

DIE BAUTECHNIK

13. Jahrgang

BERLIN, 3. Mai 1935

Heft 19

Alle Rechte vorbehalten.

Umbau der Straßenbrücke über den Main bei Offenbach.

Von Reg.-Baumeister a. D. Walter Keil, zur Zeit Darmstadt.

1. Bau und Lage der alten Brücke.

Die im Zuge einer früheren Fernverkehrsstraße liegende Brücke bei Offenbach—Frankfurt/Main-Fechenheim wurde in den Jahren 1885 bis 1887 unter Zugrundelegung der damaligen geringen Verkehrslasten erbaut.

gebenden Gefahren für Bauwerk und Verkehr wurde zunächst im Jahre 1930 die Fahrgeschwindigkeit auf 15 km/h durch polizeiliche Maßnahmen eingeschränkt. Außerdem wurde als weiterer Notbehelf im Jahre 1931 eine Beschränkung der Verkehrslasten durch polizeiliche



Abb. 1. Ansicht der alten Brücke.

Sie stellt eine unmittelbare Verbindung der Wirtschaftsgebiete der Städte Offenbach und Frankfurt/Main dar. Die alte Brücke hatte eine Länge von 235,50 m und bestand aus sechs Öffnungen von 35, 37, 38, 38, 37 und 35 m, die durch je sechs Zweigelenkbogen-Hauptträger im Abstände von 1,45 bzw. 1,525 m überspannt wurden. Die Fahrbahnbreite betrug 5 m, die Breite der beiderseitigen Fußwege je 1,50 m (Abb. 1).

2. Bedürfnis des Umbaus.

Durch die heutigen schweren Verkehrslasten wurden nicht nur ganz erhebliche Überbeanspruchungen fast aller Tragteile, hauptsächlich aber der Pfosten und Diagonalen hervorgerufen, sondern auch die breiten Lastfahrzeuge der die Brücke in großer Zahl benutzenden Fernzüge konnten nicht mehr mit genügender Sicherheit auf der nur 5 m breiten Fahrbahn überführt werden. Zur Herabminderung der sich hieraus er-

Verordnung durchgeführt, durch die nur noch Lastfahrzeuge bis zu 9 t Gesamtgewicht zugelassen wurden. Mit Rücksicht auf die Wichtigkeit der Brücke bestand die unbedingte Notwendigkeit, sie für Lasten der Brückensklasse I befahrbar zu machen.

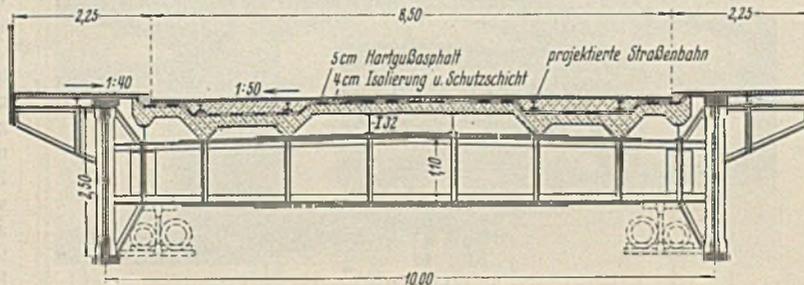


Abb. 2. Querschnitt des bauseitigen Entwurfes.

3. Ausschreibung des Umbaus.

Da eine Verstärkung und Verbreiterung der alten Brücke zugleich unmöglich war, mußte man sich entschließen, den alten gußeisernen Überbau zu entfernen und durch einen neuen Stahlüberbau zu ersetzen. Der der Ausschreibung zugrunde gelegte und von der Bauverwaltung, dem Hessischen Wasserbauamt Mainz, aufgestellte Entwurf, der eine Fahrbahnbreite von 8,50 m und zwei Fußsteige von je 2,25 m vorschrieb, ist im Querschnitt aus Abb. 2 ersichtlich. Als System wurde aus architektonischen Gründen ein Vollwandbalkenträger gewählt, der über sieben Stützen stetig durchläuft. Dabei werden die alten Pfeiler-

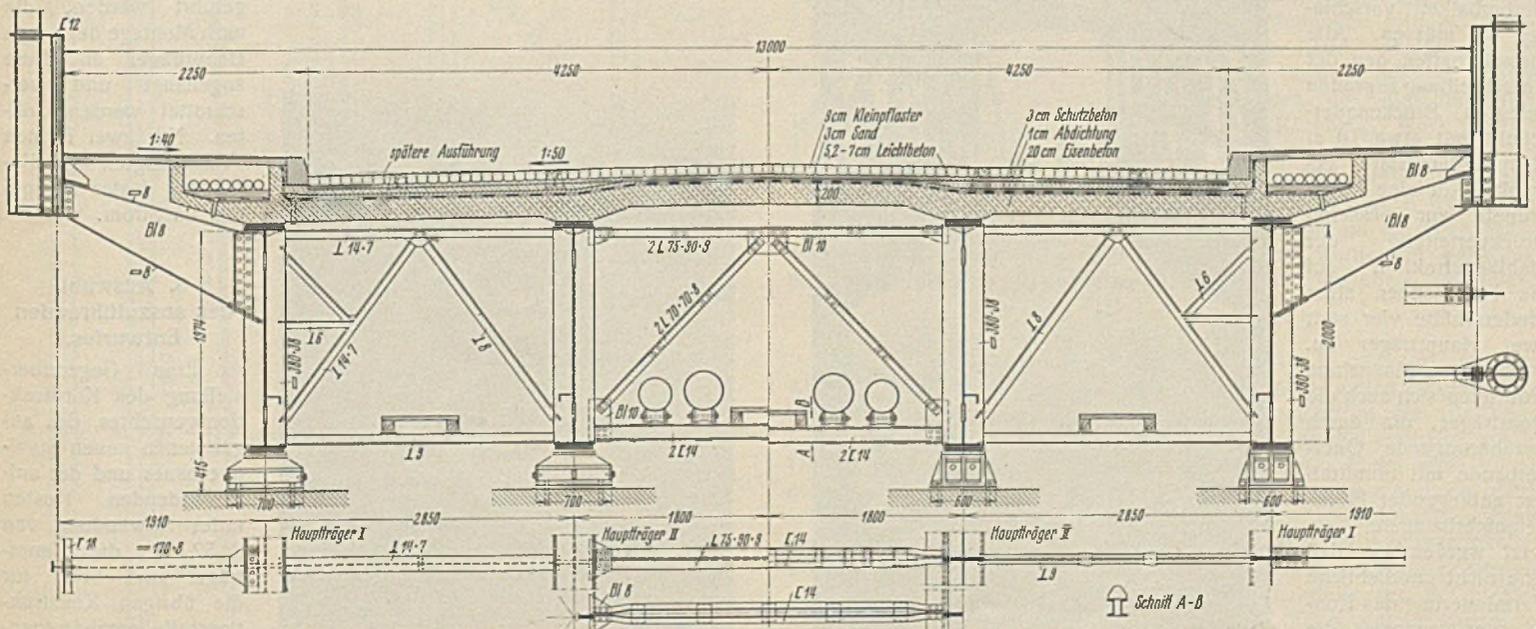


Abb. 3. Querschnitt des neuen Überbaues.

enden als Auflager für die neuen Hauptträger bei 10 m Hauptträgerabstand benutzt, wobei die neuen Hauptträger unter Benutzung der alten Konstruktion montiert werden sollten. Da die zulässige Bodenpressung unter den alten Pfeilerfundamenten mit $4,5 \text{ kg/cm}^2$ in den Bedingungen vorgeschrieben wurde und somit etwa der größten Kantenpressung der alten Brücke entsprach, waren den neuen Stahlüberbau gefährdende Stützensenkungen nicht zu erwarten und die verteuerte Anordnung eines Gerberbalkens nach Ansicht der Bauverwaltung nicht nötig. Als Werkstoff des neuen Überbaues war St 37 oder St 52 vorgeschrieben. Im April 1933 wurden acht Stahlbaufirmen zur Abgabe eines Angebots für den bauseitigen Entwurf aufgefordert. Es war jedoch dem Anbieter freigestellt, neben dem geforderten Angebot eines genieteten Stahlüberbaues in St 37 oder St 52 eine ganz oder teilweise geschweißte Konstruktion anzubieten. Bemerkte war ferner, daß der Unternehmer an das in dem bauseitigen Entwurf gewählte System eines durchlaufenden Balkens nicht gebunden war und auch die Fahrbahnabdeckung geändert werden konnte. Die geplante spätere Überführung einer Straßenbahn ohne größere Kosten war jedoch zu berücksichtigen.

