Querträger liegenden Windverband (Abb. 12 u. 16) miteinander ausgesteift. Die Aussteifung der Träger III—IV—III geschieht nur durch wagerechte, in Entfernungen von 3 m liegende Querverbindungen, die in der Ebene der Untergurtwinkel anlaufen. Die Hauptträger I und II sind in den Untergurten in Abständen von 3 m durch Querverbindungen ausgesteift, die gleichzeitig Stützpunkte für die Wasser- und Postkabelleitungen sowie für den Revisionssteg bilden.

Der Querschnitt der Kaibrücke (Abb. 13 u. 13a) ist im allgemeinen gleich jenem der Flutbrücke. Die sieben unter der Fahrbahn liegenden 960 bis 1230 mm hohen Hauptträger besitzen eine gegenseitige Entfernung von 3,70 m, sie bestehen aus 10 bis 12 mm starken Stehblechen und Gurtwinkeln 80 · 80 · 10, 80 · 120 · 10 bezw. 130 · 130 · 14 nebst den erforderlichen Lamellen und Beiflacheisen (Abb. 29a). Anstatt der lotrechten Querverbindungen ist hier bei jedem dritten Querträger ein tief herabgezogenes Steifenblech eingeschaltet. Wagerechte Querverbindungen zwischen den Untergurten der Hauptträger III—IV—III bestehen nicht, ebenso auch — ausgenommen über den Stützpunkten — keine unteren Querverbindungen zwischen den Trägern I und II. Die Anordnung des Windverbandes ist wie bei der Flutbrücke. Die Stützen (Abb. 13) sind aus Flußeisen mit je einem unteren und einem oberen Gelenk. Die mittleren drei Ständer sind oben zu einem Doppelportal geschlossen, die äußeren zwei jederseits als freie Pendelstützen ausgebildet.

Die Hauptabmessungen der Strombrücken-Hauptträger sind aus Abb. 17 zu entnehmen.

Die ständige Belastung eines Hauptträgers der Strombrücke setzt sich zusammen aus dem Gewicht der:

Fahrbahndecke samt Belageisen	4,045 t/m
Fußwegdecke	1,275 „
Einbauten	1,290 „
Geländer	0,120 „
Längs- und Querkonstruktionen	3,240 „
Hauptträger	5,430 „
und beträgt insgesamt	15,400 t/m

Aus den Einwirkungen der ständigen Last, der Verkehrslast und dem Wärmeunterschied von 15° C zwischen dem Bogengurt und dem Zugband ergeben sich für:

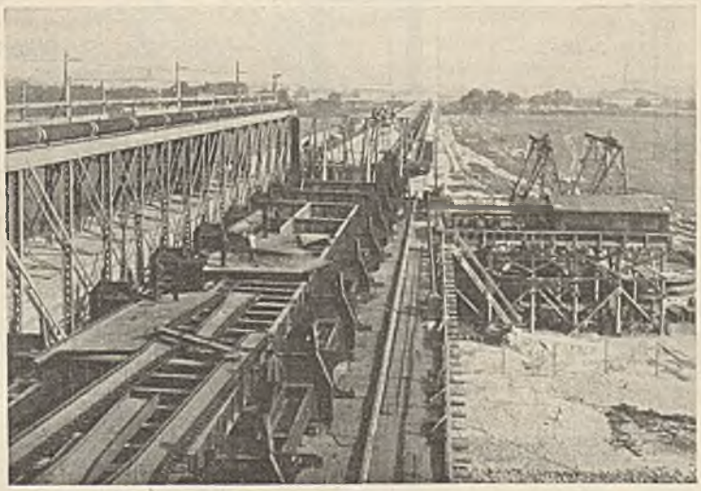


Abb. 30. Strombrücke. Aufstellen der Fahrbahn und Aufzuggerüste bei Pfeiler XII. 1. Arbeitsperiode.

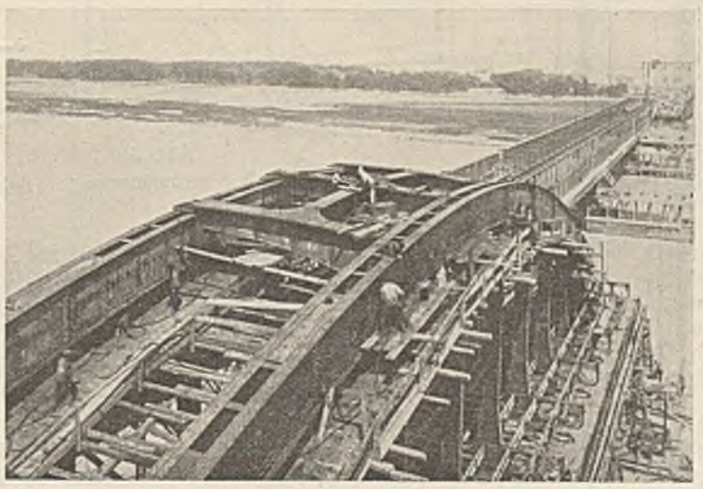


Abb. 30a. Strombrücke. Aufstellen der Tragwerke. 1. Arbeitsperiode.

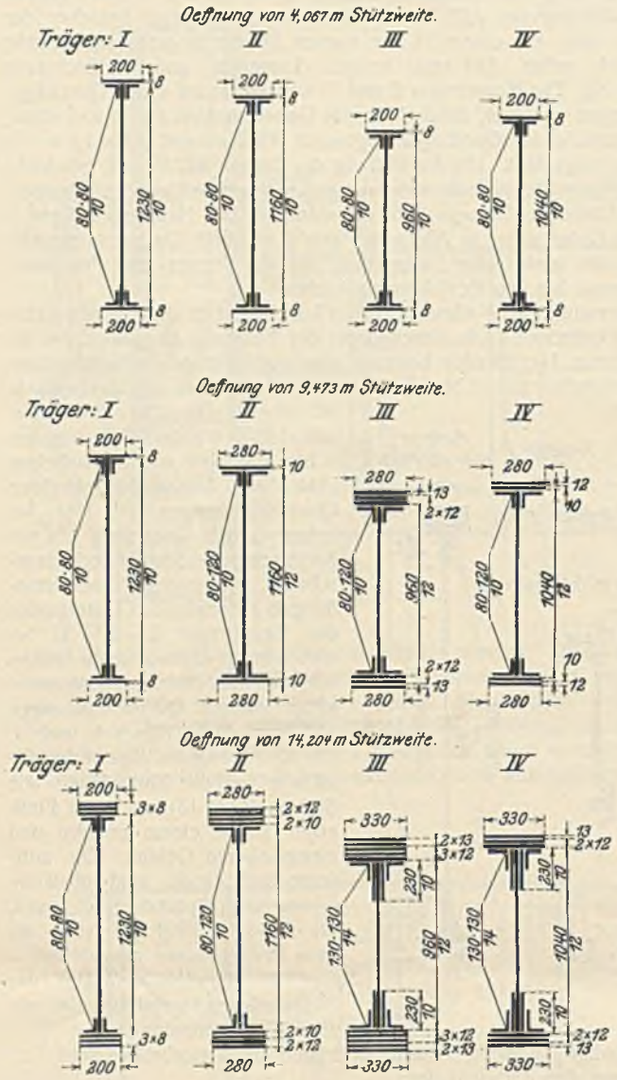


Abb. 29a. Kaibrücke. Hauptträger, Querschnitte.

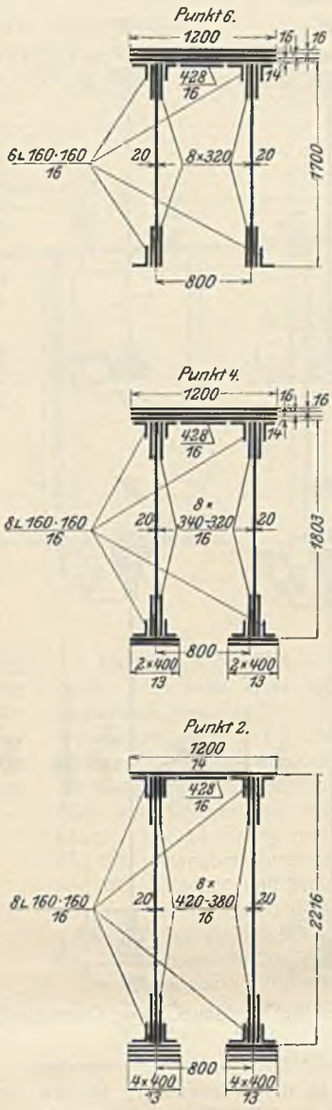
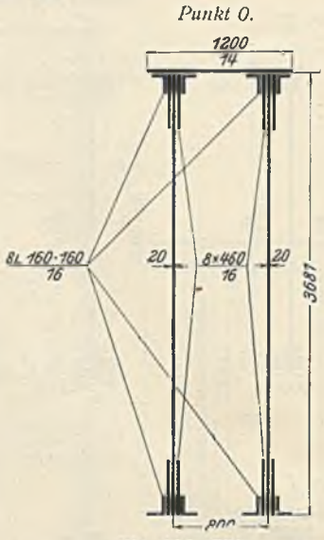
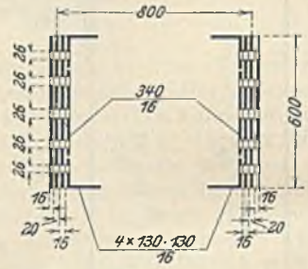


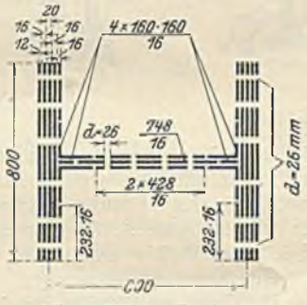
Abb. 29b. Strombrücke. Bogengurt-Querschnitte.



Zu Abb. 29b.



Einstweiliges Zugband.



Endgültiges Zugband.

Abb. 29c. Strombrücke.

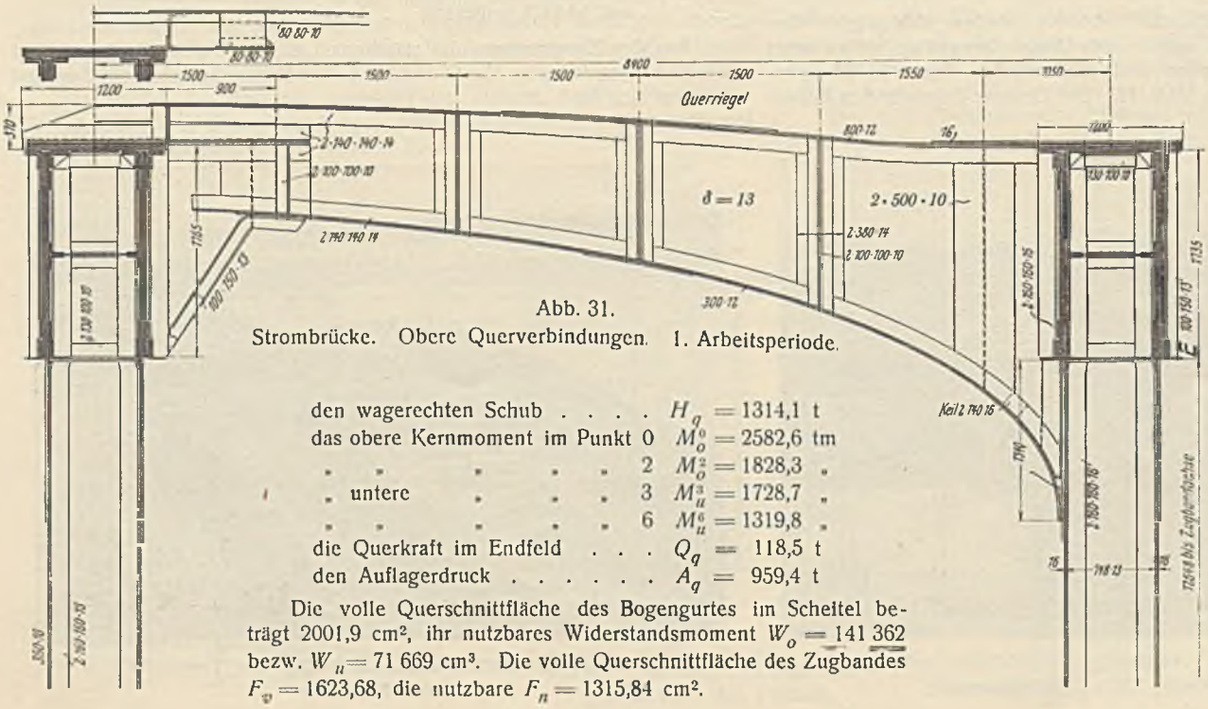


Abb. 31.
Strombrücke. Obere Querverbindungen. 1. Arbeitsperiode.

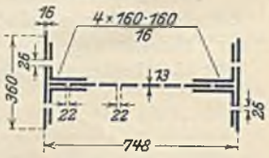


Abb. 29d. Strombrücke. Hängepfosten.

den wagerechten Schub	H_q	= 1314,1 t
das obere Kernmoment im Punkt 0	M_o^0	= 2582,6 tm
. 2	M_o^2	= 1828,3 .
. untere 3	M_u^3	= 1728,7 .
. 6	M_u^6	= 1319,8 .
die Querkraft im Endfeld . . .	Q_q	= 118,5 t
den Auflagerdruck	A_q	= 959,4 t

Die volle Querschnittfläche des Bogengurtes im Scheitel beträgt 2001,9 cm², ihr nutzbares Widerstandsmoment $W_o = 141\,362$ bezw. $W_u = 71\,669$ cm³. Die volle Querschnittfläche des Zugbandes $F_v = 1623{,}68$, die nutzbare $F_n = 1315{,}84$ cm².

Die Beanspruchung der Bogengurte bei Berücksichtigung der vorgenannten Einflüsse erreicht im Punkte 5 einen Höchstwert von $\sigma_u = 971$ bezw. $\sigma_o = 998$ kg/cm², jene des Zugbandes einen solchen von 999 kg/cm² (zulässig 1046 kg/cm²). Die Stöße der Bogengurte und Zugbänder sind in allen Knotenpunkten angeordnet und derart ausgebildet, daß der Einbau, insbesondere aber der Ausbau der einzelnen

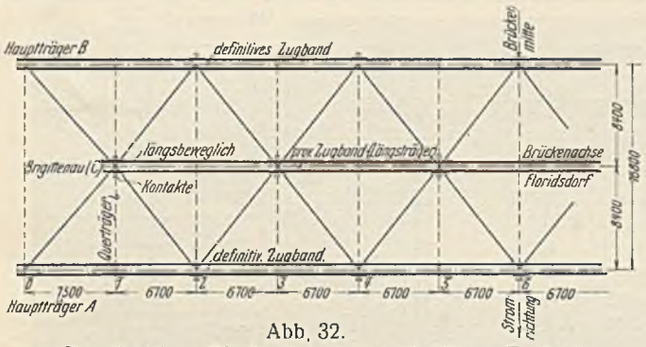


Abb. 32.
Strombrücke. Windverband im endgültigen Zustande.