4. Angebotene Entwürfe.

Als System wurde von sechs Firmen ein durchlaufender Vollwandbalkenträger mit festem Auflager auf dem Mittelpfeiler teils mit, teils ohne Vouten angeboten, mit der Begründung, daß Stützensenkungen bei den alten Fundamenten nicht mehr in gefährlichem Maße zu erwarten seien und somit eine Verteuerung durch Mehrkonstruktion und Gelenke beim Gerbersystem vermieden werden könnte. Nur zwei Firmen glaubten Gerberbalken vorschlagen zu müssen. Alle Firmen hatten den der Ausschreibung zugrunde gelegten Brückenquerschnitt mit etwa 10 m Hauptträgerabstand gewählt. Nur eine Firma ordnete zur besseren Druckverteilung der Stahlkonstruktion auf die bestehenden alten Pfeilerschäfte vier statt zwei Hauptträger an. Durch diese Maßnahme erübrigten sich auch die Querträger, die durch lastübertragende Querverbände mit unmittelbar aufliegender Eisenbetonfahrbahnplatte ersetzt wurden, so daß eine nicht unerhebliche Verminderung des Konstruktionsgewichtes die Folge war. Die Aus-

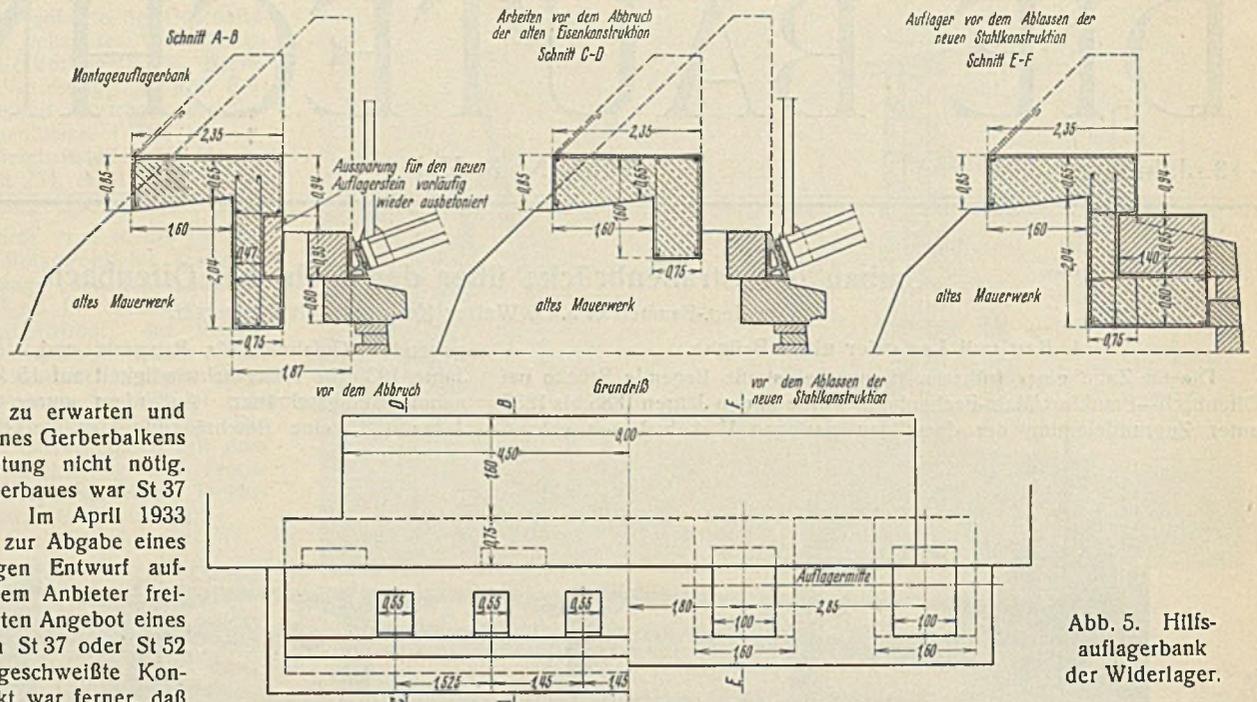


Abb. 5. Hilfsauflagerbank der Widerlager.

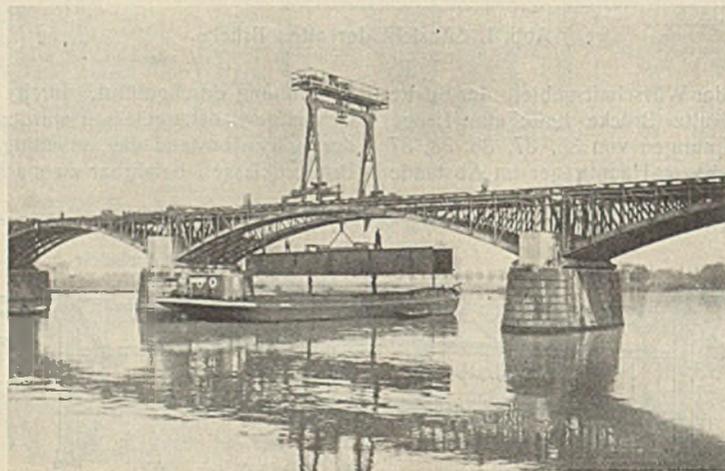


Abb. 7. Montage der neuen Hauptträger.

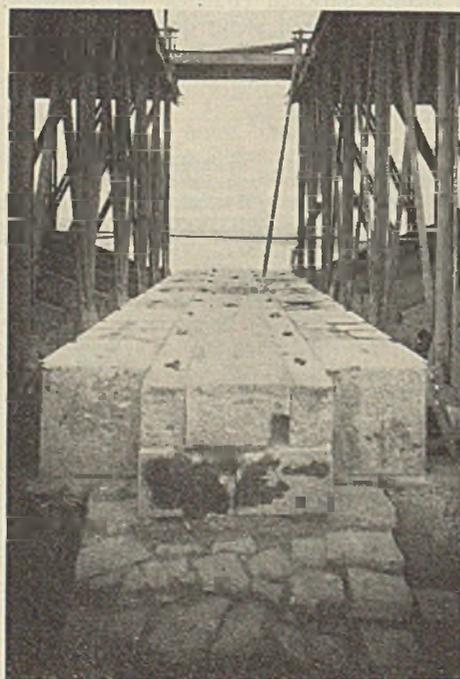


Abb. 4. Abbruch der Pfeilerschäfte.

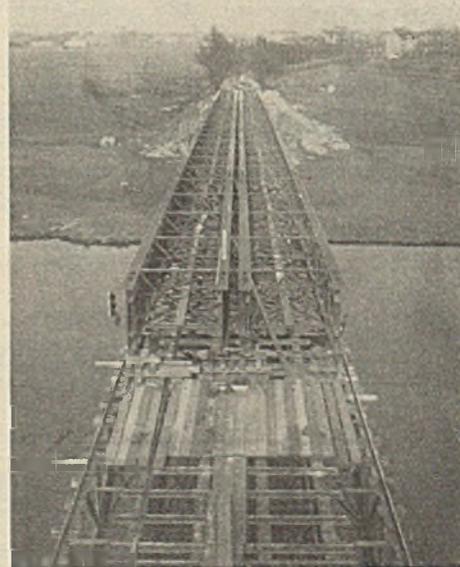


Abb. 8. Montage der neuen Hauptträger.

schreibung ergab ferner, daß bei Verwendung von St 52 für die Hauptträger und St 37 für Querträger, Konsolen und Längsträger sowie für die Verbände die größte Wirtschaftlichkeit erzielt wurde. Vier von acht Firmen gaben auch Angebote auf ganz geschweißte Konstruktion ab, wobei der Anbieter des Entwurfs mit vier Hauptträgern auf Baustellen-schweißung aus wirtschaftlichen Gründen verzichtete. Zwei Firmen beabsichtigten nur die Querträger und Konsolen in der Werkstatt zu schweißen und mit den genieteten Hauptträgern auf der Baustelle zu vernieten. Allgemein wurden Eisenbetonfahrbahnplatten angeordnet, die teils auf stählernen Längsträgern, teils auf Eisenbetonbalken gelagert waren. Die Montage des neuen Stahlüberbaues sollte bei sechs Firmen unter Benutzung der alten Eisenüberbauten durchgeführt werden, die nach Montage der neuen Hauptträger an diese angehängt und verschrottet werden sollten. Nur zwei Firmen beabsichtigten die Benutzung fester Rüstungen im Strom.

5. Auswahl des auszuführenden Entwurfes.

Eine Gegenüberstellung des Konstruktionsgewichtes, des angebotenen neuen Stahlüberbaues und der aufzuwendenden Kosten unter Anwendung von St 52 für die Hauptträger und St 37 für die übrigen Konstruktionsteile ergab folgendes Bild:

der neuen Auflagerquader einschließlich des Unterbetons erst in die Zeit nach dem Abbruch der alten Bogenträger verschoben, da bei sofortiger Inangriffnahme der Arbeiten die nötige Entlastung der Widerlager nur mit noch größeren Kosten hätte durchgeführt werden können.