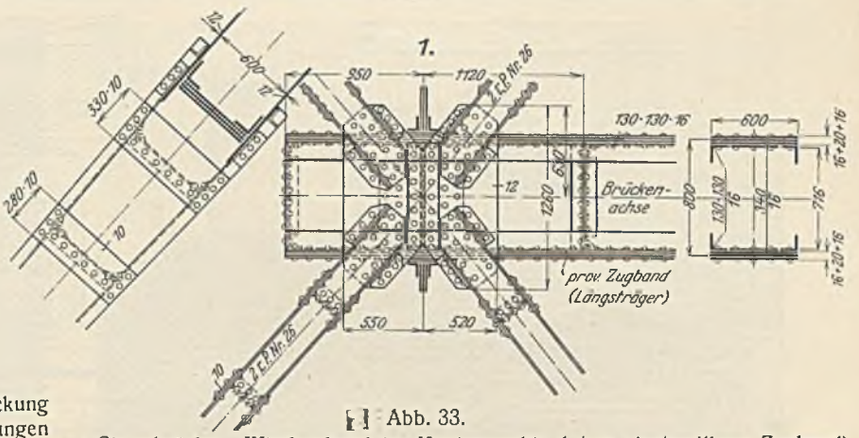


Abb. 33.
Strombrücke. Windverband im Knotenpunkte *1* (am einstweiligen Zugband).

Bauglieder leicht vor sich gehen konnte (Abb. 51). Als Stoßdeckung kamen durchgängig Flacheisenlaschen zur Verwendung. Kröpfungen wurden soweit als möglich vermieden.

Die Bogengurte der Strombrücke (Abb. 29b) sind kastenförmig ausgebildet. Sie bestehen aus Stehblechen von 20 und beiderseitigen oberen und unteren Beiflacheisen von 16 mm Stärke. Die Gurtwinkel sind 160 · 160 · 16, die 1200 mm breiten oberen Lamellen 16 bezw. 14 mm, die 400 mm breiten unteren Lamellen 13 mm stark. Die Aussteifung der Bogengurte untereinander geschieht außer durch die Ständer und die durchlaufenden Obergurtlamellen in jedem Felde durch drei lotrechte und eine

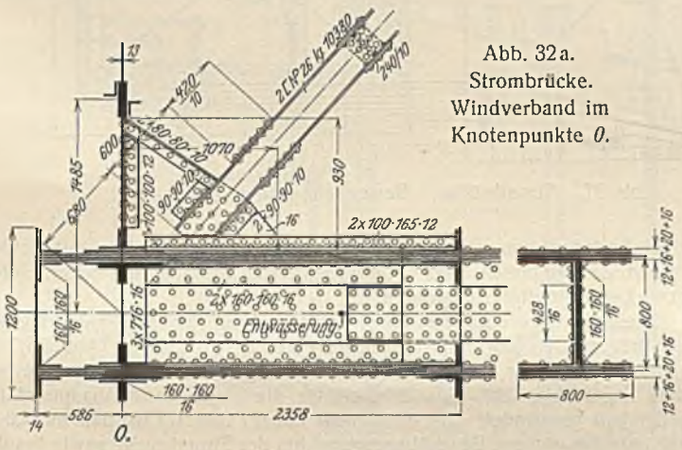


Abb. 32a.
Strombrücke.
Windverband im
Knotenpunkte *0*.

wagerechte Querverbindung (Abb. 51 u. 53). Diese bestehen aus 12 mm starken Blechen, die in den lotrechten Verbindungen vollwandig sind und in den wagerechten aus Montierungsrücksichten sowie wegen der Möglichkeit eines späteren Zuganges durch Knotenbleche ersetzt wurden.

Das 800 mm hohe endgültige Zugband (Abb. 29c u. 30) erhielt einen H-förmigen Querschnitt. Die Hängepfosten (Abb. 29d u. 30a), die in den Hilfsträgern *C* auch auf Knickung zu berechnen waren, bestehen aus einem Stehblech 748 · 13, je zwei Gurtwinkeln 160 · 160 · 16 und je einer Lamelle 360 · 16. Am unteren Ende verbreitern sie sich und gehen in die Querträger

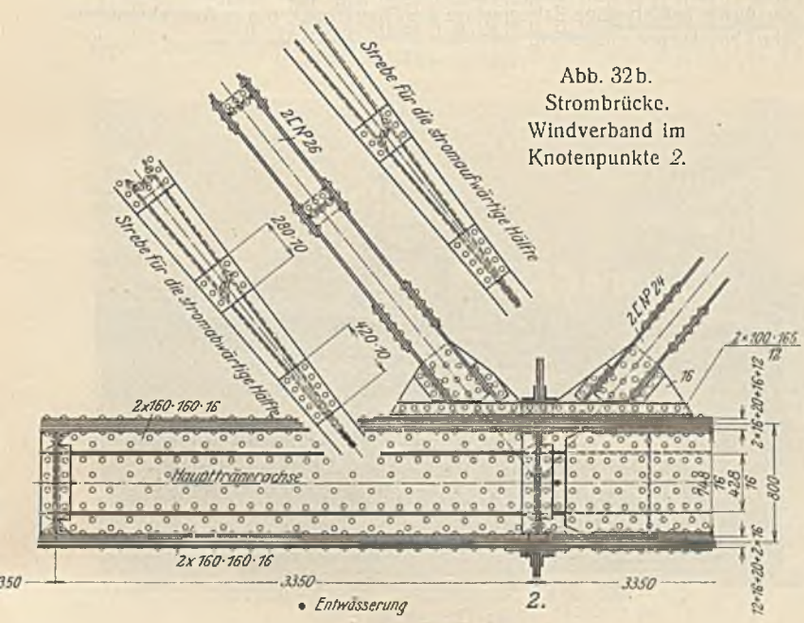


Abb. 32b.
Strombrücke.
Windverband im
Knotenpunkte *2*.

über (Abb. 23). Die in der Mitte 870 mm hohen Stehbleche der oberen Querverbindungen in den Punkten 5 und 6 (Abb. 17 u. 31) sind ebenfalls 13 mm stark. Diese setzen sich außerdem aus vier Gurtwinkeln 140 · 140 · 14, einer oberen 800 · 12 und einer unteren 300 · 12 mm starken Lamelle zusammen und sind mittels kräftiger Eckaussteifungen mit den Hängepfosten verbunden. Die die Querriegel verbindenden Längsriegel (Abb. 53) sind ebenfalls vollwandig und ähnlich wie diese ausgebildet.

Den Windverband der Strombrücke bildet ein in der Ebene der Zugbänder liegendes, gekreuztes Strebensystem (Abb. 32). Die Streben, je zwei ⊏-Eisen 26, 24, 22 bezw. 20, sind gegen die Mitte zu von 16 auf 600 mm auseinander gezogen (Abb. 32a u. 32b) und schließen in den Knotenpunkten 1, 3 und 5 an je zwei 12 mm starke Knotenbleche an, die auf dem einstweiligen Zugbande (Abb. 33) liegen. Am endgültigen Zugbande laufen sie auf 16 mm starke Knotenbleche auf, die an dieses mit je 2 ∟ 100 · 165 · 12 (Abb. 32a u. 32b) angeschlossen sind.

Da die Winddrücke im endgültigen und im einstweiligen Zustande der Brücke nahezu gleich groß sind, die Streben des endgültigen Systems jedoch nur auf Zug zu berechnen waren, mußten in der ersten Bauperiode in die Felder 0—1—3 Gegenstreben eingeschaltet werden (Abb. 34), die nach dem Fertigstellen der Brücke wieder ausgebaut wurden.

Die Winddrücke gelangen durch die Hauptquerträger und die zwischen diesen und dem Zugbande eingebauten Lager in den Windverband. Die Anordnung dieser Lager war, entsprechend dem System, in der zweiten Bauperiode eine andere als in der ersten (Abb. 32 u. 34). Die Zusatzbeanspruchungen des Zugbandes als Windgurt berechnen sich bei unbelasteter Brücke mit $\sigma = 86$, bei belasteter mit 65 kg/cm². Demnach ergibt sich eine Gesamtbeanspruchung des Zugbandes bei belasteter Brücke mit $\sigma = 999 + 65 = 1064$ kg/cm² (zulässig 1200 kg/cm²).

Die statische Untersuchung der Hauptträger erstreckte sich auch auf die Berechnung der durch das Ausweichen der Gurte eintretenden Zusatzbeanspruchungen. Sie wurde durchgeführt:

1. für eine über die ganze Stützweite und den Raum zwischen den Hängepfosten gleichförmig verteilte Belastung von 0,460 t/m²;
2. für eine gleichartige 4 mal so große Belastung, d. h. für 1,840 t/m², und
3. für eine Belastung wie unter 1. und einen Winddruck von 0,170 t/m².

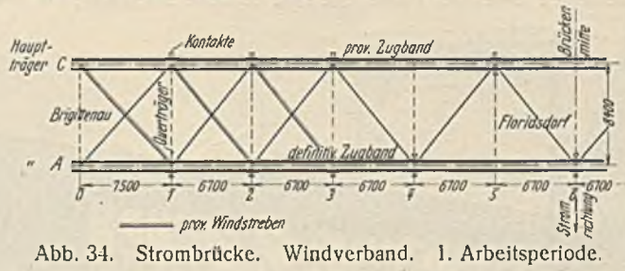


Abb. 34. Strombrücke. Windverband. 1. Arbeitsperiode.

Die statische Untersuchung der während der ersten Bauperiode einstweilig eingebauten Tragwerkteile beschränkte sich hauptsächlich auf die Berechnung der Hilfsträger *C*; alle übrigen Teile der Brücke mit Ausnahme des Windverbandes waren bloß für den endgültigen Zustand zu berechnen. Die Hilfsträger C_2, C_3 und C_4 (Abb. 11), die nach dem Ausbau als endgültige Träger *B* wieder aufgestellt wurden, waren gleich mit dem Träger *A* und erhielten nur ein anderes Zugband.

Zu erwähnen ist noch, daß die statische Untersuchung der Hauptquerträger auch für eine Belastung durch den abgesenkten Hilfsträger durchzuführen war. Hierbei ist angenommen worden, daß die Querträger außer der ständigen und der Verkehrslast des einstweiligen Zustandes das volle Gewicht der Hilfsträger zu übernehmen haben.

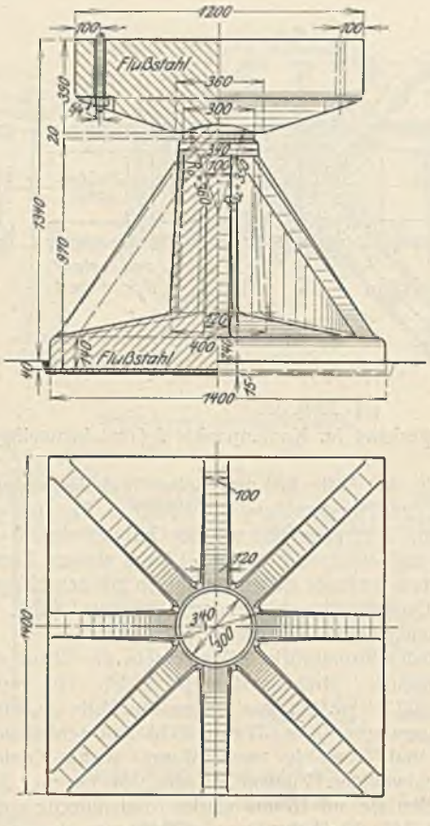


Abb. 35. Strombrücke. Feste Lager.

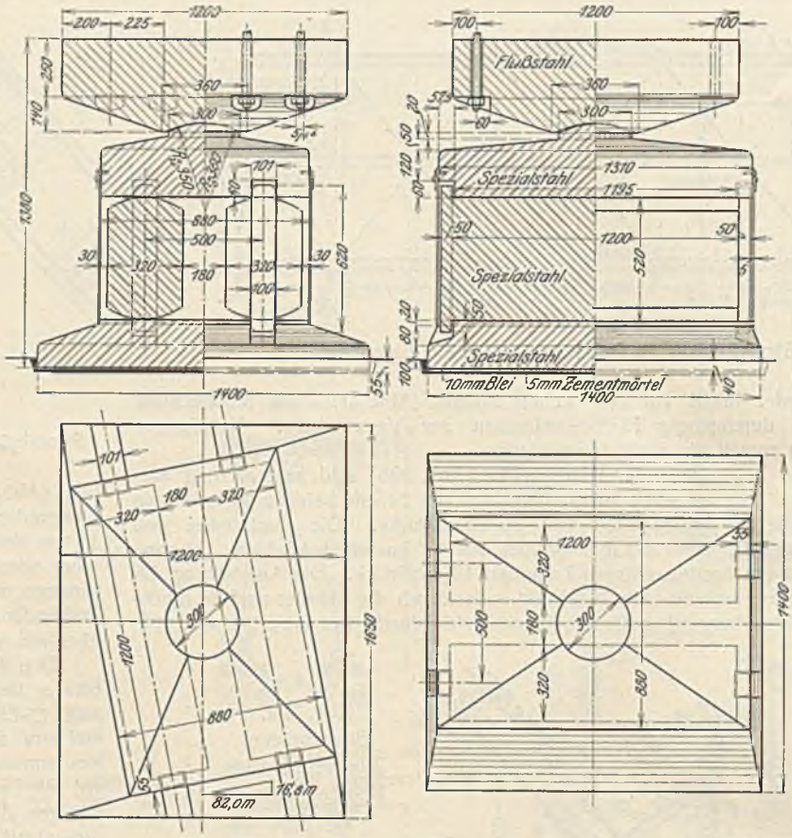


Abb. 37. Strombrücke. Bewegliche Lager.

Zur Vermeidung von Nebenspannungen und Ermöglichung eines Längenausgleiches zwischen der Fahrbahntafel und den Hauptträgern wurden sämtliche Fahrbahn- und Gehwegträger in der Brückenmitte (Punkt 6) nur einseitig fest angeschlossen und am anderen Ende auf kurze Konsolen gelenkig gelagert.

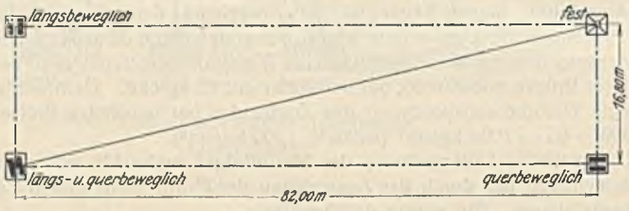


Abb. 36. Strombrücke. Austeilung der Lager.

Zur Untersuchung der Tragwerkuntersichten und der eingebauten Leitungen wurde in jedem Strombrückenfeld ein Fahrgerüst von 26 m Länge und 1,3 m Nutzbreite eingebaut, das mittels zweier Windwerke mit vier Mann leicht fortbewegt werden kann.

Die festen Lager der Flutbrücke sind einfache Bocklager, die beweglichen bestehen aus je zwei seitlich abgenommenen Rollen mit beiderseitigen Zahnangüssen, die in entsprechende Ausnehmungen der Unter- bezw. Lagermittelteile eingreifen.

Die Tragwerke der Strombrücke erhielten mit Rücksicht auf die große Hauptträgerentfernung von 16,8 m, auf einer Seite ein festes (Abb. 35) und ein querbewegliches, auf der anderen ein längs- und ein längsquerbewegliches Lager (Abb. 36). Als Baustoff für die Lager wurde hauptsächlich Sonderstahl verwendet. Als bewegliche Lager (Abb. 37) wurden mit Rücksicht auf eine sichere Druckübertragung bei der Strombrücke sowie bei der Flutbrücke zwei seitlich abgenommene Rollen gewählt, die in beiden Fällen im allgemeinen gleich ausgebildet wurden. Das gleiche gilt hinsichtlich der beweglichen Lager der Kaibrücke, am Pfeiler XVI, die als Einrollenlager, sonst jedoch wie die übrigen beweglichen Lager ausgebildet worden sind. Die unteren Teile der Lager für die Pendelstützen und Hauptträger der Kaibrücke bestehen aus Gußeisen mit eingesetzten Stahlkörpern, die oberen aus Stahl (Abb. 13).

Die Gelenke der Flutbrücke bestehen, so wie jene der Kaibrücke über den Stützen aus Stahlbacken, die sich mit den zylindrisch angearbeiteten Oberflächen in Längserzeugenden berühren. Seitlich festgehalten werden sie durch beiderseitige Zahnangüsse der Oberkörper, die in Ausnehmungen der Unterkörper eingreifen.

Abb. 38. Strombrücke. Gerüste im Felde S_3 und Ansicht der alten Brücke.

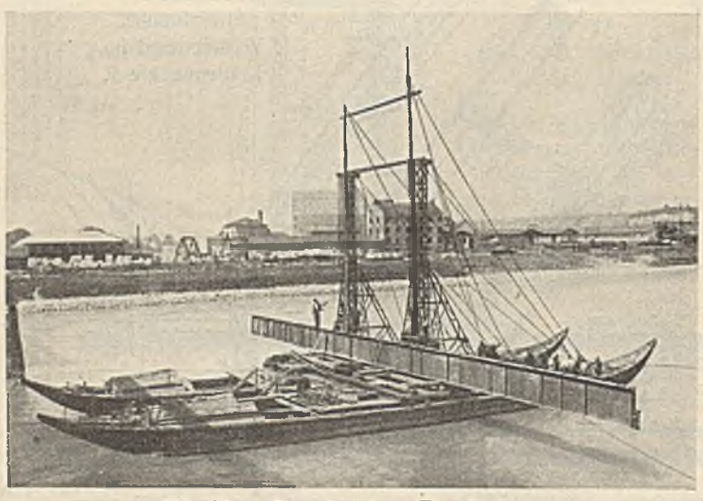


Abb. 38a. Strombrücke. Einschwimmen der Gerüstträger.

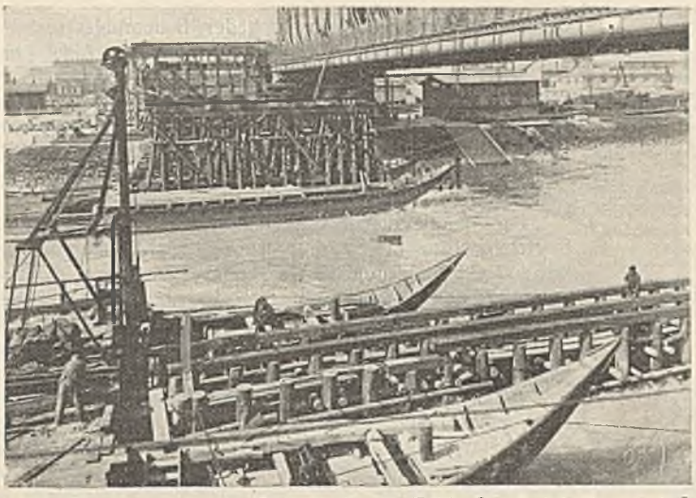


Abb. 39. Strombrücke. Gerüstjoche im Felde S_4. 1. Arbeitsperiode.

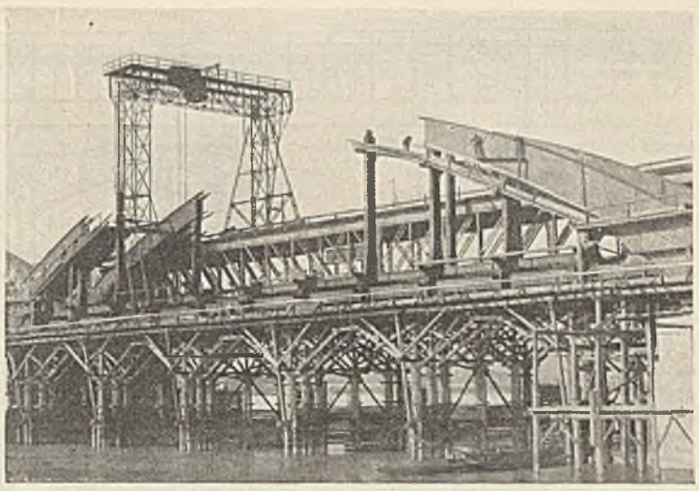


Abb. 41. Strombrücke. Gerüste im Felde S_2. 1. Arbeitsperiode.

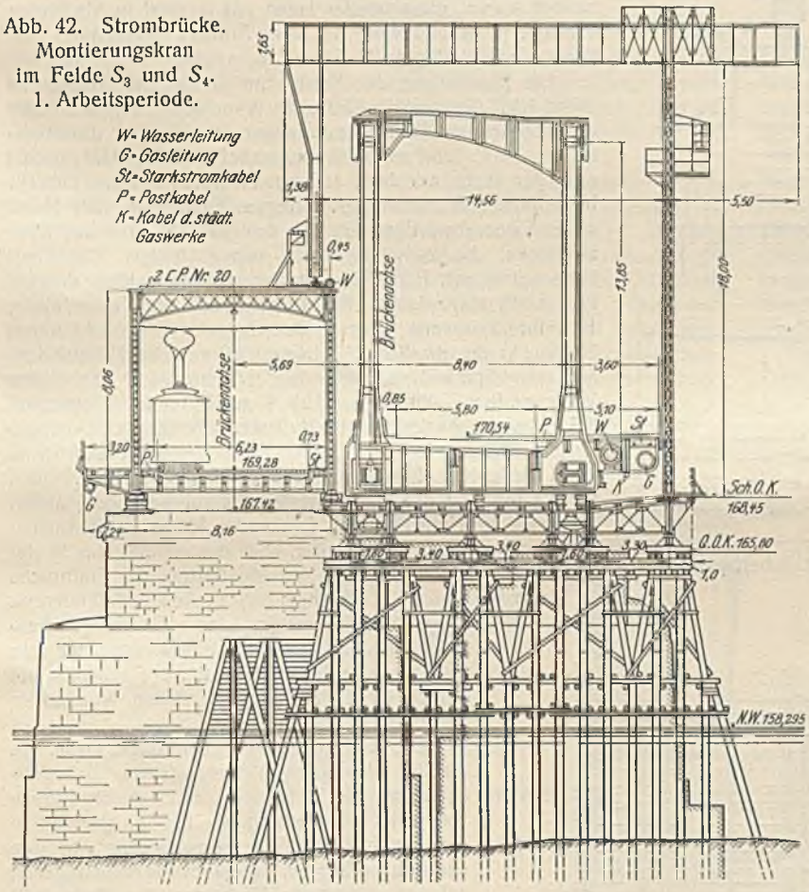


Abb. 42. Strombrücke. Montierungskran im Felde S_3 und S_4. 1. Arbeitsperiode.

Zur Entwässerung der Fahrbahn dienen gußeiserne Abflußkasten, die in Entfernungen von 6,7 bis 9 m an die Bordträger angebaut sind. Für die Entwässerung der Isolierschicht wurden in Entfernungen von 3 m in die Bordträger bezw. Schienentröge kurze Abflußröhrchen eingelegt (Abb. 14 u. 15). Für den Schneeabwurf sind Kasten aus Flußstahl eingebaut, die in Entfernungen von 100 m verlegt sind. Für die Bespritzung der Fahrbahn und der Gehwege soll in einem späteren Zeitpunkte eine Wasserleitung von 100 mm Durchm. eingebaut werden, für die stromaufwärts der Brückenachse bereits die nötigen Aufhängepunkte bezw. Ausnehmungen in den Querträgern vorgesehen wurden. Bei der Anfertigung der Sonderentwürfe wurde auf eine leichte Zugänglichkeit und Erneuerung des Anstriches das größte Gewicht gelegt.

Das Geländer der Tragwerke (Abb. 13a) und der stadtseitigen Zufahrtrampe ist durchweg gleich ausgebildet und aus architektonischen Rücksichten kräftig gehalten. Es besteht der Hauptsache nach aus lotrechten Stäben 22 · 22, die im obersten und in den Streifen neben den Ständern durch ringförmige Füllungen miteinander verbunden sind.

Die Aufstellung der Flutbrückentragwerke wurde ohne Schwierigkeiten von leichten Untergerüsten aus teils mit einfachen Holzkranen, teils mit einem eisernen Auslegerkran vorgenommen. Das gleiche gilt hinsichtlich der Montierung der Kaibrücke, wobei nur der dichte Verkehr der darunter gehenden Vollbahn und die zur Verfügung stehende geringe Durchfahrthöhe besondere Aufmerksamkeit erheischten.

Der baulich wichtigste und schwierigste Teil des Brückenbaues war die Montierung der Strombrückentragwerke. Um der Forderung nach einer freien Durchfahrtöffnung von mindestens 32 m Lichtweite in dem jeweilig in Montierung begriffenen Schifffahrtfeld nachzukommen, wählte die Firma Waagner, B. u. K. die diese Arbeiten auszuführen hatte, für das Untergerüst vollwandige Eisenträger, die als Kragträger mit Gelenken im Mittelfelde ausgebildet

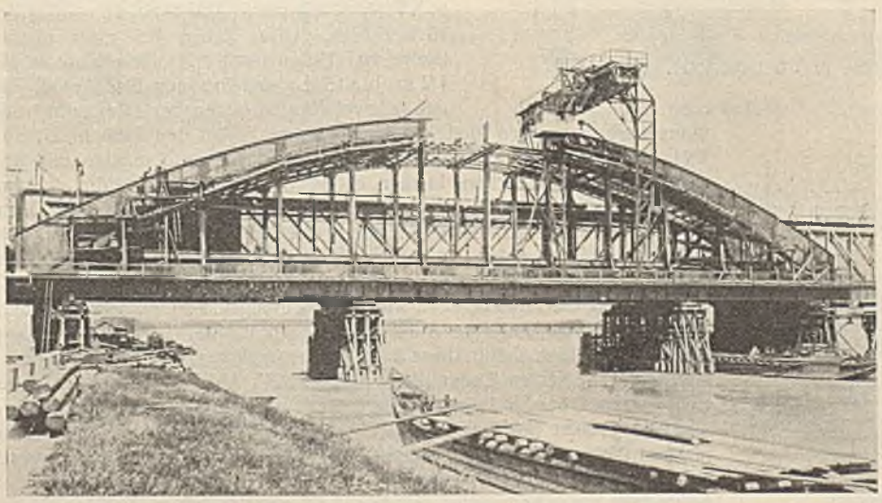


Abb. 40. Strombrücke. Gerüste im Felde S_4. 1. Arbeitsperiode.

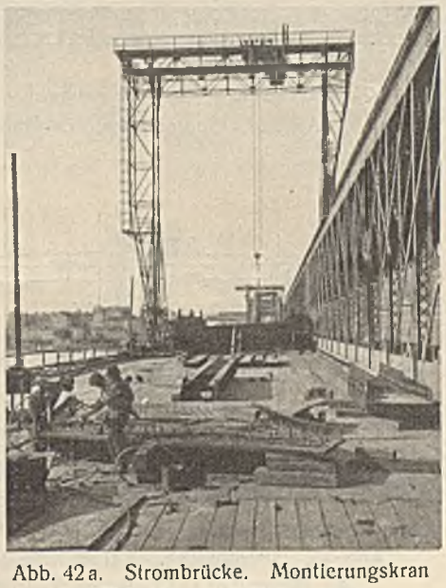


Abb. 42a. Strombrücke. Montierungskran im Felde S_1. 1. Arbeitsperiode.

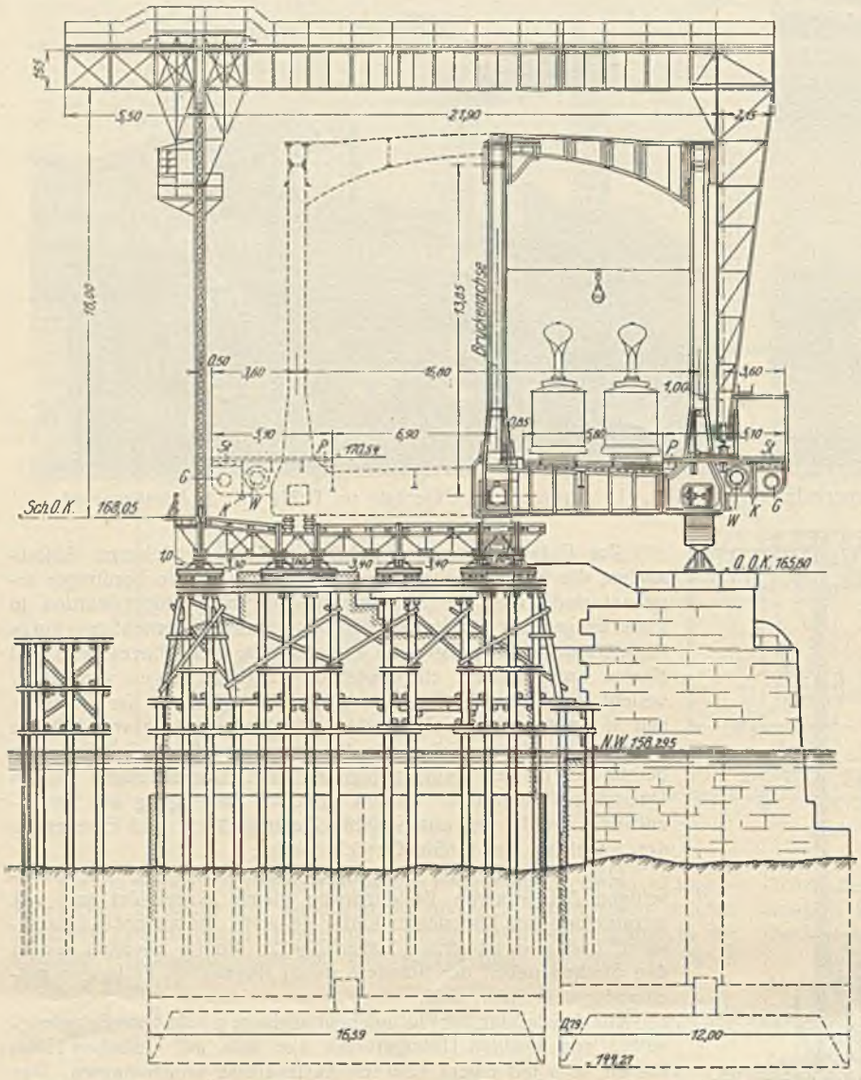


Abb. 43. Strombrücke. Montierungskran im Felde S_3 und S_4. 2. Arbeitsperiode.

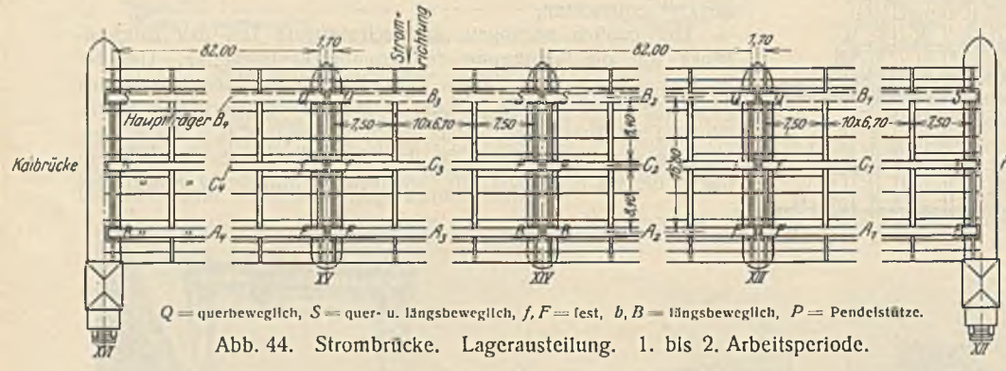


Abb. 44. Strombrücke. Lagerausteilung. 1. bis 2. Arbeitsperiode.