Während der oben geschilderten Arbeiten auf der Baustelle wurden die Werkarbeiten für die neue Stahlkonstruktion (Abb. 6) durchgeführt. Je zwei Hauptträger wurden in Längen von 16 bis 20 m durch die äußeren Querverbände zusammengeschweißt, um so zum Transport nach der Baustelle verladen zu werden. Bemerkenswert ist neben der Anordnung von Zuglaschen bei den geschweißten Werkstattstößen die Aufschießung der Gurtbleche auf das Stehblech. Gegenüber der gewöhnlichen Ausführung der Verbindung von Steh- und Gurtblech mittels einfacher Kehlnähte hat diese Art den Vorzug geringerer Schrumpfung infolge kleinerer Nahtoberfläche. Schweißerprüfungen nach DIN 4100 (Abb. 7), bei denen die zum St 52 passende und beim Bauwerk allgemein verwendete blanke Elektrode G. H. H./Grün verschweißt wurde, ergaben Werte von über 40 kg/mm²; die in Anlehnung an DIN 4100 (Abb. 9) angefertigten Kreuzproben mit nach Abb. 6 zugespitzten Blechenden hatten beim Zerreißen Festigkeiten, die, umgerechnet auf den Materialquerschnitt der zusammengeschweißten Fläche, die vorgeschriebenen Bruchfestigkeiten für St 52 von 54 kg/mm² erreichten. Auch die angestellten Biegeproben zeigten befriedigende Ergebnisse. Geschweißt wurden die Träger zum größten Teil mit blanker Elektrode, nur bei den Stehblechstumpfstößen wurden umhüllte Elektroden wegen der besseren Dehnung des Schweißgutes verwendet. Die Überwachung der Schweißer geschah außer durch gute Überwachung beim Schweißen selbst durch dauernde Prüfungen nach den Dinorm-Vorschriften. Das Anbohren von verdächtigen Stellen sowie Abhörversuche auf elektro-akustischem Wege ergänzten diese Maßnahmen.

Die Vorarbeiten für die Montage der Stahlkonstruktion begannen Ende Februar 1934. Nach Beseitigung der Straßendecke und des Fußwegbelages wurden die Fußweglängsträger, Konsolen, das Geländer sowie die Zoresisen der Fußwege ganz, die Zoresisen der Fahrbahn zum größten Teil abgebrochen und auf den äußeren Hauptträgern die zur Montage der neuen Hauptträger notwendige Krananlage montiert. Dabei war die angetroffene Zerstörung der Fußwegbelageisen durch Rost ganz erheblich. Auch die Obergurte der mittleren Hauptträger zeigten unter den Zoresisen starke Rostbildung. Durch Abbrennen der mittleren Hauptträger in der zweiten Öffnung auf eine Länge von 30 m wurde eine Aufzugöffnung geschaffen. Der die ganze Brücke befahrende Kran faßte die auf Schiffen an die Baustelle geschafften Hauptträgerpaare der M. A. N., zog die 16 bis 20 m langen und rd. 15 bis 22 t schweren Konstruktionsteile durch die Aufzugöffnung hoch und verfuhr diese Teile an ihre Plätze (Abb. 7 u. 8). Die auf dem Landwege angelieferten Hauptträgerpaare der Firma Lavis wurden vom Lastwagen mittels Krans abgehoben und ebenfalls wie oben geschildert verfahren. Wegen der geringen Auflagermöglichkeit auf der alten Brücke betrug der Abstand der mittleren neuen Träger zunächst nur 720 mm. Die Auflagerung geschah auf Stützgerüsten auf den neuen Eisenbetonaullagerquadern, deren Zwischenräume zur Montage der Stahlkonstruktion vorübergehend ausbetoniert waren, und Hebeschrauben, die auf der alten Konstruktion aufgestockt waren. Insgesamt erforderte das Auflegen der neuen Hauptträger (460 t) einschließlich Verdornen, Verschrauben und Ausrichten nur 14 Arbeitstage. Das teilweise Aufreißn und Vernieten der

zweimal 11 Stöße bei zweimal 13 Trägerstücken nahm 12 Arbeitstage in Anspruch.

Nach dem Vernieten der Stöße wurden die Absenkgerüste der Widerlager auf hinter den Widerlagern liegenden Hilfsauflagerbänken errichtet. Zur Aufhängung an diesen Gerüsten wurden die neuen Hauptträger an den Widerlagern durch biegeunfest angeschlossene Trägerstücke verlängert (Abb. 9). Nach der Auflagerung der neuen Stahlkonstruktion auf die Stützgerüste über den fünf Pfeilern und den Widerlagern konnten die alten Bogenträger nunmehr an die neue Konstruktion angehängt und ohne Rüstung abgebrochen und ins Schiff verladen werden (Abb. 10). Nach Beseitigung der alten Bogen in den beiden äußeren Öffnungen wurden die Auflagerquader in den Widerlagern erstellt und die Stützgerüste der Widerlager und Pfeiler zu Absenkgerüsten (Abb. 11) umgebaut.

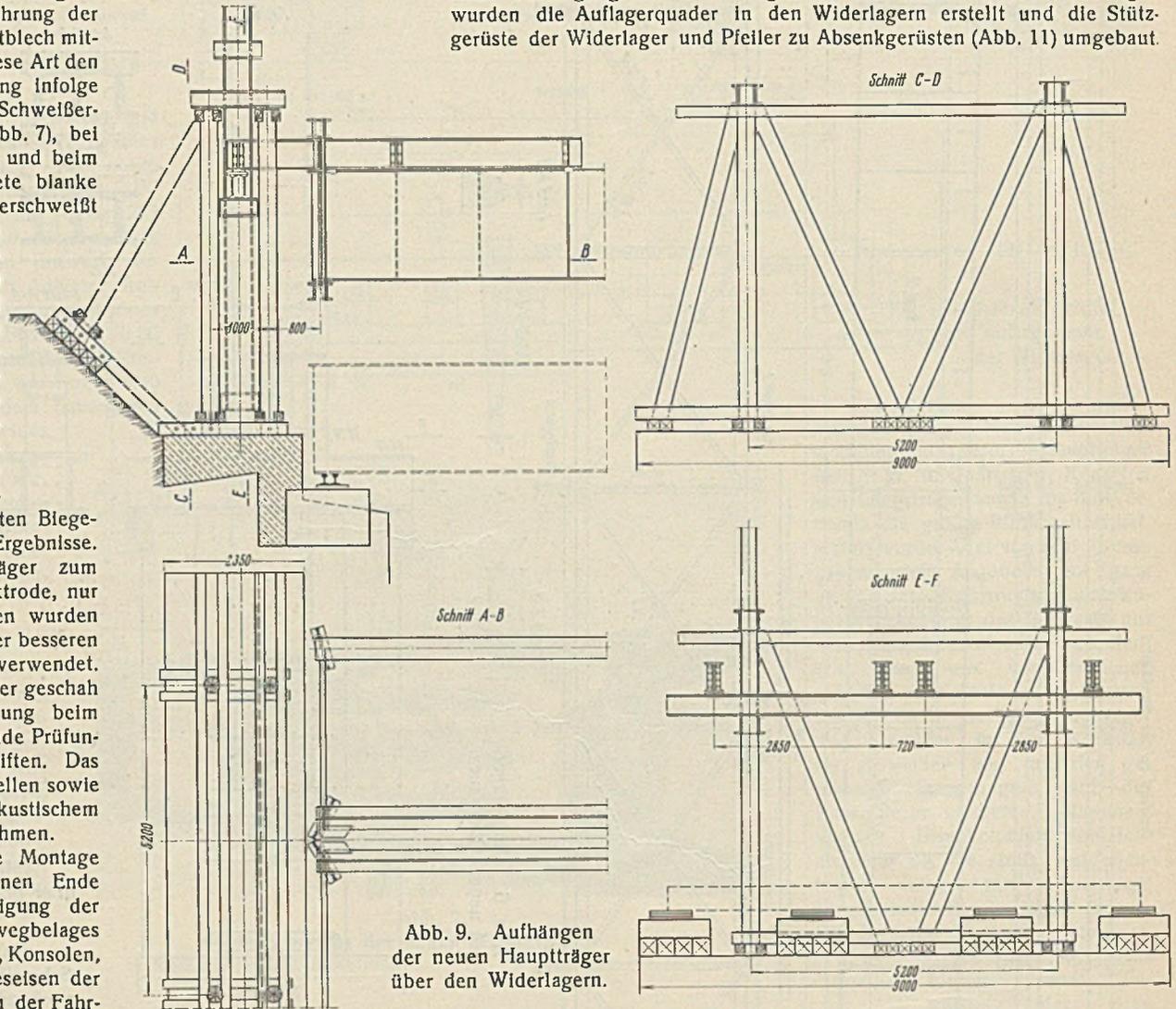


Abb. 9. Aufhängen der neuen Hauptträger über den Widerlagern.

Querschnitt senkrecht zur Brückenachse

Ansicht parallel zur Brückenachse

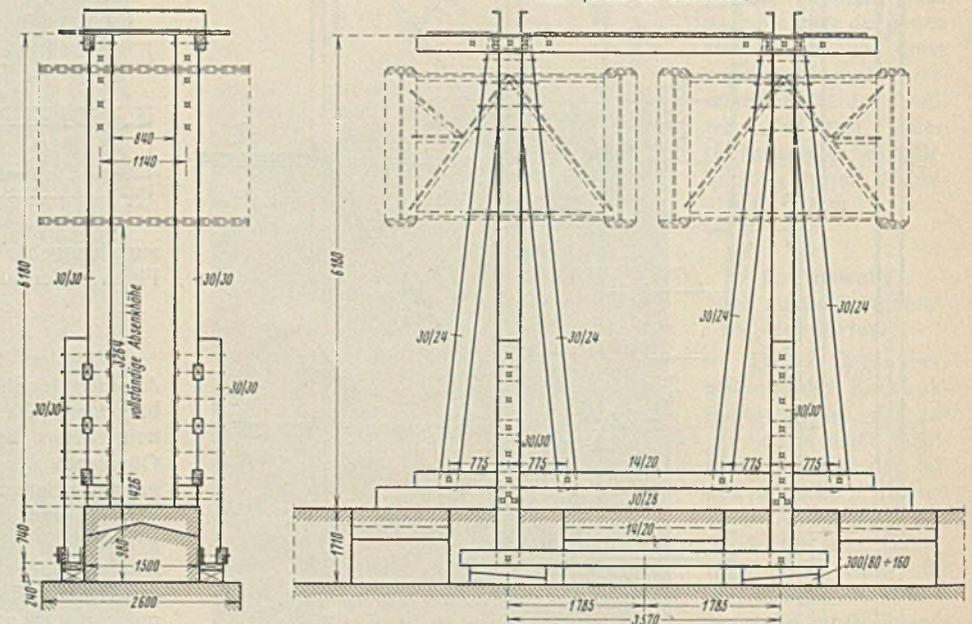


Abb. 11. Absenkgerüste auf den Pfeilerschäften.

An zwei zusammen- geschweißten I-Trägern, die unter den sieben Auflagerpunkten der Hauptträger eingebaut wurden, waren je zwei Aufhängeflachisen befestigt, die die gesamte Konstruktion trugen. Diese Zugbänder gaben ihre Kräfte durch die Ablasskörper an die Absenkerüste ab. Die Ablasskörper (Abb. 12) bestanden aus zwei senkrecht gegeneinander verschiebbaren Teilen, zwischen die eine Druckwasserpresse eingeschaltet war. Durch diese Ablasskörper wurde die Konstruktion in Abschnitten von je 10 cm abgesenkt. Das Ablassen der gesamten Konstruktion um fast 3,3 m gleichmäßig auf die gesamte Länge von 240 m war in einem Arbeitstage beendet. Da der Abstand der beiden Hauptträgerpaare nun erst 720 mm statt 3600 mm betrug, wurde das eine Trägerpaar auf den Pfeilern und Widerlagern auf Hebeschrauben gesetzt und das andere Trägerpaar mittels unter den durchgesteckten I-Trägern gelagerter Rollen in seine endgültige Lage über den Pfeilern verschoben, wobei das auf Hebeschrauben gesetzte Trägerpaar als Widerlager für die an den Stehblechwänden angesetzten Fußwinden diente. An den Widerlagern wurden die Hauptträger anstatt auf

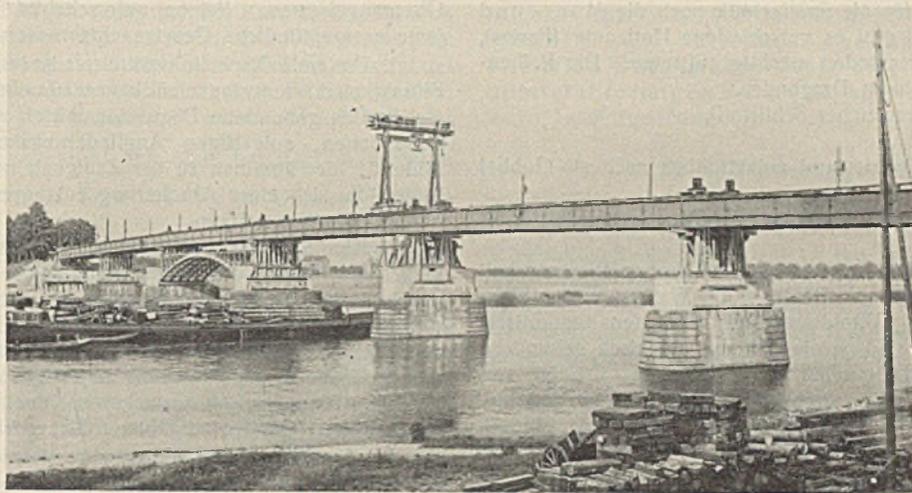


Abb. 10. Abbruch der alten Konstruktion.

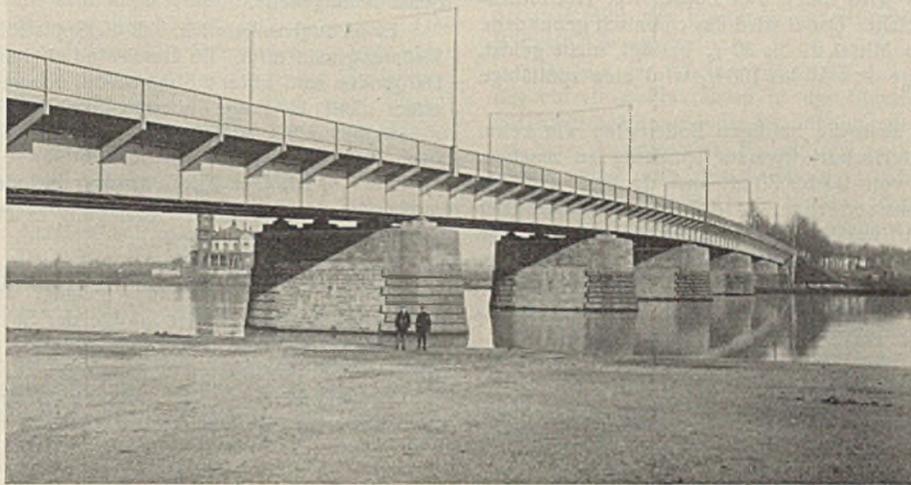


Abb. 13. Ansicht der umgebauten Brücke.

Rollen auf eingefetteten Schienen verschoben. Nach Verschiebung des einen Trägerpaares fand dieser Vorgang nochmals für das andere Trägerpaar statt, worauf die Montageträger nach Anheben beider Trägerpaare unter den nun in endgültiger Lage befindlichen Hauptträgern herausgezogen werden konnten. Nach diesen Arbeiten folgte das Einnieten des mittleren Querverbandes und das Annieten der Konsolen. Vor dem

Verschleben der Träger war schon der Kran abgebaut worden. Das Betonieren der Fahrbahn, die in elf Abschnitte durch Dehnungsfugen getrennt wurde, ging im Sommer 1934 gut vonstatten, wobei der gemischte Beton in flachen Kippwagen gefördert wurde, nachdem eine Untersuchung, den Beton an die Verwendungsstellen zu pumpen, wegen der geringen Betonmengen keine Wirtschaftlichkeit versprechen konnte. Die Fahrbahnarbeiten wurden von der Arbeitsgemeinschaft Neue Baugesellschaft Wayss & Freytag AG, Frankfurt — Gebrüder Beck, Offenbach, ausgeführt. Hand in Hand mit dem Betonieren der Fahrbahn ging die Verkleidung der Widerlager und Pfeiler mit roten Sandsteinquadern, die teils neu beschafft, teils aus dem alten Abbruch gewonnen wurden. Die Bauarbeiten an den Pfeilern und Widerlagern kamen durch die Arbeitsgemeinschaft Philipp Holzmann AG, Frankfurt — Gebrüder Hasenbach, Offenbach — Johannes Grundel, Offenbach, zur Durchführung. Die Montage des Geländers fand erst nach der vollkommenen Fertigstellung der Fahrbahn einschließlich Pflasterung statt, um Durchbiegungen der geschweißten Geländerteile durch noch aufzubringende Eigenlast auszuschalten.

Das fertige Bauwerk (Abb. 13) wurde im November 1934 nach einer Sperrzeit von ungefähr 14 Monaten wieder dem Verkehr übergeben. Zum Umbau der Brücke wurden ungefähr 18 000 Tagewerke benötigt. Der Kostenaufwand betrug rd. 540 000 RM. Die Bauleitung lag, unter Aufsicht des Amtsvorstandes des Hessischen Wasserbauamtes Mainz, Herrn Oberbaurat Häusel, in den Händen des Verfassers.

Alle Rechte vorbehalten.

Über Spülströmung.

Beitrag zum Spüler- und Hydroerdbau¹⁾.

Von Regierungsbaumeister a. D. Dr.-Ing. Zill, Wilhelmshaven.

Über das völlig andersartige Wesen der Spülströmung, wie sie beim Spüler- und Hydroerdbau angewendet wird, gegenüber den Strömungsformen der Hydraulik — laminare und turbulente Strömung —, liegen bisher noch keinerlei Untersuchungen, geschweige denn überhaupt eine Problemstellung vor. In einer früheren Arbeit²⁾ stellten wir allerdings ganz kurz, aber noch unzureichend das Problem, regten vielmehr nur praktische Versuche an, die auf Baustellen und in den Wasserbaulaboratorien vorzunehmen wären. Zweck der vorliegenden Arbeit soll nun sein, durch eine eingehendere Behandlung des Wesens der Spülströmung derartige Versuche noch mehr anzuregen und dadurch zu erleichtern, daß nunmehr genauere Wege gezeigt werden, die dabei etwa einzuschlagen sind.

I. Die spülbaren Bodenarten.

Spülbarer Boden ist ein grob- und kolloiddisperses Gemisch, dem fast immer auch mechanische Zerteilungen beigemischt sind. Für die Untersuchung in bezug auf Spülfähigkeit interessieren in erster Linie die Eigenschaften der groben, mechanischen Anteile, weil sie einmal meistens den Hauptanteil der Spülmasse ausmachen, und andererseits die kolloiden

und noch kleineren Anteile keinen Aufwand an kinetischer Energie erfordern, da sie von der Druckenergie des Spülmittels befördert werden.