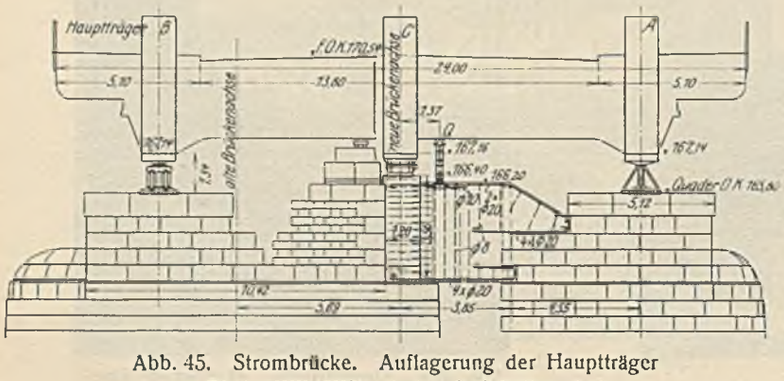


Abb. 45. Strombrücke. Auflagerung der Hauptträger am Pfeiler XIII (XV). 1. bis 2. Arbeitsperiode.

waren. Hierzu gelangten in jeder Bauperiode sechs je 1400 mm hohe Vollwandträger (Abb. 38) zur Aufstellung, die stets in ganzen Längen eingebaut (Abb. 38a) und auf zwei- bezw. dreireihigen Jochen (Abb. 39 u. 40) abgelagert wurden. In den zwei linkseitigen, von der Schiffahrt nicht benutzten Öffnungen konnte mit Holzgerüsten — doppelte Sprengwerke zu 14 m Stützweite — das Auslangen gefunden werden (Abb. 41).

Zur Montierung der Tragwerke wurden zwei elektrisch betriebene Eisenkrane von 18 bezw. 20 m Nutzhöhe verwendet. Diese waren in der ersten Bauperiode (Abb. 42 u. 42a) derart eingerichtet, daß der Pendelfuß auf dem Untergerüst, der feste Fuß, 8,5 m höher, auf dem Obergurt der bestehenden Brücke seine Laufbahn erhielt. Dies konnte deswegen geschehen, weil nach dem Entfernen des abwärtigen Gehweges der alten Strombrücke und der darin eingebauten Leitungen, der dem Straßenbahngleis näher gelegene Hauptträger nicht weniger beansprucht war als der abwärtige, wenn dieser vom Verkehr und dem arbeitenden Kran benutzt wurde. Die stromaufwärtige Kranschiene lag hierbei auf Langhölzern, die zwischen zwei Trägern I 24 verlegt waren, diese wieder lagen auf je zwei in Abständen von 3,67 m (Knotenweite der alten Brücke) voneinander entfernten, querverlegten ⊏-Eisen 20.

Die Einrichtung der Krane für die zweite Bauperiode (Abb. 43), die zwecks Umbaues von den Obergurten der neuen Brückenhälfte aus unterfangen wurden, war derart getroffen, daß der Pendelfuß nunmehr auf dem Untergerüst und der feste auf dem, auf den Konsolen der im Verkehr befindlichen Brückenhälfte verlegten Gleis lief. Die Kranschiene des abwärtigen Gleises kam hierbei auf Langhölzer zu liegen, die zwischen 2 I 35 verlegt waren. Die Kranbahn wurde mit Rücksicht auf den nebengehenden Verkehr beiderseits eingeplankt. Die Tragfähigkeit der Krane betrug 10 t. Ihre Spurweite in der ersten Bauperiode war 14,5 bezw. 12,6 m, in der zweiten 21,9 bezw. 19,8 m. Die Verschiedenheit der Spurweiten ergab sich daraus, daß die Firma Waagner, B. u. K. ihren Kran (Abb. 42 u. 43), der außerdem einen 5,5 m langen Ausleger erhielt, außerhalb der Konsolen der fertigen Brücke laufen ließ, während der Kran der Firma Gridl (Abb. 41 u. 42a), der keinen Ausleger besaß und auch für die Arbeiten des Werkes Witkowitz zur Verfügung stand, innerhalb der Konsolen lief. Die beiden Krane unterschieden sich noch dadurch voneinander, daß der erstere, der in der ersten Bauperiode auch bei der Montierung der Flutbrücke in Verwendung stand, im Gegensatz zu dem im Gitterwerk ausgeführten zweiten, eine vollwandige Kranbrücke erhielt. Beide Krane bewährten sich sehr gut, nur hatte der erstere unter den zeitweise auf der Baustelle herrschenden starken Windstößen zu leiden.

Die Auflagerung der Hauptträger (Abb. 44), die im einstweiligen Bauzustande, bei Vollbelastung als Hilfsträger, einen Auflagerdruck von 430 t zu übernehmen hatten, geschah in der ersten Bauperiode stromabwärts auf den endgültigen Lagern, stromaufwärts (Hilfsträger C) auf den abwärtigen Vorköpfen der Pfeiler XIII u. XV (Abb. 45) bezw. XIV (Abb. 46 u. 46a) der alten Brücke. Diese boten bei einer oberen Breite von 3,48 m noch Platz für ebenso lange, 1,2 m breite Lagersteine aus Eisenbeton, die mit je zwei Rippen gegen das stromaufwärtige Mauerwerk der neuen Pfeiler verspannt waren. Auf den Pfeilern XII und XVI, bei denen das Verbindungsmauerwerk zwischen den alten und den neuen Pfeilerteilen schon in der ersten Bauperiode ausgeführt werden konnte, wurden diese Quader in das Mauerwerk eingebunden. Die Eisenbeton-Quader erhielten auf den Pfeilern mit festen Lagern (XIII u. XV) eine Höhe von 3,56 m (Abb. 45), auf den Pfeilern mit beweglichen Lagern (XII u. XVI bezw. XIV) eine solche von 1,725 bezw. 1,150 m (Abb. 46).

Da man die Hilfsträger C, um sie spannungslos zu machen, vor dem Ausbau anheben und ihre Stützen entfernen mußte, wurden ihre Lager derart ausgebildet, daß in diese zwei Wasserdruckpressen eingebaut werden konnten. Die festen Lager (Pfeiler XIII u. XV, Abb. 45) bestanden daher aus je einem Ober- und einem Unterteil mit zwischenliegendem Kippzapfen, die beweglichen (Pfeiler XII u. XVI) aus je zwei seitlich abgenommenen 520 (am Pfeiler XII 400) mm hohen Rollen (Abb. 47). Zum Anheben dieser Punkte wurden an den Trägerenden Konsolen eingebaut und entsprechend ausgesteift. Da es bedenklich erschien, die beweglichen Lager auf dem Pfeiler XIV, mit Rücksicht auf die verhältnismäßig große Höhe über dem Pfeilerkopf

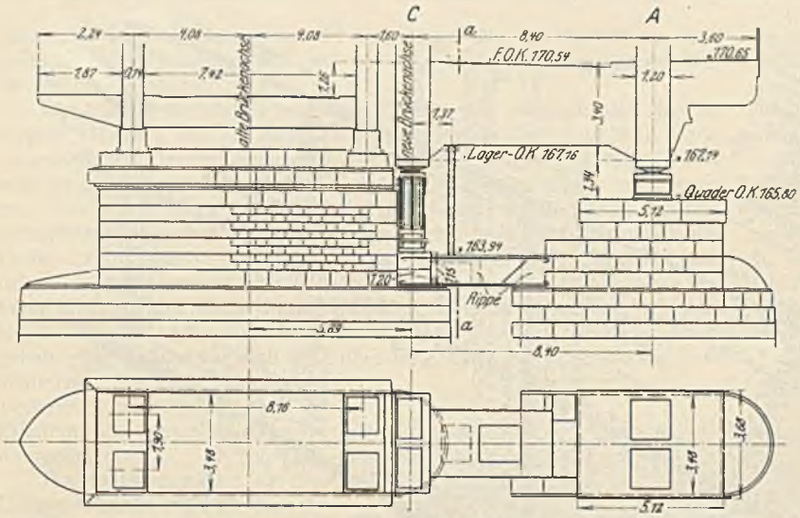


Abb. 46. Strombrücke. Auflagerung der Hauptträger am Pfeiler XIV. 1. Arbeitsperiode.

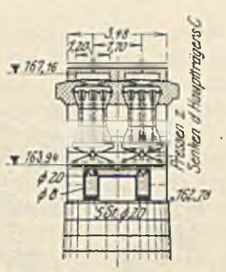


Abb. 46a. Strombrücke. Anordnung der Pendelstützen am Pfeiler XIV.

und die nicht vollwertige Verspannung ebenso hoch zu legen wie die festen, erhielten diese anstatt Rollen entsprechend ausgebildete Pendelstützen (Abb. 46, 46a u. 48). Die Unterteile dieser Stützen waren gleich mit denen der festen Lager, während zu den Oberteilen die Oberteile der endgültigen beweglichen Lager genommen wurden.

Nach dem Fertigstellen der stromabwärtigen Brückenhälfte wurde diese einer Probebelastung unterzogen, und zwar sowohl mit ruhender wie mit rollender Last. Zugleich wurden, noch vor dem Eröffnen des Verkehrs, die Krane umgebaut und ihre Gleise verlegt. Nunmehr wurden die Gerüste entfernt und in die stromaufwärtige Hälfte übertragen. Sämtliche Pfähle mußten mit Rücksicht auf die Schiffahrt gezogen werden. Nach dem Eröffnen des Verkehrs und Herstellen der Gerüste in der aufwärtigen Brückenhälfte wurde mit den Kranen zunächst die alte Brücke abgetragen und sodann in einem Felde sofort mit dem Aufstellen des stromaufwärtigen, endgültigen Hauptträgers *B* begonnen. Die Verbindung der stromaufwärtigen Querträgerhälften mit den abwärtigen geschah zunächst nur lose mit einfachen Heftschrauben. Zur Verbindung der stromaufwärtigen Hälften der in den drei mittleren Hängepfosten eingebauten Querriegel wurden eigene Bügel, bestehend aus einem Stehblech 800 · 13 und je zwei Gurtwinkeln 140 · 140 · 14 (Abb. 49) gewählt, die mit jenen der unteren Hälften, über den Obergurt der Hilfsträger *C* hinweg, ebenfalls nur lose verbunden wurden.

Das gleiche gilt für den Windverband der stromaufwärtigen Brückenhälfte, der einerseits am Zugband der Hilfsträger *C* anschließt und zunächst nur lose eingelegt wurde. Nach dem Einrichten und Verschrauben der Träger *B* wurden diese in allen Stößen fertig vernietet und freigelassen. Nun wurden die oberen Querverbindungen endgültig miteinander verbunden und die aufwärtigen Hälften der Hauptquerträger 1—6—1 in den wagerechten Nietreihen mit den abwärtigen gemeinsam auf den richtigen Durchmesser aufgerieben und vernietet. Die abwärtigen Enden der aufwärtigen Endquerträgerhälften wurden hierbei auf die Mauerreste der alten Pfeiler abgestützt (Abb. 45). Sodann wurden die aufwärtigen Verbindungen der stromabwärtigen Endquerträgerhälften mit den Hilfsträgern *C* gelöst, die Endquerträger unterfangen (Abb. 46 u. 50) und die Verbindungen in den Querverbänden der stromabwärtigen Trägerhälften mit den Hilfsträgern *C* (Abb. 31) gelöst. Nunmehr wurden die Träger *C* angehoben, die Kippzapfen (Abb. 48) herausgezogen und die Pressen soweit nachgelassen, daß diese noch einen Druck von 60 t zeigten. Dadurch wurden die Hilfsträger *C* mittels ihrer Hängepfosten auf die Hauptquerträger abgestützt. Der zum Anheben der Stützpunkte erforderliche Druck berechnete sich mit rd. 400 t und wurde auf den eingebauten Manometern auch stets abgelesen. Das Anheben und Nachlassen der Träger geschah absatzweise, wobei die Höhenänderungen der einzelnen Knotenpunkte beobachtet wurden. Während dieser Arbeiten, die insgesamt viermal vorzunehmen waren und jedesmal etwa 4 bis 5 Stunden Zeit beanspruchten, wurde der Straßenverkehr auf der Brücke eingestellt.

Nunmehr wurden die mittleren Stöße der Bogengurte *C* gelöst und die Teile stückweise ausgebaut, um in der nächsten Öffnung wieder aufgestellt zu werden. Die Stöße und Obergurtlamellen dieser Träger wurden in der ersten Bauperiode zwecks schnelleren Ausbaues nur zur Hälfte vernietet, zur anderen Hälfte verschraubt, die Querverbindungen nur verschraubt (Abbild. 51). Zum Verschrauben wurden gedrehte Schraubenbolzen mit 1/100 Anzug verwendet, die in eben solche Löcher eingezogen wurden. Die einstweilig vernieteten Nietlöcher, sowie die verjüngt ausgebohrten Schraubenlöcher dieser Träger, die im einstweiligen Zustande um 2 mm schwächer gehalten wurden, wurden im endgültigen Zustande auf den richtigen Durchmesser aufgerieben und plangemäß vernietet.

Nach dem Entfernen der mittleren Gurtteile wurden sofort die oberen Querver-

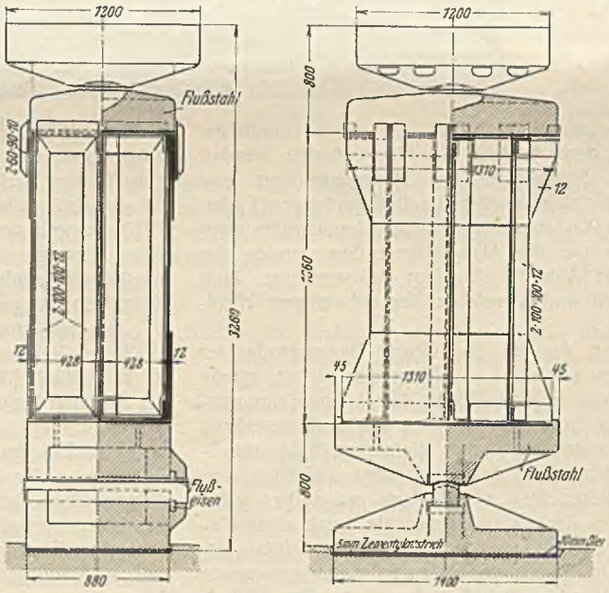


Abb. 48. Strombrücke. Pendelstützen am Pfeiler XIV.

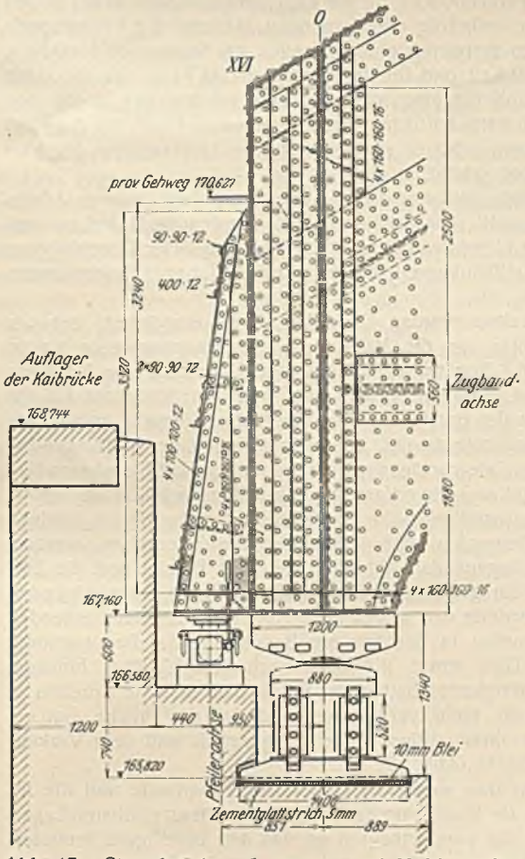


Abb. 47. Strombrücke. Lagerung und Hubkonsolen der Hauptträger *C* auf dem Pfeiler XVI (XII).

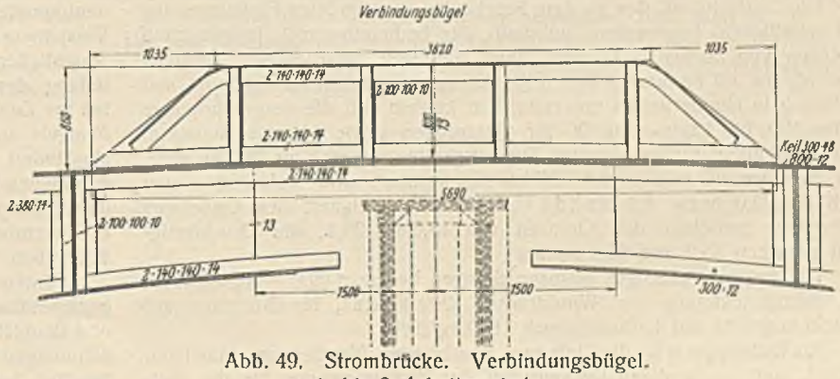


Abb. 49. Strombrücke. Verbindungsbügel. 1. bis 2. Arbeitsperiode.

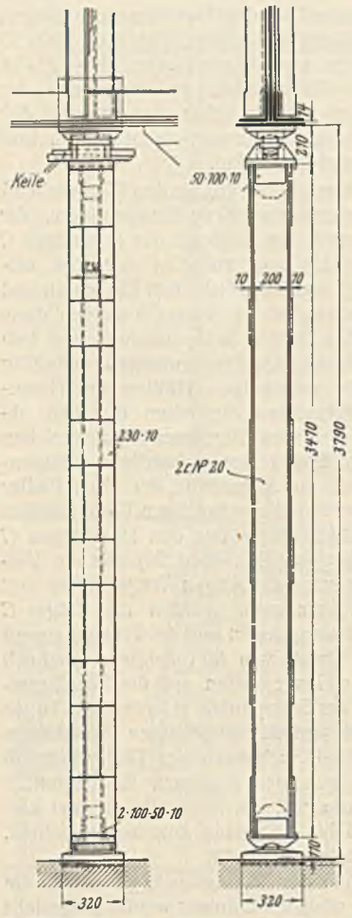


Abb. 50. Strombrücke. Stützen zum Unterfangen der Endquerträger am Pfeiler XIV. 1. bis 2. Arbeitsperiode.

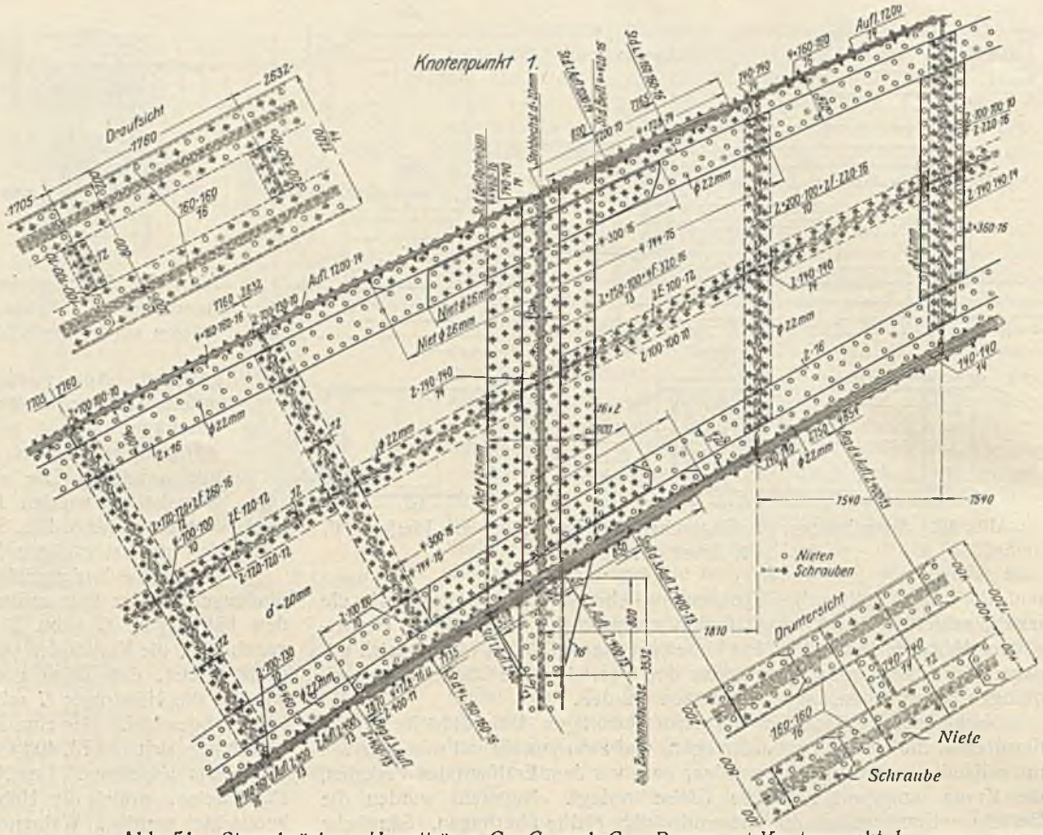


Abb. 51. Strombrücke. Hauptträger C_2, C_3 und C_4. Bogengurt-Knotenpunkt *1*.

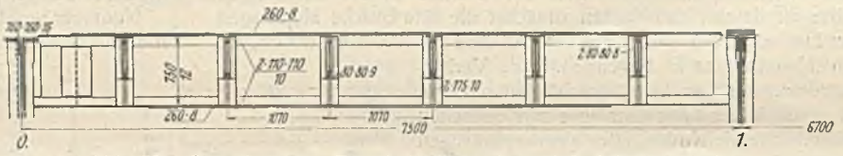


Abb. 52. Strombrücke. Einschaltträger, 1. und 2. Arbeitsperiode.

bände in den mittleren Teilen ergänzt, vernietet und die Verbindungsbügel entfernt. In einem mit dem Ausbau der Hängepfosten wurden die oberen Decklaschen und Stoßwinkel der Hauptquerträger eingebaut und fertig vernietet. Zugleich wurden die flußabwärtigen Enden der Zwischenquerträger mit den flußaufwärtigen verbunden, ausgerieben und vernietet. Nach dem Ausbau der Hauptträgerenden wurden die Zwischenstücke der Endquerträger (Abb. 27) eingelegt und vernietet. Zum Schluß fand noch das Einrichten und Vernieten der aufwärtigen Windverbandhälften statt.

Das Zugband der Hilfsträger, das im endgültigen Bauzustande der Brücke nur mehr als Längsträger (Abb. 24 u. 32) zu wirken hat, wurde nach dem Ausbau der Bogengurte in den Stößen über den Hauptquerträgern 2, 4 und 6 abgenietet. In diese Nietlocher wurden zur Vermeidung von Nebenspannungen Schrauben mit um 2 mm kleinerem Bolzendurchmesser eingezogen. Der restliche Teil des Zugbandes zwischen den Hauptquerträgern 0 bis 1, wo dieses bloß als Zugband zu wirken hatte und als Längsträger auch schon in der ersten Bauperiode durch einen Einschaltträger (Abb. 52) ersetzt war, wurde nach dem Ausbau der Hilfsträger entfernt. Dasselbe geschah auch mit den in der ersten Bauperiode zwischen den Knoten 0—1—2—3 eingebauten Gegenstreben des einstweiligen Windverbandes (Abb. 34).

Die Zugfestigkeit des zu dem Brückenbau verwendeten Flußeisens lag bei sämtlichen Tragwerken innerhalb der bedingnisgemäß festgesetzten Grenzen von 36 bis 45 kg/mm², beim Nieteisen zwischen den Grenzen von 35 bis 40 kg/mm². Das Produkt aus Festigkeit in kg/mm² mal Dehnung in Hundertteilen unterschritt in keinem Fall die vorgeschriebene Ziffer 100 für Längs- und 90 für Querproben sowie 110 für Nieteisen. Der verwendete Flußstahl zeigte Zugfestigkeiten von 60,9 bis 78,6 kg/mm², der Sonderstahl solche von 75,7 bis 86,2 kg/mm², und Dehnungen von 10,8 bis 22,0 bezw. 8,1 bis 16,4 %. Die Zugfestigkeit des Gußeisens schwankte zwischen den Grenzen von 13,6 bis 20,1, die Druckfestigkeit zwischen 55,2 und 91,8 kg/mm².

Die größten zulässigen Beanspruchungen betrugen (800 + 3 1 =) 1046, bei Berücksichtigung des Winddruckes 1200 kg/cm², für Nieteisen auf Abscherung 700, auf Leibungsdruck 1800 kg/cm².

Als Einheitspreis für die Lieferung, Anarbeitung, Montierung, einmaligen Grund- und zweimaligen Deckanstrich der Eisentragwerke für die Flutbrücke galt ein Betrag von 600 Kr/t, für die gleichen Leistungen in der Strombrücke galt bei dem endgültig einzubauenden Material der Einheitspreis von 709 Kr/t, bei dem zeitweilig einzubauenden ein Betrag von 1000 Kr/t, für die Kaibrücke 540 Kr/t und für das Geländer 690 Kr/t. Die im Jahre 1913 vereinbarten Einheitspreise haben jedoch zufolge der durch den Krieg hervorgerufenen wirtschaftlichen Umwälzungen im Laufe der Arbeiten wiederholte Änderungen erfahren und wurden von Jahr zu Jahr den Verhältnissen entsprechend erhöht.

Die Sonderentwürfe für diesen Brückenbau wurden in den Jahren 1912 und 1913 aufgestellt. Im Spätherbst 1912 wurden die Unterbau- und im Frühjahr 1913 die Überbauarbeiten ausgeschrieben. Der Durchführung der Arbeiten lag ein zeitlich begrenztes, genau umschriebenes Bauprogramm zugrunde.

Die Unterbauarbeiten wurden Ende April 1913 eingeleitet, mit der Aufstellung der Gerüste für die Montierung der Eisentragwerke wurde anfangs Dezember 1913 begonnen. Die Arbeiten gingen bis zum Ausbruch des Krieges rasch und programmgemäß vor sich. Mit Rücksicht auf die besondere Wichtigkeit der Brücke für den öffentlichen Verkehr wurden sie zwar während der Kriegszeit sowohl, wie auch während der nachfolgenden Jahre nie unterbrochen; sie verzögerten sich jedoch sehr bald, insbesondere machte sich der Mangel an vollwertigen Arbeitskräften stark fühlbar. Trotzdem konnte die stromabwärtige Hälfte der Brücke mit einer nur 1¼ jährigen Verspätung am 2. Dezember 1916 dem Verkehr übergeben werden. Anschließend daran begann das Abtragen der alten Brücke und die Einleitung der Arbeiten für die zweite Bauperiode. Wegen Schwierigkeiten bei der Zufuhr der Baustoffe und wegen des immer mehr fühlbar werdenden Mangels an diesen mußte in der zweiten Bauperiode das Bauprogramm abgeändert werden. Dies sowie die bald nach dem Umsturz hinzugekommenen Geldschwierigkeiten hatten zur Folge, daß sich die Arbeiten in dieser Bauperiode noch mehr verzögerten und daß die Brücke erst am 8. November 1923 in ihrer vollen Breite fertiggestellt und dem Verkehr übergeben werden konnte (Abb. 53).

Fördernd bei dem Bau waren die Nähe einer Hauptbahn und die im genügenden Ausmaße zur Verfügung gestandenen, leicht erreichbaren Lager- und Bauplätze, sowie die vom Anbeginn an von den beteiligten Bauunternehmungen vorgesehenen, großzügig angelegten Baueinrichtungen. Ebenso bewährt hat sich die gründliche Vorbereitung der Bauentwürfe und die

Errichtung einer Bauleitung an Ort und Stelle, die sowohl mit der Aufstellung der allgemeinen wie mit der Verfassung und Bearbeitung der Sonderentwürfe betraut war.

Der Umbau der Brücke war an die Bedingung geknüpft, daß die Gemeinde Wien zu den im Jahre 1912 mit 12 Mill. Kr. (= 10 Mill. Mark) veranschlagten Gesamtkosten des Baues einen Beitrag von 4 Mill. Kr. vorweg zu leisten und nach Maßgabe des Baufortschrittes flüssig zu machen hat. Der Donau-Regulierungs-Fonds selbst hatte hierzu 1 Mill. Kr. beizutragen, der Rest war aus den Beiträgen der Kurien, aus denen sich die Donau-Regulierungs-Kommission zusammensetzte, Staat, Land Niederösterreich und Gemeinde Wien je zu gleichen Teilen aufzubringen. Die beim Abtragen der alten Brücke gewonnenen Baustoffe sollten, insoweit sie nicht beim Umbau Verwendung fanden, an die Gemeinde Wien übergehen. Die Brücke war nach der Vollendung, unter Aufrechterhaltung ihrer Widmung für den öffentlichen Verkehr, in das Eigentum und die Erhaltung der Gemeinde Wien zu übernehmen.

Die Ausführung aller mit dem Umbau zusammenhängenden Arbeiten, mit Ausnahme der Anschüttung und Verbreiterung der linkseitigen Rampe und der anschließenden Zufahrtstraße, oblag der Donau-Regulierungs-Kommission. Die letztgenannten Arbeiten, für die diese nur einen Beitrag zu leisten hatte, besorgte die Gemeinde Wien. Die Verlegung der Trinkwasserleitung aus den flußabwärtigen Konsolen der alten Strombrücke, den Ein- und Ausbau der Straßenbahngleise, der Beleuchtungsmaste, der Gas- und elektrischen Leitungen, mit Ausnahme der Beleuchtung der Schiffahrtsignale, den Einbau der Wasserleitungen, sowie die Lieferung aller dazugehörigen Baustoffe und Einrichtungen übernahm die Gemeinde Wien auf ihre Kosten. Die Donau-Regulierungs-Kommission hatte nur die Herstellung der Stützpunkte und Lagerungen für die Einbauten zu besorgen. Der Ein- und Ausbau der Postkabel oblag der Postverwaltung. Die Rohrpostanlage und der Einbau der ebenfalls vorgesehenen Wasserleitung zur Bespritzung der Fahrbahn und Gehwege wurden zunächst nicht ausgeführt.

Abb. 53. Strombrücke. Durchsicht.