In der Sitzung der internationalen Kommission für die mechanische und physikalische Bodenuntersuchung zu Berlin am 31. Oktober 1913 wurde der lose Boden auf Vorschlag von Atterberg folgendermaßen eingeteilt:

Körner größer als 2 cm	Steine und Geröll
„ von 2,0 bis 0,2 cm	Kies
„ „ 0,2 „ 0,02 „	Grobsand
„ „ 0,02 „ 0,002 „	Feinsand
„ „ 0,002 „ 0,0002 „	Schluff
„ feiner als 0,0002 cm	Kolloidton oder Rohton.

Überwiegen die größeren Teile, so haben wir Sandboden, überwiegen die feineren, so haben wir Tonboden; Mischungen beider, und zwar der ganz groben und der allerfeinsten, geben Lehmböden.

Die Ergebnisse der mechanischen Analyse, bestehend aus Sieb- und Schlämmanalyse, ergeben die Verteilungskurve einer Bodenart. Für die Spülenergie, d. h. für den zusätzlichen Aufwand an kinetischer Energie zur Druckenergie, die allein die tropfbaren Flüssigkeiten fortbewegt, interessieren die Korngrößen etwa über 0,02 mm, die mit dem Wasser die „dynamisch quasi homogenen“ Gemische bilden²⁾.

¹⁾ Bautechn. 1932, Heft 19; 1933, Heft 50/51.

²⁾ Bautechn. 1933, Heft 50/51.

Zu den losen Böden treten für die Spültechnik noch die Moor- und Dargböden hinzu. Bei beiden gibt es verschiedene Horizonte (Facies), die unregelmäßig und auch verschieden mächtig auftreten. Die Reihenfolge von oben nach unten ist beim Dargboden

1. reiner Darg (äußerst humusreicher Schlifforf),
2. schlickhaltiger Darg,
3. darghaltiger Schlick (in Ostfriesland volkstümlich auch als Gubbel bezeichnet).

Die verschiedene ähnliche Zusammensetzung der Moorarten dürfte als bekannt vorausgesetzt werden.

Alle Moor- und Dargarten zeichnen sich durch hohen Wassergehalt (95 bis 80%) aus, nur ist die Form der Bindung des Wassers verschieden. Neben Okklusions-, Kapillar- und Kolloidwasser ist, wenigstens theoretisch, osmotisch gebundenes Wasser und schließlich das chemisch gebundene Hydratwasser im Moor- und Dargboden enthalten, aber in den verschiedenen Horizonten im einzelnen ungleichmäßig prozentual beteiligt. Die Reihenfolge der Festigkeit der Wasserbindung ist hierbei: Hydratwasser, osmotisch gebundenes Wasser (solange die haltenden Zellen osmotisch weiterleben, Kolloidwasser, Kapillarwasser, Okklusionswasser, schließlich Schwammwasser³⁾.

Der erforderliche Wasserzusatz für das Spülen ist bei diesen Bodenarten verhältnismäßig gering, da sie infolge ihres hohen Wassergehaltes ein nahe an 1 grenzendes spezifisches Gewicht haben. Es ist aber erforderlich, das in den verschiedenen Formen gebundene Wasser für den Transport freizumachen. Dieses wird durch den Zusatz von Hochdruckwasser von 5 bis 10 at Druck erreicht. Dabei wird das chemisch gebundene Hydratwasser, dessen Anteil im Mittel 20 bis 30% beträgt, nicht gelöst. Mit nur einer Zusatzwassermenge von 50 bis 100% wird eine spülfähige Masse erzielt⁴⁾.

Es wäre praktisch möglich, auch die bindigen Bodenarten wie Lehm und Ton durch Behandlung mit Hochdruckwasser spülfähig zu machen. Doch gehören hierzu Drücke von 20 bis 30 at und darüber und ein erheblicher Aufwand an Druckwassermenge, so daß ein wirtschaftlicher Vorteil gegenüber dem Transport auf Rollbahnen nicht eintritt. Geringe Beimengungen bindiger Bodenteile bei den losen Bodenarten stören aber ein Spülfähigmachen nicht. Nur ist es erforderlich, die größeren kompakbindigen Teile entsprechend zu verkleinern, was durch Hochdruckspritzwasserstrahlen vor engen Rosten am besten zu geschehen hat⁴⁾.

II. Stand der Rohrhydraulik.

In der Rohrhydraulik werden nur die Sätze für kohäsionslose, tropfbare Flüssigkeiten und Gase abgeleitet. Dort werden die laminare und die turbulente Strömung gegenübergestellt. Den wesentlichen Unterschied zwischen beiden veranschaulicht die Verteilung der Wassergeschwindigkeit über den Rohrquerschnitt (Abb. 1).

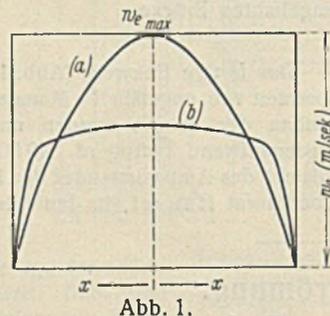


Abb. 1.

An der Rohrwandung beträgt in beiden Fällen der Wert der Geschwindigkeit Null, um bei der laminaren Strömung allmählich auf den Höchstwert in der Mitte zu steigen (a), während sie bei der turbulenten Strömung schon im geringen Abstände von der Rohrwandung zur mittleren Geschwindigkeit ansteigt (b).

Bei beiden Strömungen, die sich durch kleine bzw. große Geschwindigkeiten unterscheiden, wird das Vorherrschende dieser mittleren Geschwindigkeitsdiagramme gleichmäßig über die ganze Rohrlänge angenommen. Unter diese bekannten Gesetze der Rohrhydraulik fällt nur das Gemisch von Wasser und Boden bzw. der Anteil, den wir als „statisch quasi homogen“ bezeichneten. Da aber die Korngrößen über 0,02 mm beim Spülen einen erheblichen Anteil ausmachen, muß versucht werden, für diese gröbere Phase ebenfalls Gesetze zu finden, die natürlich nur empirische Formeln sein können.

In letzter Zeit wurde versucht, ein für alle Stoffe gültiges Fließgesetz (general law of flow of matter) zu finden, allerdings hauptsächlich für kolloide Dimensionen, d. h. für Korngrößen unter ein zehntausendstel Millimeter oder 0,1 μ Durchmesser. Das angestrebte Ziel dürfte aber noch in weiter Ferne liegen, bestimmt aber für die uns interessierenden größeren Anteile.

Nach Merkel⁴⁾ angeführt, gibt Reiner⁵⁾ eine Zusammenstellung der mechanischen Eigenschaften von festen Körpern, Flüssigkeiten und deren

³⁾ Ostwald, Die Welt der vernachlässigten Dimensionen. 9. u. 10. Aufl., S. 295 u. f. Dresden u. Leipzig 1927, Theodor Steinkopf.
⁴⁾ Merkel, Die Fließigenschaften von Abwasserschläm, S. 11. München u. Berlin 1933, R. Oldenbourg.
⁵⁾ Literaturangaben in ⁴⁾.

Übergangsformen. Reiner unterscheidet viererlei Bestandteile, denen jeweils eigentümliche Gesetze entsprechen:

1. Das freie Dispersionsmittel; es ist im allgemeinen eine normale zähe Flüssigkeit mit dem eine solche kennzeichnenden Widerstand, der Zähigkeit (η).
2. Das gebundene Dispersionsmittel, mit seinen stark an das Wasser gebundenen, soleartigen Angliederungskernen eine schleimige Masse bildend; hier kommen zu der Zähigkeit noch Adsorptions- und Kapillarkräfte, die sich einer Abscherung entgegensetzen und in einer Erhöhung der Zähigkeit auswirken.
3. Kleine, nicht oder kaum an das Wasser gebundene Körnchen, die in geringer Menge die innere Reibung des Gemisches kaum beeinflussen und erst bei einem Mengenanteil, wo sich die einzelnen Körnchen berühren und aneinanderreiben, eine Widerstandsgröße (ρ) verursachen, die auch bei den größten Scherspannungen nicht verschwindet.
4. Grobe Gegenstände bis zu einigen cm Durchmesser, die einen erheblichen Teil des Rohrquerschnitts einnehmen und die Ausbildung eines regelmäßigen Geschwindigkeitsprofils verhindern.

In dieser Einteilung fehlen u. E. die größeren festen Teile, die nahezu das spezifische Gewicht des Wassers haben; so z. B. Moor- und Dargboden. Die Gruppe 4 müßte also sinngemäß in zwei Gruppen aufgeteilt werden, von denen die erste die größeren festen Bestandteile enthält, die im Wasser schwimmen, und die zweite die, die im Wasser ohne weiteres absinken. Dann würden die Gruppen 1 bis 4 den „statisch quasi homogenen“ Flüssigkeiten entsprechen und die fünfte Gruppe den „dynamisch quasi homogenen“.

Es ist augenscheinlich, daß die Spülströmung eine Abart der turbulenten Strömung sein muß. Da Geschwindigkeiten unter 1 m/sek bei Moor- und Dargboden und unter 2,5 m/sek bei den anderen spülfähigen losen Bodenarten nicht in Frage kommen, scheidet die laminare Strömung mit $v = 0,0013$ m/sek vollständig aus.

III. Der Fließvorgang bei der Spülströmung.

Nun dürfte folgende Überlegung in die Fließvorgänge des größeren Kornes beim Spülen einführen.

Nachdem das Bodenwassergemisch nach Durchwirbelung vor und in der Pumpe in die Rohrleitung gelangt ist, setzt sich das gröbere Korn früher, das kleinere später infolge der Schwerkraft am Boden des Rohres ab. Wenn nun die Absetzung des groben Kornes an einer Stelle des Rohres einen bestimmten Umfang erreicht hat, wobei auch feinere Teilchen hinzutreten, die durch die größeren mit festgehalten werden, verengt sich der wasserführende Querschnitt erheblich, und es tritt dann die bekannte Venturiwirkung ein.

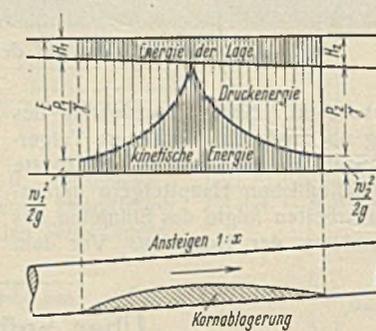


Abb. 2.

Nach dem Satze von Bernoulli geht die Energieumsetzung eines Flüssigkeitsfadens an der Stelle mit Venturiwirkung nach dem Diagramm (Abb. 2) vor sich.

Die Energie der Lage (H) nimmt mit ansteigender Leitung (1:x) gleichmäßig zu. In der Waagerechten ist sie gleich und bleibt gering. Die kinetische Energie wächst oder fällt mit der Verkleinerung oder Vergrößerung des wirksamen Strömungsquerschnitts. Die Gesamtenergie bleibt unverändert.

Betrachtet man ein einzelnes gröberes Korn in der Rohrleitung, so stellt Abb. 3a bis d die wechselnden Geschwindigkeiten einiger nacheinander folgender Querschnitte dar.

Abb. 4 zeigt die wechselnde Verteilung der Geschwindigkeiten über einen Rohrquerschnitt. Die Geschwindigkeit der Flüssigkeit stellt eine Kurve dar wie bei der turbulenten Strömung, während die einzelnen Körner größere und kleinere Geschwindigkeiten als die Flüssigkeit aufweisen. Dabei ist zu beachten, daß die Geschwindigkeiten der einzelnen Körner die verschiedensten Richtungen haben können, was aus dem

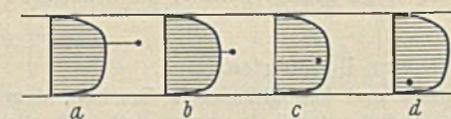


Abb. 3.

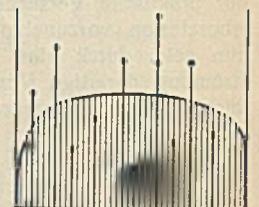


Abb. 4.

Querschnitt zeichnerisch nicht hervorgeht. Anlässlich der Venturiwirkung wird den davon erfaßten Kornteilchen eine Beschleunigung erteilt, so daß diese eine größere Geschwindigkeit haben als das Wasser. Durch die Wirkung der Schwerkraft sowie durch die Viskosität der Flüssigkeit

wird aber die Geschwindigkeit abgebremst, und das Korn muß schließlich die Geschwindigkeit Null erreichen und am Boden des Rohres absetzen. Wie die Viskosität der Flüssigkeit die Geschwindigkeit abbremst, so wirkt der Schwerkraft allerdings auch wieder die Viskosität entgegen. So sinkt das Korn von 0,2 cm Durchm. bei einem Rohrdurchmesser von 40 cm z. B. von der Rohrachse bis zum Boden in $\frac{20}{3,5} = 5,6$ sek, d. h. bei $v = 2,5$ m/sek in einer Entfernung von rd. 15 m; das Korn von 0,02 cm Durchm. dagegen erst in einer Entfernung von 150 m.

Daß für die größeren Kornanteile eine Venturiwirkung erforderlich ist, erhellt auch daraus, daß die Rohrwandung am Boden am meisten angegriffen wird, was auf die dauernde Sedimentierung der scharfen Bodenteilchen am Boden zurückzuführen ist. Die gelegentlich erwähnte Anschauung, daß die feste Masse beim Spülen dauernd am Boden der Rohrleitung entlang gleitet, ist zurückzuweisen. Wenn dies der Fall wäre, könnte die kinetische Energie des Wassers nicht stoßweise auftreten, und das Rohr würde bald durch die feste Masse verstopfen. Auch bei zu geringer Verdünnung wird dieser Fall sehr schnell eintreten. Nur für Korngrößen unter 0,02 mm wäre ein derartiges Entlanggleiten bei laminarer Strömung möglich. Da wir es aber immer mit turbulenter Strömung zu tun haben, wobei Flüssigkeitsstöße winklig zur Achse auftreten, so werden diese festen Teilchen dauernd über den gesamten Spülquerschnitt durchgewirbelt.

In Abb. 3 betrachteten wir die Geschwindigkeiten eines einzelnen Kornes. Praktisch wird das Bild allerdings wesentlich anders aussehen. So kann erhebliche Abbremsung noch durch weitere verschiedene Umstände auftreten. Einmal kann das Korn an die Rohrwandung geschleudert werden. In diesem Falle tritt ein verschiedener Grad der Vernichtung der dem Korn erteilten Bewegungsenergie ein, je nach dem Winkel, unter dem die Berührung stattfindet. Dann kann das Korn mit anderen, in der Flüssigkeit ebenfalls bewegten Körnern zusammenstoßen, wobei ebenfalls eine Energievernichtung stattfindet, in dem sie ganz oder teilweise an das andere Korn abgegeben wird, je nachdem, ob es sich um ein größeres oder kleineres Korn handelt und mit welcher Geschwindigkeit diese sich gerade bewegen. Da das gegenseitige Zusammenstoßen der Kornteilchen von großem Einfluß auf den glatten Verlauf der Spülströmung ist, darf das Verdünnungsverhältnis nicht zu klein sein, da die Häufigkeit des Zusammenstoßens mit geringerer Verdünnung zunimmt.

Dann wird natürlich auch das Korn in seiner Bewegung durch Flüssigkeitsteilchen behindert, die sich infolge der Turbulenz in anderer Richtung bewegen wie das Korn, das durch die kinetische Energie zunächst in eine bestimmte Richtung geschleudert worden ist. Diese Richtung wird wahrscheinlich bei der Venturiwirkung in der Hauptsache parallel zur Rohrachse eintreten.

Betrachtet man einen Längenschnitt durch die Rohrachse (Abb. 5), so dürfte ein allmähliches Anschwellen und Zurückfallen der mittleren

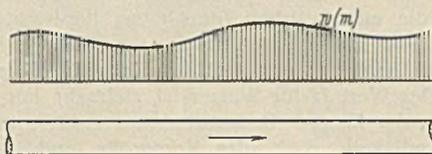


Abb. 5.

Geschwindigkeiten des Spülmittels stattfinden, entsprechend dem Auftreten von Venturiwirkungen. Bezüglich der ganzen Rohrlänge wechseln also die Geschwindigkeiten dauernd von Querschnitt zu Querschnitt, entsprechend dem geringeren und stärkeren Auftreten von fester Masse der Korngrößenanteile über 0,02 mm.

Zusammenfassend darf man also wohl sagen, daß die feine Phase mittels der Druckenergie und die gröbere mittels kinetischer Energie befördert wird, wobei die Umsetzung der Druckenergie in kinetische Energie durch Venturiwirkungen hervorgerufen wird, wodurch ein gewisses „Pulsieren“ der Strömung entsteht. Diese Venturiwirkung tritt im Verhältnis zur Rohrleitungslänge um so öfter auf, je größer der Anteil der Teilchen mit größerer Sinkgeschwindigkeit ist.

IV. Der Begriff der Korngröße.

Bisher haben wir immer von Korngrößengruppen gesprochen, die größere oder kleinere Durchmesser als 0,02 mm hatten, und behaupteten dabei, daß das kleinere Korn durch die Druckenergie und das größere durch die kinetische Energie befördert wird. Wir haben aber auch schon genügend hervorgehoben, daß die Form des Kornes einen erheblichen Einfluß bei der Bewegung in einer Flüssigkeit ausmacht. Wir müssen daher die Dimension des Kornes genauer kennzeichnen. Es empfiehlt sich, den Begriff Sven Odéns⁹⁾ „Äquivalenzradius“ des Teilchens ein-

zuführen, entsprechend etwa Ramanns „Körnern gleichen hydraulischen Wertes“⁷⁾. Wir verstehen also unter Korngrößen eines bestimmten Durchmessers alle die, die infolge ihrer scheiben- oder stabförmigen Form ebenso schnell sinken wie das Bezugskorn in Kugelform.

V. Spülströmung = Venturiströmung.

Da wir es bei der Spülströmung im Gegensatz zu turbulenter Strömung mit einer von Querschnitt zu Querschnitt wechselnden Geschwindigkeit der Flüssigkeit zu tun haben, so ist vielleicht der Ausdruck Venturiströmung angebracht, da sie durch Venturiwirkungen erzeugt wird, oder, da bei der Spülströmung die kinetische Energie insonderheit Verwendung findet, könnte auch von einer Energieströmung im Gegensatz zur Druckströmung der reinen Flüssigkeiten gesprochen werden.