Das gewählte Montierungsverfahren hat sich durchweg bewährt. Es hat zwar gegenüber anderen den Nachteil einer längeren Bauzeit, die bei diesem Bau mit dem etwa $1^1/_2$fachen der gewöhnlichen angenommen werden darf. Dagegen besitzt es den großen Vorteil der vollständigen Unabhängigkeit von allen Notbauten und den einer unbedingten Sicherheit bei der Aufrechterhaltung des Verkehrs. Infolgedessen wird es auch bei Herstellungen geringeren Umfanges für gewöhnlich nicht angewendet werden, hingegen in Fällen, die große und kostspielige Notbauten erfordern, mit Vorteil zur Anwendung gelangen können. Im vorliegenden Fall, in dem durch plötzlich eingetretene, unvorhergesehene Ereignisse der Bau auf viele Jahre hinausgezogen wurde — die Gesamtbauzeit dauerte von Ende April 1913 bis Anfang November 1923 —, ist es nur bei dem gewählten Verfahren möglich gewesen, den Verkehr die lange Zeit hindurch vollkommen kosten- und reibungslos abzuwickeln. Jeder Einbau von Notbrücken, die doch nicht für eine so lange Dauer vorgesehen gewesen waren, hätte sich wirtschaftlich unvergleichlich schlechter ausgewirkt, wenn er nicht auch Verkehrsstörungen der schwersten Art nach sich gezogen hätte.

Außer den bereits genannten Unternehmungen für die Ausführung der Unterbauarbeiten und der Eisentragwerke waren beim Bau hauptsächlich die nachfolgenden Unternehmungen tätig: Joh. Schußmann für die Herstellungen der Fahrbahn und Granitsteinpflasterungen, G. Rütgers und Schrabetz & Co., A.-G. für Holzstöckelpflasterungen, Ing. Ed. Ast & Co. für die Eisenbetonplatten der Gehwege und Teerag-A.-G., Bauabteilung „Asdag“ für Asphaltarbeiten.

Mit der Verfassung der Vorentwürfe für diesen Brückenbau wurde, unter Mitwirkung des Ing. Dr. K. Haberkalt, Prof. Ing. Dr. Fr. Postuvanschitz betraut. Die Aufstellung der Sonderentwürfe und die Leitung der Arbeiten an Ort und Stelle oblagen dem Verfasser, der hierbei von den Ingenieuren N. Wittmann, A. Smola, Dr. E. Cecerle tatkräftig unterstützt wurde. Die Namen jener Ingenieure, die sich um den Bau besonders verdient gemacht haben, wurden für die Nachwelt auf einer im Stiegenhaus des rechtseitigen Strompfeilers angebrachten Gedenktafel festgehalten.

Die für die Ausführung der Arbeiten vorgesehene Bauzeit von $4^1/_2$ Jahren wurde zwar bedeutend überschritten, doch wäre sie unter den Verhältnissen, wie sie bei Beginn des Baues geherrscht haben, nicht schwer einzuhalten gewesen. Daß es jedoch trotz aller Hemmungen gelungen ist, diesen großen Brückenbau fachgemäß und wirtschaftlich durchzuführen, ist nicht zuletzt ein Beweis von dem zielbewußten, umsichtigen Vorgehen der Bauleitung und von der Gewissenhaftigkeit der Bauunternehmungen. Dies zeigt auch der Umstand, daß sich während der langen Bauzeit, trotz der Gefährlichkeit der Arbeiten, namentlich beim Herausheben des abgestürzten Senkkastens sowie beim Aufstellen und Abtragen der eisernen Überbauten für die Strombrücken wenig Unglücksfälle ereignet haben und auch diese stets nur auf eine Verkettung von Zufälligkeiten zurückzuführen waren.

Die neue Floridsdorfer Brücke, die mit ihrer einfachen architektonischen Ausgestaltung trotz der Mächtigkeit der Anlage einen gefälligen, in die Landschaft vorteilhaft sich einfügenden Eindruck macht, ist nicht nur eine Schenswürdigkeit der Bundeshauptstadt Wien, sondern auch ein sichtbares Zeichen der Leistungsfähigkeit österreichischer Industrie und der Ingenieure Österreichs.

Bisherige Veröffentlichungen über den Brückenbau.

„Neubau der Kaiser-Franz-Josef-Brücke über die Donau in Wien“. Ing. Rud. Reich, Österreichische Wochenschrift für den öffentlichen Baudienst, 1914, Heft 22.

„Neubau der Kaiser-Franz-Josef-Brücke über die Donau in Wien“. Baudirektion der n. ö. Donau-Regulierungs-Kommission, Wochenschrift für den öffentlichen Baudienst, 1916, Heft 44 und 45.

„Die Eisen-Beton-Caissons beim Neubau der Kaiser-Franz-Josef-Brücke über die Donau in Wien“. Baudirektion der n. ö. Donau-Regulierungs-Kommission, Zeitschrift für Betonbau, 1917, Heft 9 und 10.

„Der Neubau der Kaiser-Franz-Josef-Brücke über die Donau in Wien“. Ing. Dr. Karl Haberkalt, Deutsche Bauzeitung, 1917, Nr. 29, 30 und 33.

„Die Floridsdorfer Brücke über die Donau in Wien“. Ing. Ant. Hafner, Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure, 1925, Heft 47.

„Die neue Floridsdorfer Brücke über die Donau in Wien“. Ing. Ant. Hafner, Zeitschrift des österreichischen Ingenieur- und Architektenvereins, 1927, Heft 21/22 und 25/26.

Neuzeitliche Bagger- und Absetzer-Maschinen der Fried. Krupp A.-G. in Essen.

Alle Rechte vorbehalten.

Von Geheimrat **Buhle**, Professor in Dresden.

Nachdem ich in der „Bautechnik" 1923, Heft 20, S. 185 u. f. (vergl. auch die Fußnote daselbst)[1]), die Eimerkettenbagger der genannten Firma behandelt habe, möchte ich nach einer im Herbst 1926 unternommenen Studienreise nach dem Westen Deutschlands anschließend berichten über Kruppsche 1. Schwenkbagger, 2. Kratz- oder Schrämbagger, 3. Schaufel-Rinnenbagger, 4. Bagger mit Gurtförderern und 5. Absetzer.

[1]) S. a.: Garbotz, „Die Bautechnik" 1925, Heft 21, S. 276 u. f. („Elektrischer Baggerantrieb").

1. Schwenkbagger.

Der in Abb. 1 dargestellte Schwenkbagger wird in verschiedenen Größen für Durchfahrt von Voll- und Schmalspurbahnen, mit 200-, 250- und 300-Liter-Eimern gebaut. Die übersichtliche und zugängliche Anordnung der maschinellen Teile gestattet leichte Bedienung und raschen Ausbau.

Das auf drei Punkten abgestützte, als Tor durchgebildete Untergestell trägt den auf Kugeln gelagerten, schwenkbaren Baggeroberteil. Die Kugelbahnen sowie der Schwenkzahnkranz sind aus bestem geschmiedeten Sonderstahl hergestellt und vollständig gegen Flugsand geschützt. Die Kugeln können während des Betriebes nachgesehen und ausgewechselt werden. Der Bagger ist besonders geeignet für getrennte Gewinnung des Abraums bei Schichtlagerung verschiedener Bodenarten; ferner für Gruben mit geringer Mächtigkeit der Kohle und des Deckgebirges, indem der Bagger bald als Hochbagger das Deckgebirge abträgt, bald als Tiefbagger in der Kohle arbeitet. Infolge seines schwenkbaren Oberteils ist der Bagger in der Lage, am Ende des Abraumstoßes sich freizuschneiden. Dadurch kann er auch zum Vortreiben von Einschnitten und Kanälen benutzt werden. Die Schwenkbaggertypen sind aus Zahlentafel 1 ersichtlich:

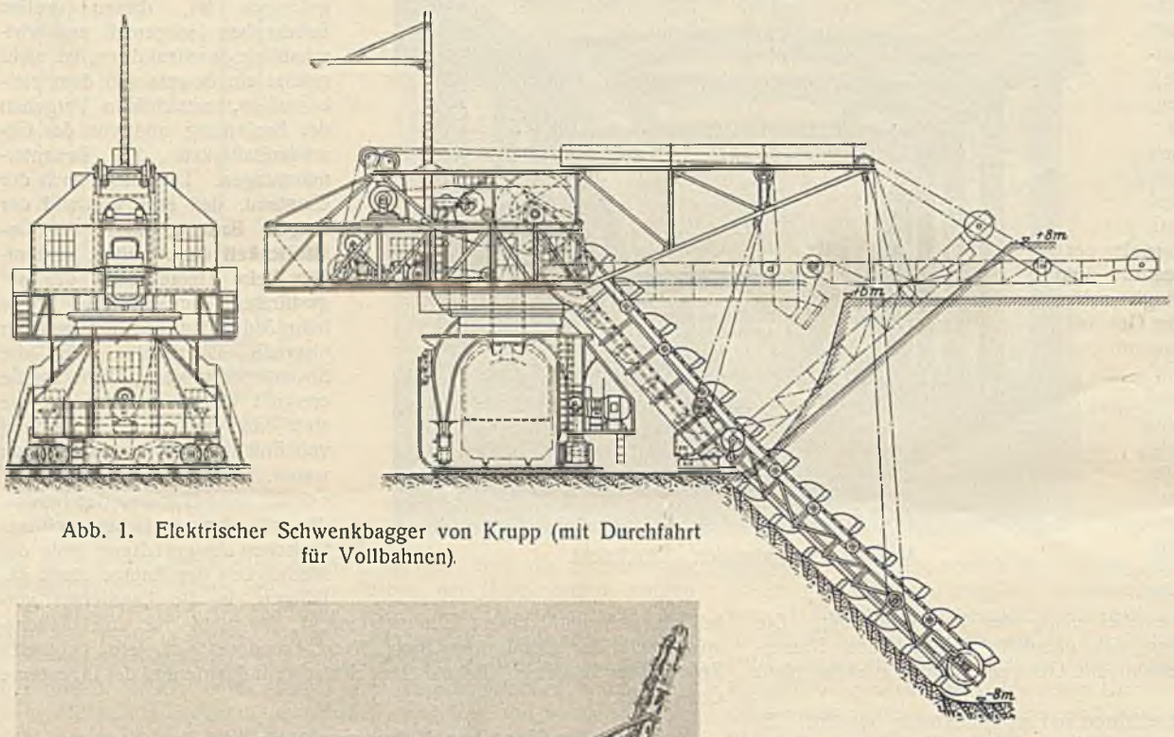


Abb. 1. Elektrischer Schwenkbagger von Krupp (mit Durchfahrt für Vollbahnen).

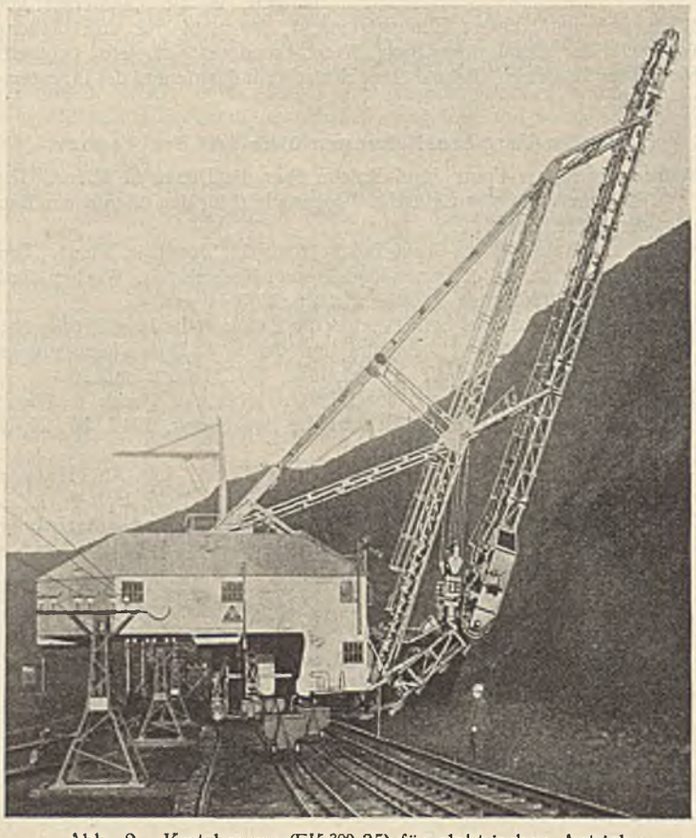


Abb 2. Kratzbagger (EK 300 35) für elektrischen Antrieb (Braunkohlengrube).

Zahlentafel 1. Schwenkbaggertypen.

Typ	Eimer-Inhalt in l	Stundenleistung in m³ 4fach geschakt theoretisch	Stundenleistung in m³ 4fach geschakt wirklich[1])	Größte Abtrag-höhe in m	Größte Abtrag-tiefe in m	Ausschüttungen in 1 Min. 4fach geschakt	Betriebsmaschinen PS Hauptantrieb	Betriebsmaschinen PS Fahrantrieb	Baggergewicht ohne elektrische Ausrüstung t	Bemerkungen
ES 200	200	360	235	8	6 bis 8	30	125	25	104	mit Durchfahrtprofil für Vollbahnen
ES 250	250	450	290	8	6 „ 8	30	135	30	124	
ES 300	300	540	350	8	6 „ 8	30	135	30	126	
ES 200	200	360	235	8	6 „ 8	30	125	25	99	mit Durchfahrtprofil für Kleinbahnen
ES 250	250	450	290	8	6 „ 8	30	135	30	120	
ES 300	300	540	350	8	6 „ 8	30	135	30	122	

[1]) Wirkliche Leistung in mittelschwerem Boden { bei 10 % Stillstandpausen durch Zugwechsel, „ einem Auflockerungsverhältnis von 1 : 0,85, „ einer Eimerfüllung von 85 %.

2. Kratzbagger.

Die in verschiedenen Braunkohlengebieten vorkommenden Kohlenflöze von hoher Mächtigkeit zwingen dazu, die Abbauhöhe der Bagger immer mehr zu vergrößern. Bis zu etwa 20 m Abtraghöhe kann ein „normaler" Eimerketten-Trockenbagger als Hochbagger Verwendung finden. Größere Abtraghöhen bis zu 36,5 m werden zweckmäßig mit dem in Abb. 2 dargestellten Kratz- oder Schrämbagger bewältigt. Die unter 60 bis 70° nach oben führende Kratzkettenleiter trägt die im Untergurt der Leiter geführte Kratzkette. Diese wird von der Eimerkette aus über zwei kurze Seitenkratzketten angetrieben.

Die Verbindung der Leiter mit dem Mast ist derart durchgebildet, daß sich die Schneidkante der Schrämzähne genau parallel zum Abbau-

stoß bewegt. Das geräumige Baggerhaus bietet die Möglichkeit einer übersichtlichen Aufstellung der elektrischen Maschinen, einer guten und leichten Zugänglichkeit und Bedienung der gesamten Einrichtung. Zahlentafel 2 zeigt die Haupttypen:

Zahlentafel 2. Kratzbaggertypen.

Typ	Eimerinhalt in l	Stundenleistung in m³ 4fach geschakt theoretisch	Stundenleistung in m³ 4fach geschakt wirklich[1])	Größte Abtraghöhe in m	Ausschüttungen in 1 Min. 4fach geschakt	Betriebsmaschinen PS Hauptantrieb	Betriebsmaschinen PS Fahrantrieb	Baggergewicht ohne elektrische Ausrüstung t
EK 250	250	450	290	36,5	30	135	35	145
EK 300	300	540	350	36,5	30	135	35	147
SK 250	250	450	290	25,0	30	100	30	110
SK 300	300	540	350	25,0	30	100	30	112

[1]) Wirkliche Leistung in mittelschwerem Boden { bei 10 % Stillstandpausen durch Zugwechsel; „ einem Auflockerungsverhältnis von 1:0,85; „ einer Eimerfüllung von 85 %.