VI. Die bekannten Bodenanalysen.

Während wegen der Homogenität der tropfbaren Flüssigkeit die „Ähnlichkeitsgesetze“ der Rohrhydraulik für diese gelten, die besagen, daß von Experimentalversuchen im kleinen Maßstabe auf das Verhalten bei größeren Abmessungen geschlossen werden kann, kommen für die Spülströmung diese Gesetze nicht in Frage. Hier ist von Versuchen im großen, im natürlichen Maßstabe auszugehen und ein Ähnlichkeitsschluß auf spätere Wirkungen nur durch eine Bodenanalyse zu gewinnen, die in ruhender Flüssigkeit vorgenommen werden kann, da diese ein genügend genaues Bild der Einflüsse der Kornbeschaffenheiten in bezug auf die Widerstände ergibt.

Da aus der Zusammensetzung der Sedimentierungsgeschwindigkeiten der einzelnen Fraktionen in der Flüssigkeit auf die erforderliche Spülgeschwindigkeit und das Verdünnungsverhältnis geschlossen werden kann, ist eine Analyse der Bodenprobe zur Bestimmung der mechanischen Zusammensetzung des feinkörnigen Anteils vorzunehmen. Bei den bekannten Schlämmanalysen werden die Bodenteilchen, die größer als 0,2 mm sind, vorher durch eine Siebanalyse ausgeschieden und gemessen. Nun hängt die Sinkgeschwindigkeit von der Größe, dem Gewicht und der Gestalt der sinkenden Teilchen ab. Flachgeformte bzw. schuppenförmige Körper sinken dabei wesentlich langsamer ab als gedrungene von gleichem Gewicht und Körperinhalt, weil flachgeformte Teilchen stets in waagerechter Lage nach unten sinken. Der letztere Einfluß steigt mit der Abnahme der Korngrößen, während er bei groberem Korn geringer wird und bei den ganz großen Stücken etwa über 2 mm allmählich verschwindet.

Man kann drei Methoden der Schlämmanalyse anwenden. Bei der ersten strömt das Wasser von unten nach oben und reißt die Feinteile entgegen der Schwerkraftwirkung nach oben (Näbel, Schöne u. a.). Bei der zweiten sinken die Bodenteilchen durch ruhendes Wasser nach unten (Kühn, Schlößnig, Atterberg u. a.). Bei der dritten und neuesten von Wiegner, und verbessert durch Gessner in bezug auf Ableesungsgenauigkeit, treiben die niedersinkenden, vorher durchgeschüttelten Bodenteilchen das Wasser in einem zweiten, parallel angeordnetem Standglas hoch.

Die erste Methode, bei der das Wasser einen Satz zylindrischer Gefäße mit verschiedenen großen Durchmessern in der Richtung von unten nach oben derart durchströmt, daß es zunächst in das engste Gefäß und dann in die weiteren gelangt, wobei in jedem Gefäß sich Bodenteile gleicher Korngröße absetzen, hat den Nachteil, daß einerseits Korngrößen von 0,01 mm Durchm. und darüber, andererseits solche unterhalb 0,01 mm nicht abgeschieden und sortiert werden können, da einmal die Durchströmungsgeschwindigkeit des Wassers für das größere Korn zu groß und zweitens die Sinkgeschwindigkeit kleinerer Teilchen zu gering ist.

Die zweite Methode spült das Gemenge von Boden und Flüssigkeit und hebt das über dem Bodensatz stehende Wasser mehrere Male ab, bis die abgeheberte Flüssigkeit vollkommen klar ist. Diese Methode kommt nur für ganz kleines Korn in Frage.

Die dritte Methode von Wiegner⁸⁾ ist wohl die beste. Aber auch bei dieser Methode gelingt eine einwandfreie Messung nur bei den kleinen Kornteilchen. Bei Wiegner wird das Bodenwassergemisch zunächst in dem Fallzylinder kräftig durcheinander geschüttelt, dann durch Aufhängen des Apparates in Ruhezustand gebracht und von jetzt ab das Sinken der Teilchen durch Beobachten des Wasserspiegels im Standglas gemessen. Der Zeitpunkt des Beginns des Sedimentierungsvorganges kann für gröberes Korn nicht genau genug ermittelt werden. Es kann der Fall eintreten, daß beim Beginn des Messens sich entweder das feinste oder gröbste Korn gerade in der Nähe des Bodens oder umgekehrt befindet. Die erste Schwierigkeit, die bezüglich der nötigen Schärfe bei der Messung

⁷⁾ Ramann, Bodenkunde, 3. Aufl., S. 285. Berlin 1911.

⁸⁾ Wiegner, Boden und Bodenbildung in kolloidchemischer Betrachtung, 5. Aufl., S. 11 u. f. Dresden u. Leipzig 1929, Theodor Steinkopf.

⁹⁾ Sven Odén (Upsala), Eine neue Methode zur Bestimmung der Körnerverteilung in Suspensionen, Kolloidzeitschr. Bd. XVIII, Heft 2, 1916.

auftrat, ist durch Gessners⁹⁾ Vorschlag inzwischen behoben, den Höhenunterschied zwischen Meßrohr- und Fallrohrspiegel durch einen Film zu photographieren.

Alle diese Methoden gestatten nicht die einwandfreie Messung der Fallgeschwindigkeiten der Kornanteile, die größer als 0,02 mm sind. Aber grade diese Anteile interessieren für die Umsetzung von Druckenergie in kinetische Energie bei unserer Spülströmung. Kornteilchen, die der 0,02-mm-Größe entsprechen, sinken bei flacher Form bis zu fünfzigmal zu langsam als gleich schweres rundes Korn. Das Verhältnis nimmt allerdings mit der Zunahme der Korngröße ab. Doch ist der Einfluß bei Korngrößen bis zu 2 mm Durchm. noch gut beobachtbar, und wir haben das größte Interesse, diesen wesentlichen Einfluß mitzumessen, da er ausschlaggebend ist für die erforderliche Energieerzeugung.

Nach Stokes¹⁰⁾ gilt für die Absatzgeschwindigkeit eines kugelförmigen Teilchens in irgendeiner Flüssigkeit

$$w = 6 \pi r \eta v,$$

wo v die Geschwindigkeit des Teilchens,
 w den Widerstand der Flüssigkeit,
 η die innere Reibung der Flüssigkeit,
 r den Teilchenhalbmesser bedeutet.

Hat das Teilchen seine konstante Geschwindigkeit erreicht, so muß die Schwerkraft gleich dem Reibungswiderstand sein, somit:

$$6 \pi r \eta v = \frac{4}{3} \cdot \pi r^3 (\gamma - \gamma_1) g,$$

wo g die Beschleunigung der Schwere,
 γ das spezifische Gewicht des Teilchens
und γ_1 das spezifische Gewicht der Flüssigkeit bedeutet.

Die Gleichung kann auch geschrieben werden

$$v = \frac{2}{9} \cdot g r^2 \cdot \frac{\gamma - \gamma_1}{\eta}.$$

Mit $\gamma = 2,85$, $\gamma_1 = 1,00$, $\eta = 1,165 \cdot 10^{-5}$ gcm/sek² (bei einer Temperatur $T = 15^\circ$ C) geht die Formel über in

$$v = 0,873 \cdot 10^4 d^2.$$

Für $d = 0,002$ 0,02 0,2 2,0 mm erhält man
 $v = 0,00035$ 0,035 3,5 350 cm/sek.

Diese Werte hat Terzaghi⁹⁾ (Seite 71 ff.) entwickelt. Hierbei ist Terzaghi allerdings insofern ein Fehler unterlaufen, als er die Werte v für Korngrößen $> 0,02$ mm zu gering errechnet, denn die Formel von Stokes gilt nur für Quarzkörner bis zu einem Durchmesser von $85 \mu = 0,085$ mm; danach steigen die Werte an, was H. S. Allen¹¹⁾ und H. D. Arnold¹²⁾ nachgewiesen haben. Sven Odén bringt eine neue Formel für die Sinkgeschwindigkeit von C. V. Oseen^{13) 14)}. Nach letzterem ist der Widerstand

$$w = 6 \pi r \eta v \left(1 + \frac{3}{8} \cdot \frac{\gamma_1 r}{\eta} |v| \right),$$

wo $|v|$ der absolute Betrag der Geschwindigkeit ist. Diese Formel gilt aber auch nicht für die großen Korndurchmesser, die wir in erster Linie untersuchen wollen. Die Zunahme der Sinkgeschwindigkeit ist aber für das Korn bis zu 2 mm Durchm. nicht derartig, daß die nach Stokes errechnete Sinkgeschwindigkeit um ein derartiges Maß vergrößert wird, daß sie in $\frac{1}{30}$ sek bei 50 cm Fallhöhe nicht beobachtet werden könnte, wie wir uns selber durch einen einfachen Versuch überzeugten.

VII. Bodenanalyse für die Spülströmung.

Wir schlagen daher vor, für die Zwecke der Spültechnik zur Feststellung der Körnerverteilung folgendes Verfahren zu wählen.