Krupp hat einen derartigen Bagger für 25 m größte Abtraghöhe für die Grube „Kohlenquelle" der Hubertus-Braunkohlen-A.-G. in Brüggen geliefert. Der Bagger leistet stündlich etwa 400 Wagen von je 0,75 m³ Inhalt. Die Betätigung des Kohlenbunkerschiebers geschieht durch Druckluft. Die Kettenbahnwagen werden durch eine mit Druckluft geführte Anhalte- und Abstoßvorrichtung unterhalb des Baggerhauses zur Füllung festgehalten bezw. hernach selbsttätig abgestoßen.

Die gegenwärtig größten Kohlenkratzbagger der Welt gewinnen harte Braunkohle von 40 m Flözhöhe in einem Schnitt. Die Stundenleistung beträgt bei 500-l-Eimer etwa 600 Wagen je 0,8 m³. Durch das Tor des Baggers laufen zwei Kettenbahnen; deshalb sind zwei doppelschurrige Kohlenbunker und zwei Anhalte- und Abstoßvorrichtungen vorgesehen.

3. Schaufel - Rinnenbagger.

Krupps Schaufelbagger (Abb. 3) besteht im wesentlichen aus einem fahrbaren kranartigen Eisengerüst, in dem eine 850 mm breite und 5 m lange Rinne mit am vorderen Ende angeordnetem Schneidmesser und Reißzähnen auf und ab bewegt wird. Vom (20 PS-) Motor aus werden durch Vermittlung zweier Zahnrädervorgelege zunächst zwei Seiltrommeln bewegt, die das Heben und Senken der Schaufel bewirken. Vom Motorvorgelege geht auch der umsteuerbare Antrieb für das Vorstoßen und Zurückziehen der Schaufel ab. Unterhalb der letzteren befindet sich ein U-Eisen-Rahmen mit Winkeleisenführung, die sich zwischen drehbaren Rollenschilden hin und her schieben lassen. Ferner ist unter der Schaufel nahe der Seilaufhängung ein Ballastkasten angebracht, der mit Schrott gefüllt wird, damit die Schaufel das zum selbsttätigen Senken erforderliche Gewicht erhält.

Abb. 3. Krupp-Schaufel-Rinnenbagger für elektrischen Antrieb (30 m³/Std.), in einer Tongrube arbeitend. Größte Abtraghöhe 8 m.

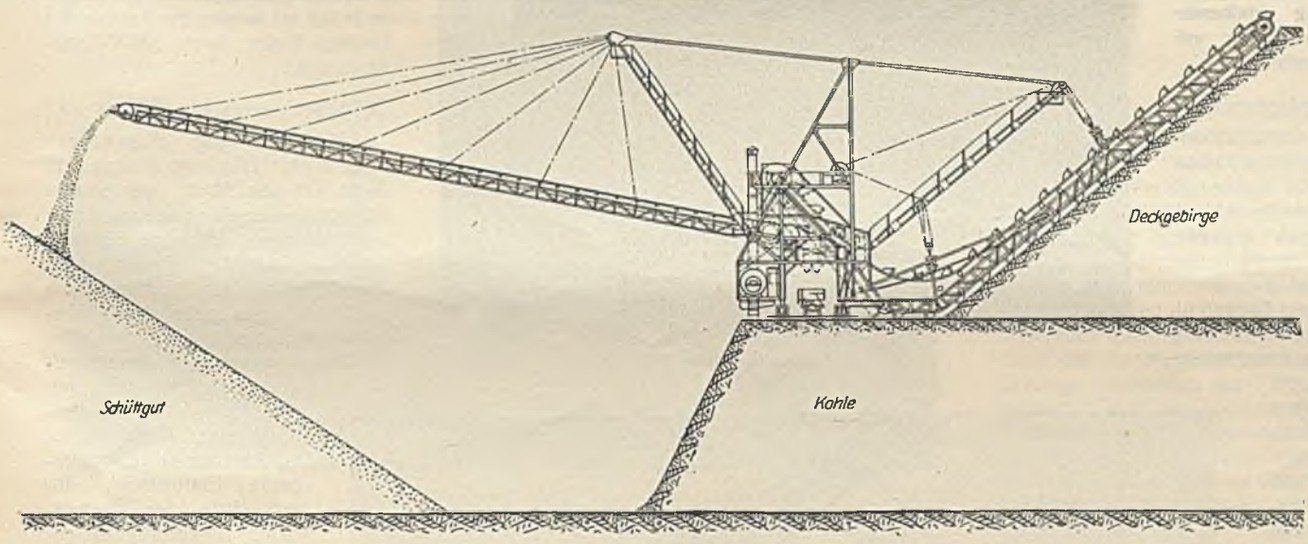


Abb. 4. Einfachschütter E 250 Hochbagger mit Dampfantrieb und Gurtförderer.

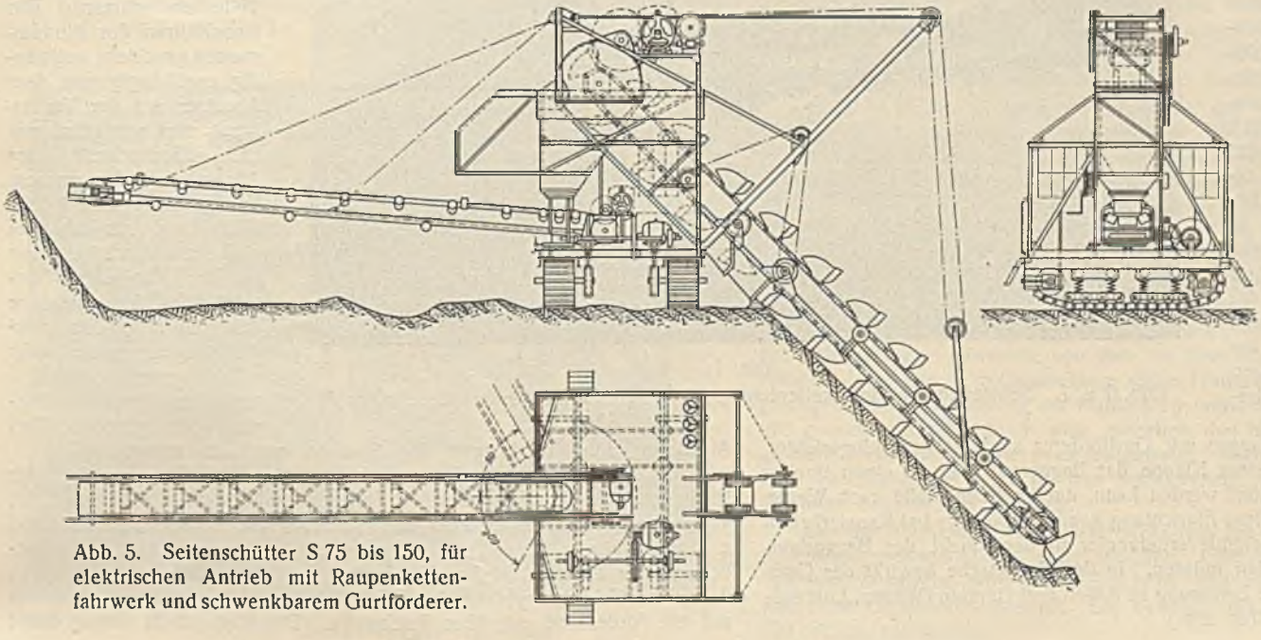


Abb. 5. Seitenschütter S 75 bis 150, für elektrischen Antrieb mit Raupenkettenfahrwerk und schwenkbarem Gurtförderer.

Die Arbeitsweise ist folgende: Der Löffel wird durch Lösen einer Kegelkupplung in die tiefste Lage gesenkt, dann von den Seiltrommeln angehoben und während des Anhebens in das wegzubaggernde Gut vorgestoßen, bis der Löffel in die höchste Lage gehoben ist. Das Gut rutscht infolge der steilen Höchstlage der Schaufel selbsttätig nach unten und gelangt in einen Füllrumpf von etwa 1,6 m³ Inhalt, aus dem es mittels einer zweiteiligen Verschlußklappe in die Förderwagen abgezogen wird. Zur Bedienung sind zwei Mann erforderlich: ein Baggermeister, der die Bewegung der Schaufel ausführt, und ein Füller, der den Bunkerverschluß betätigt. Die Verfahrung geschieht maschinell und wird gleichfalls vom Baggermeister ausgeführt.

Des letzteren Stand sowie der des Füllers und der Motor mit den Hauptgetriebeteilen sind durch Blechhäuschen

bezw. -verkleidungen gegen Witterungseinflüsse geschützt. Der Bagger fährt auf zwei Schienen von 3 m Mittelentfernung; die lichte Durchfahrthöhe bei geschlossenen Klappen beträgt 2,3 m von S.-O. Die drei Vorderräder sind am Gerüst fest gelagert, während die beiden Hinterräder in einer drehbaren Schwinge angeordnet sind (Dreipunktabstützung). Die Räder sind reichlich breit, um Kurven bequem durchfahren zu können.

Hinter der Verkleidung des Motors und der Hauptgetriebe ist ein Blechkasten zur Aufnahme von Ballast vorgesehen, um der (bis zu 4500 kg anwachsenden) Grabkraft der Schaufel entgegenzuwirken.

Diese Baggerart mit ihrer Leistungsfähigkeit bis zu etwa 30 m³/Std. eignet sich besonders zum Abgraben von hartem Ton, Abräumen von niedrigen Deckgebirgen, zum Aufladen von Haldenschutt (taubem Gestein) vom Kohlenbergbau, Verladen von Schuttmassen usw. Die Höhe der abzutragenden Massen kann bis zu 8 m betragen. Das Gewicht (einschl. elektrische Innenausrüstung) beträgt 14 t. Für die Baggerung von stark klebendem Ton ist eine Berieselungsanlage am Bagger vorgesehen, die das Schaufelinnere (zum besseren Rutschen des Gutes) anfeuchtet. Diese das Baggergewicht um 250 kg erhöhende Berieselungsanlage wird nur auf besonderen Wunsch geliefert.

4. Bagger mit Gurtförderern.

Für Kanal- und andere Tiefbauarbeiten finden je nach den örtlichen Verhältnissen mit Vorteil Bagger mit Gurtförderern Verwendung (Abb. 4 u. 5). Bei dieser Baggerart wird das Fördergut nicht in Kippwagen gestürzt, sondern gelangt auf einen Bandförderer, der das Baggergut entweder am Förderende abwirft oder es mittels eines zweckmäßig gebauten Abwurfwagens unterhalb des größten Teiles der freischwebenden Förderlänge zu einem Damm mit breiter Krone aufschüttet. Als Fördermittel wird im allgemeinen ein guter Gummigurt verwendet, da alle anderen Gurtarten, wie getränkte Baumwollbänder, Balatagurte, Drahtgurte, Stahlbänder usw. für Förderung von Erdmassen ungeeignet sind. Obgleich ein Gummigurt bei der Beschaffung teuer erscheint, so ist er im Betriebe doch billiger in Anbetracht des geringen Verschleißes bei richtiger Behandlung, wegen der einfachen und bequemen Wartung und nicht zuletzt wegen des geringen Verbrauches an Schmierstoffen.

Die Kruppschen Bagger mit Gurtförderer sind stets so eingerichtet, daß durch Umstellen einer Klappe das Baggergut auch in einen Bunker oder eine Rutsche geleitet werden kann, um im Bedarfsfalle auch Wagen beladen zu können. Diese Einrichtung kommt besonders bei Kanalarbeiten in Anwendung, wo Geländevertiefungen in der Flucht der Baggerfahrstrecke ausgefüllt werden müssen. In der Hauptsache bewirkt der Gurtförderer am Bagger eine Ersparung an Arbeit und Geräten (Wagen, Lokomotiven, Schienen, Schwellen usw.).

Abb. 6.

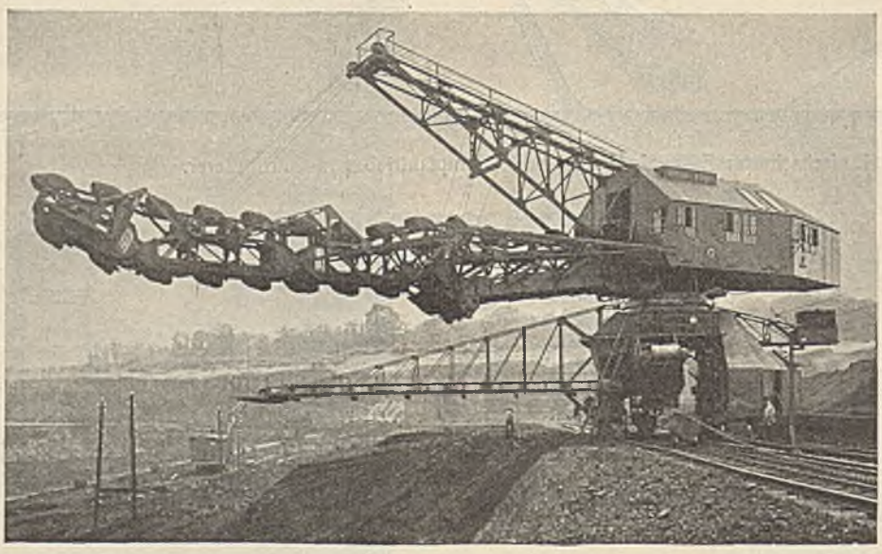


Abb. 7.

Abb. 6 u. 7. Schwenkbarer Eimerkettenbagger mit angehängter Förderbrücke (Krupp).

Der in Abb. 6 u. 7 wiedergegebene schwenkbare Eimerkettenbagger mit angehängter Förderbrücke ist in zweifacher Ausführung an die Braunkohlen-Bergwerk und Brikettfabrik Liblar bei Köln geliefert. Er besitzt 250-l-Eimer und ist für 10 m Baggertiefe und 7 m Abtraghöhe eingerichtet. Der Oberteil mit der Eimerleiter dreht sich auf einer oberhalb des Tores angeordneten Kugelbahn. Das Gerät stützt sich mit zwei zweiachsigen Drehgestellen mit einem sechsrädrigen Einschienenfahrgestell auf drei Schienen ab. Im Tor ist neben der doppelschurrigen Kohlenverladeeinrichtung mit Anhalter und Abstoßer für die Kettenbahnwagen noch ein Förderband angeordnet, das zum Bewegen von Ton dient. Dieser umsteuerbare Bandförderer gibt das Gut weiter auf einen von dem Bagger mitverfahrenen Brückenförderer von 20 m Ausladung, der den Ton in die ausgekohlte Grube zurückwirft. Die Einstellung von Kohlen- auf Tonförderung bezw. umgekehrt geschieht durch eine einfache Wendeklappe. Der drehbare Bagger kann sowohl für Hoch- als auch für Tiefbaggerung verwendet werden. Man kann mit diesem Gerät auch (ähnlich wie mit einem Löffelbagger) in die Flözecken hineinreichen. Die Stundenleistung beträgt etwa 400 Wagen zu je 0,8 m³ Inhalt; der Antrieb des Gerätes findet durch 500-V-Drehstrom statt.

5. Absetzermaschine (D.R.P.a.).

Mit dem sog. „Absetzer“ (Abb. 8 bis 11) bringt Krupp ein Gerät auf den Markt, das in der Bewegung der Abraummassen der Braunkohlengruben eine hervorragende Stelle einnehmen wird. Das Absetzen der Abraummassen geschieht nicht mehr durch Vorrichtungen, die in nächster Nähe der Böschungskante gefahrvoll aufgestellt sind, sondern durch eine infolge der Verwendung eines Gurtförderers (s. Abschn. 4) leicht gebaute Einrichtung, die mit Hilfe des verfahrbaren Abwurfwagens gestattet, das Baggergut an beliebiger Stelle in die Tiefe zu stürzen. Das Heranführen der Abraummassen geschieht vollständig unabhängig von dem Absetzer auf der Vorderkippe und wird dort von dem Becherwerk des Absetzers aufgenommen. Infolge der großen Reichweite des Förderbandes sind die Gleisrückarbeiten auf ein Mindestmaß beschränkt. Diese Maschine wird mit zwei Geschwindigkeiten ausgerüstet, einer Arbeitsgeschwindigkeit und einer zweiten höheren, die gestattet, bei Anzeichen von Rutschungen den Standort rasch zu verändern.

Aus Abb. 8 ist ein 1925 gleichfalls für die „Fortunagrube“ der Rheinischen A.-G. für Braunkohlenbergbau und Brikettfabrikation, Köln, von Krupp gelieferter Absetzer zu erkennen. Die Abraumzüge entleeren z. B. das Fördergut an einer 2 m hohen Vorkippe in den Aufnahmebereich der Eimerkette des Absetzers. Aus den Eimern fällt es dann durch den Schüttrumpf auf einen Schüttelrost und durch diesen hindurch auf ein Förderband mit 42 m Reichweite. Die Absturztiefe betrug dabei

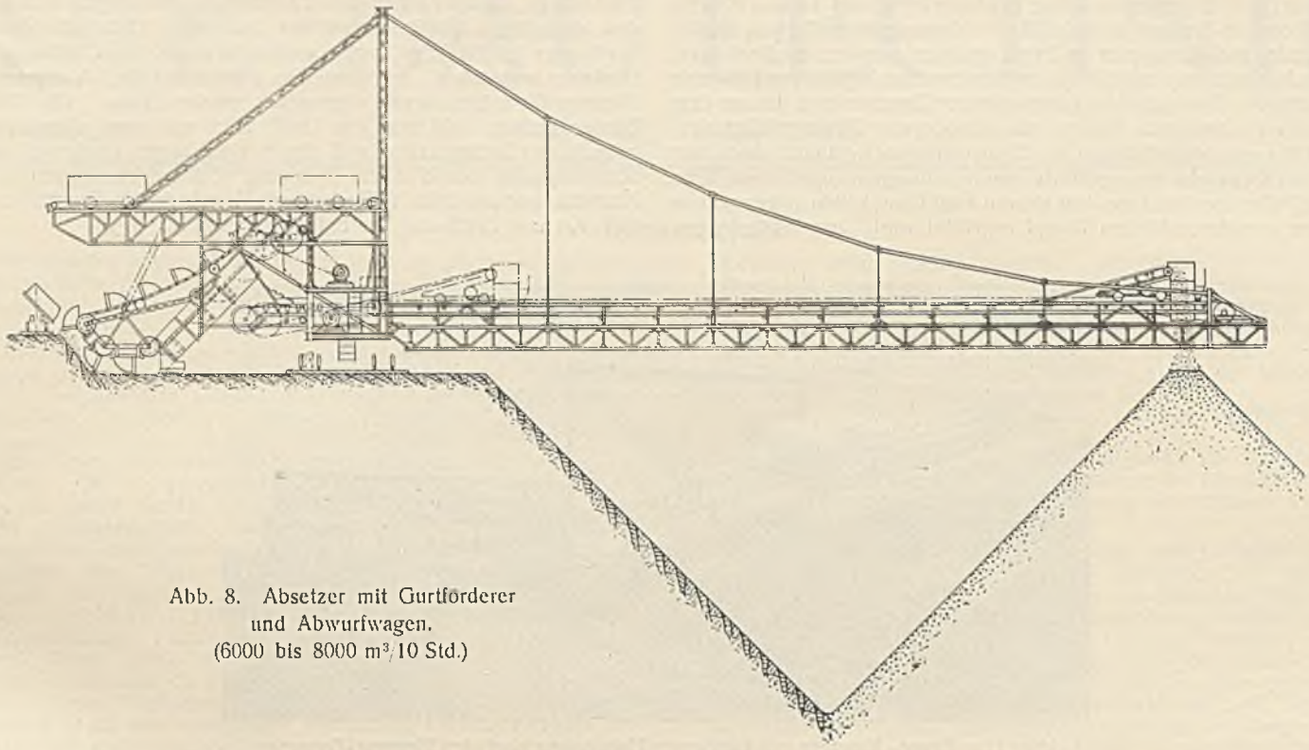


Abb. 8. Absetzer mit Gurtförderer und Abwurfwagen. (6000 bis 8000 m³/10 Std.)

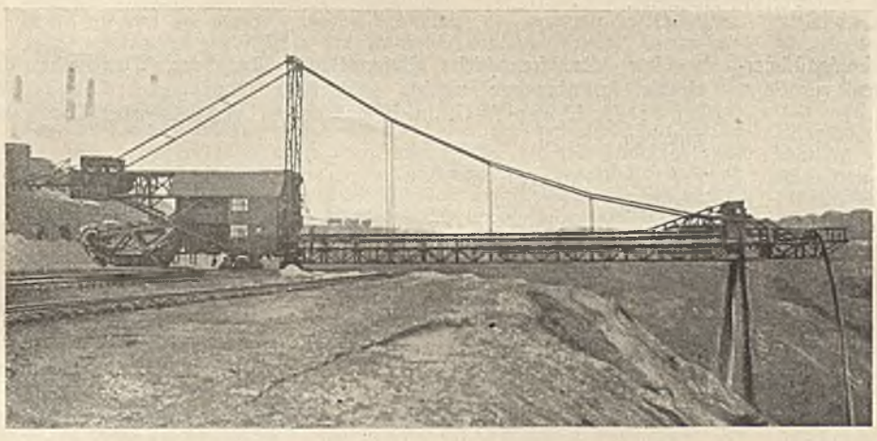


Abb. 9. Absetzer mit Gurtförderer und Abwurfwagen.

72 m, die Gurtgeschwindigkeit (bei 1,2 m Gurtbreite) etwa 2 m/Sek. Bei einem Eimerinhalt von etwa 575 l und 21 minutlichen Schüttungen ergibt sich eine theoretische Leistung von 725 m³/Std. (wirkliche Höchstleistung etwa 600 m³/Std.), so daß bei ununterbrochener Zufuhr eine Kippleistung von rd. 10 000 m³ in 20 Stunden erreicht werden kann.

Der Abwurfwagen hat einen eigenen Fahrantrieb, der von einer der Umlenkrollen des Bandes aus angetrieben wird. Durch ein Fallgewicht in Verbindung mit einem Wendegetriebe wird der Abwurfwagen beim Anstoßen an verstellbare Anschläge, die die Fahrbewegung begrenzen, umgesteuert, so daß der Abwurfwagen zwischen diesen Anschlägen selbsttätig hin und her fährt. Die hierdurch erzielte gleichmäßige Anfüllung des Geländes ergibt ein ausreichendes Planum für das Vorrücken des Absetzers, ohne daß ein Nacharbeiten von Hand in größerem Umfange erforderlich ist. Meist wird in der Weise gearbeitet, daß der Abwurfwagen zunächst auf einer Hochfahrteinrichtung dicht am Haus stehenbleibt und das Abraumgut am Ende des Gurtförderers über Kopf abgeworfen und zu einer Art Schutzdamm angeschüttet wird. Letzterer verhindert in der Hauptsache das Abgehen der Kippfront, auf der der Absetzer verfährt. Das verbleibende Tal wird dann von dem eingesetzten Abwurfwagen ausgefüllt und dann die Gleisanlage des Absetzers um 30 bis 35 m vorgerückt und die etwa 2,5 m hohe Vorkippe, von der aus die Kippzüge das Baggergut entleeren, nachgezogen. Die Maschine läuft mit zwei vierachsigen Drehgestellen (an der Leiterseite) und einem vierachsigen Laufgestell (Auslegerseite) auf vier Schienen.

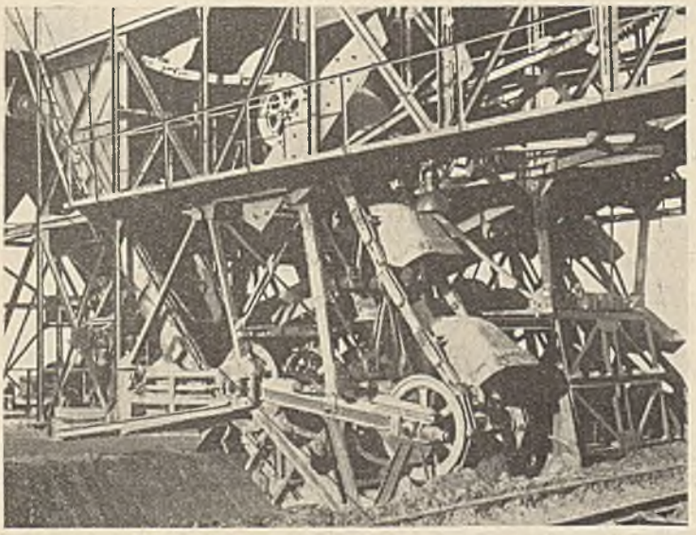


Abb. 10. Graben-Bagger von Krupp.

In Abb. 10 ist in größerem Maßstabe der rückwärtige Teil eines Kruppschen Hochabsetzers dargestellt, der für die Grube „Elise II“ bei Mücheln (Halle) gebaut ist. Der allgemeine Aufbau dieser Maschine ähnelt dem der in Abb. 11 dargestellten Ausführung. Das Gerät dient dazu, von der Braunkohle abgeräumte Erdmassen zu einer Halde von 18 m Höhe auf freiem Felde anzuschütten. Zwei Eimerketten, zwischen denen das unter 21° ansteigende Förderband angeordnet ist, heben einen etwa 2 m tiefen Graben aus, in den die mit Kippzügen herangebrachten Abraummengen gestürzt werden. Letztere werden von den beiden Eimerketten (Abb. 10) aus dem Graben aufgenommen und in einen gemeinschaftlichen Schüttrumpf geworfen, von dem sie über ein Aufgabeband auf den Hauptförderer von 65 m Gesamtlänge (60 m Förderlänge) und 1,2 m Breite gelangen. Bei Verbreiterung der Halde wird zuerst der Graben mit Abraumgut geschlossen und durch eine zwischen den beiden Eimerketten eingebaute verstellbare Planierwalze festgewalzt. Nach der Grabenschließung wird die Gleisanlage um 3 bis 5 m zurückverlegt, und es wiederholt sich der oben beschriebene Vorgang.

Der der Fahrleitung zugeführte Drehstrom hat 3000 V Spannung; die Arbeitsfahrgeschwindigkeit beträgt 9 m/Min. Eine zweite Fahrgeschwindigkeit von 27 m/Min. wird beim Einebnen und Einwalzen des Grabens und beim Gleisrücken benutzt. Die Leistung des Gerätes wird zu etwa 600 m³/Std. angegeben.

Das in Abb. 11 veranschaulichte Hochabsetzer-Gerät ist von Krupp für die Siemens-Bauunion G. m. b. H., Kommanditgesellschaft, Berlin-Siemensstadt, nach Limmerick in Irland geliefert worden; es dient dazu, profilierte Kanaldämme von 8 bis 15 m Höhe und im Mittel 40 m Fußbreite aufzuschütten.[2]) Zwischen den aufgeschütteten Dämmen wird das aus dem Shannon-River abgeleitete Wasser zum Zweck von Wassergefällestufenbildung (Wasserturbinen-Anlagen zur Stromerzeugung) geführt. Auch hier wird die mit Kippzügen herangeführte, von Kanalbaggern ausgehobene Erde in einen Graben gestürzt, aus dem sie von zwei Eimerketten aufgenommen und einem gemeinschaftlichen Rumpf zugeführt wird. Aus letzterem gelangt die Erde über einen festen Rost auf das zwischen den beiden Eimerketten angeordnete, unter 16 bis 18° ansteigende Förderband von 38 m Förderlänge, dessen Antrieb- und Abwurfstelle sich ungefähr in der Mitte des dreieckigen Förderbandgerüstes befindet. Unterhalb des Oberförderers ist ein 18 m langer, umkehrbarer und verschiebbarer Unterförderer angeordnet, mit dem die geförderte Erde, dem gewünschten Dammprofil entsprechend, abgeworfen werden kann. Die Breite der Bänder beträgt 1100 mm; das Gerät fährt mit zwei vierachsigen (angetriebenen) Drehgestellen und einem vierachsigen Laufgestell auf zwei Schienenpaaren von 900 mm Spurweite (Fahrgeschwindigkeit 8 m/Min.; Fahrleitungsstrom 3000 V [Drehstrom]; Durchschnitts-Stundenleistung je nach Art und Zuführung der Erdmassen etwa 400 m³).

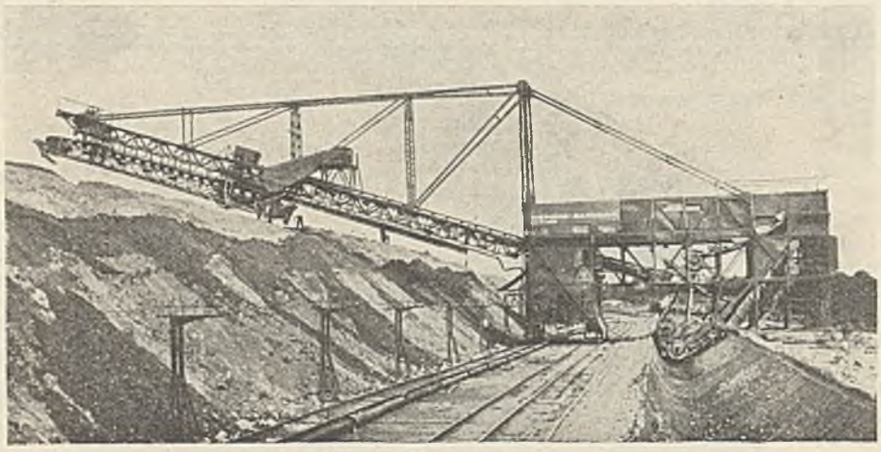


Abb. 11. Krupp-Absetzer mit fahrbarem Unterträger, bei der Siemens-Bauunion in Irland arbeitend.

[2]) Vergl. „Die Bautechnik" 1927, Heft 11. S. 129 ff.

Für die freundliche Unterstützung bei der Wiedergabe der obigen Ausführungen möchte ich Herrn Oberingenieur Schneider der Fried. Krupp A.-G. in Essen meinen verbindlichsten Dank aussprechen.

INHALT: Entwurfsarbeiten für das Schiffshebewerk bei Niederfinow. — Die Floridsdorfer Brücke über die Donau in Wien. — Neuzeitliche Bagger- und Absetzer-Maschinen der Fried. Krupp A.-G. in Essen.

Schriftleitung: A. Laskus, Geh. Regierungsrat, Berlin-Friedenau. — Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin.
Druck der Buchdruckerei Gebrüder Ernst, Berlin.