Zunächst wird das Korn über 2 mm Durchm. abgeseibt und dieser Anteil der Probe genau gemessen. Die dann verbleibende, zu untersuchende Bodenprobe mit Korngrößen unter 2 mm Durchm. wird in einen aufrecht stehenden Glaszylinder von bestimmter Länge, etwa 50 cm, gestürzt, der mit Wasser angefüllt ist. In dem Augenblick, in dem die Bodenprobe von immer gleicher Größe in das Glas gestürzt wird, wird eine Filmaufnahme begonnen, die ein genaues Bild der Absatzgeschwindigkeit der einzelnen Korngrößengruppen bringen wird. Es ist nicht erforderlich, daß mehr als etwa zehn Aufnahmen in 1 sek gemacht werden, denn aus der Zusammenstellung der Sinkgeschwindigkeiten von Terzaghi

⁹⁾ Terzaghi, Die Bodenmechanik, 1. Aufl., Anhang. Leipzig 1925, Deuticke.

¹⁰⁾ Stokes, Cambr. Phil. Trans. 8, 287 (1845).

¹¹⁾ H. S. Allen, The motion of a sphere in a Viscous-Fluid. Phil. Magaz. (5) 50, 323 bis 338 (1900).

¹²⁾ H. D. Arnold, Limitations imposed by slip and Inertia Terms upon Stokes — Law for the motive of a Sphere through Liquids. Phil. Magaz. (6) 22, 755 — 775 (1911).

¹³⁾ C. V. Oseen, Über die Stokessche Formel usw. Arkiv f. Mathematik utq. av. R. Svenska Vet.-Akad. i. Stockholm 6, Nr. 29 (1910).

¹⁴⁾ Ders., Über den Gültigkeitsbereich der Stokesschen Widerstandsformel, Ibidem 9, Nr. 16 (1913).

ergibt sich, daß ein Korn von 2 mm Durchm. in einem Fallrohr von 50 cm Höhe in

$$\frac{50 \text{ (cm)}}{350 \text{ (cm/sek)}} = \frac{1}{7} \text{ sek}$$

niedersinkt. Auch braucht diese Aufnahme nicht länger als höchstens 5 bis 10 sek in Anspruch zu nehmen. Nach dieser Zeit können die Aufnahmen in bedeutend größeren Abständen gemacht werden, z. B. von 1 min und darüber. Durch die Filmstreifen mit gleich großen Abständen der Aufnahmen erhält man ein genaues Bild der Bodenart in bezug auf ihre Absatzgeschwindigkeit im Wasser und damit durch die gleichzeitig vorgenommenen Spülversuche im großen eine Aussage darüber, mit welchem Optimum von Geschwindigkeit und Verdünnungsverhältnis dieses Gemisch am wirtschaftlichsten fortgeleitet werden kann.

Eine Ungenauigkeit besteht allerdings zunächst darin, daß bei der Zugabe der Sinkprobe diese bei den verschiedensten Proben nicht gleichmäßig ausgeführt werden kann. Man wird z. B. so vorgehen, daß die Probe zunächst in eine zylinderförmige Fortsetzung mit demselben Querschnitt wie das Fallrohr geschüttet wird, wobei eine waagerechte Verschlussplatte bei Beginn der Messung fortgezogen wird. Dabei wird es nun vorkommen, daß dieses Fortziehen einerseits verschieden schnell vorgenommen wird, andererseits, daß gerade in der Nähe der ersten Freigabe der Fallöffnung sich entweder mehr größeres oder mehr kleineres Korn befindet und mithin dieser Teil des gröberen oder feineren Kornes sich früher oder später absetzt als das andere. Diese Ungenauigkeiten lassen sich aber gerade bei der Filmaufnahme sehr hübsch auswerten und mithin für die verschiedenen Proben korrigieren.

Die Umwandlung der Fallkurve in eine Verteilungskurve bringt Sven Odén in dem oben angeführten Aufsatz⁹⁾, und diese Ableitung könnte bei der Auswertung der Filmaufnahme sinngemäß angewendet werden.

Das grobe, abgeseibte Korn über 2 mm Durchm. erleidet natürlich im Wasser auch den Einfluß der Viskosität, allerdings in ganz verschwindendem Maßstabe. Diesen könnte man aber ebenfalls messen, indem dieses Korn in einer Flüssigkeit mit bedeutend größerer Viskosität, etwa Öl, auf gleiche Weise untersucht wird, wie für das kleinere Korn beschrieben.

VIII. Die Widerstandshöhe (H) bei der Spülströmung.

Für das Fortbewegen von losen Bodenmassen durch Wasserzusatz in Rohrleitungen wird die erforderliche Antriebskraft bis heute nach der bekannten Formel der Hydraulik berechnet

$$N = \frac{\gamma Q H 1000}{75 \eta} \text{ in PS.}$$

Hierin bedeutet γ das spezifische Gewicht des Gemisches, d. h. dieser Wert entspricht dem Verdünnungsverhältnis Boden : Wasser. In H werden die besonderen Widerstände des Bodens einbezogen, so daß diese Werte von denen des Wassers abweichen. Paulmann und Blaum¹⁵⁾ geben an, daß die erforderlichen Druckhöhen für leichten bis schweren Boden 1,3 bis 2,0 mal größer sind als die für Wasser. Aus dem bisher vorgetragenen ist leicht zu ersehen, daß der Wert H genauer bestimmt werden kann. Der Wert H für Wasser ist vielmehr mit einem Werte Z zu multiplizieren, der für jede Bodenart anders ausfällt und eine Funktion der Sinkgeschwindigkeit, d. h. der Korngröße und -form sowie des spezifischen Gewichtes γ_B des Bodens darstellt. Dieser Wert Z muß in Verbindung mit den verschiedenen Verdünnungsverhältnissen (γ) auf Baustellen oder durch Großversuche in den Wasserbaulaboratorien für die verschiedenen Rohrdurchmesser und Geschwindigkeiten ermittelt und schließlich hieraus das Optimum für eine bestimmte Bodenmischung erhalten werden, so daß die Bodenanalyse uns später angibt, bei welchem Verdünnungsverhältnis (γ) und mit welcher Geschwindigkeit v sowie welchem Rohrdurchmesser d der Boden am wirtschaftlichsten zu spülen ist.

Die Formel müßte mithin geschrieben werden

$$N = \frac{\gamma Q Z H 1000}{75 \eta} \text{ in PS.}$$

Ist der prozentuale Anteil des groben Kornes zu groß, so wird eine Grenze gefunden werden, bei der das Spülen keinen wirtschaftlichen Vorteil mehr bietet und bei dem mechanischen Transport des Bodens verblieben werden muß. Je größer allerdings der Rohrlingsquerschnitt ist, um so größere Stücke können mitgeführt werden. Bei Spülrohrleitungen von 500 bis 1000 mm Durchm. können faustgroße Stücke und darüber mitbewegt werden. Selbstverständlich dürfen diese aber nicht einen zu großen Anteil ausmachen.

Die Beimengung von feinen Tonteilchen u. dgl. liefert außerdem einen Schmierfilm, der die Rohrwandreibung hauptsächlich bei kleineren Rohrdurchmessern erheblich herabsetzt wird. Aber auch diesen Einfluß erhalten wir aus dem Wert Z bei den Versuchen, bei denen derartige Beimengungen vorhanden sind.

¹⁵⁾ Paulmann u. Blaum, Die Bagger und Baggerhilfsgeräte. Teil I: Die Naßbagger, 1. Aufl. Berlin, Julius Springer.

Alle Rechte vorbehalten.

Die Arbeiten der Reichswasserstraßenverwaltung im Jahre 1934.

Von Ministerialdirektor Dr.-Ing. ebr. Gährs.

(Fortsetzung aus Heft 17.)

7. Rheingebiet.

Im Bereich der Wasserbauämter Duisburg-Rhein und Wesel sind unter Verwendung erheblicher Mittel aus dem Reinhardt-Programm die bereits im vorjährigen Bericht erwähnten Abgrabungen von Ufergrundstücken des Rheins zur Verbesserung der Abflußverhältnisse weitergeführt und nun beendet. Am rechten Rheinufer zwischen Düsseldorf und Kaiserswerth, bei Lohausen, wurden rd. 250 000 m³ Boden von den Ufergrundstücken abgegraben und der Stadt Düsseldorf zur Verstärkung und zum weiteren Ausbau eines Hochwasserdeiches bei Lohausen zur Verfügung



Abb. 64. Abgrabung der Auflandungen am Rhein oberhalb Rees.

gestellt. Bei Ruhrort wurden auf dem linken Rheinufer etwa 300 000 m³ Boden gewonnen und zur Ausfüllung einer alten Schlenke an dem in der Nähe liegenden Deich benutzt. Am linken Rheinufer bei Wesel wurden etwa 250 000 m³ Boden gewonnen und dazu verwendet, die Dämme für eine neue Linienführung der Verbandstraße Geldern—Wesel zuzuschütten. Endlich wurden oberhalb Rees am rechten Rheinufer rd. 200 000 m³ Boden abgetragen und dazu verwendet, ein Baggerloch, das durch Kriegslieferungen in den Jahren 1914 bis 1918 entstanden und noch nicht wieder zugefüllt war, zu verfüllen. Im ganzen sind also etwa 1 Mill. m³ Boden aus dem Abflußgebiete des Rheins entfernt und für landeskulturelle Zwecke verwendet worden. Wie hoch die Auflandungen der Rheinufer und wie groß daher die Abgrabungstiefen waren, geht aus Abb. 64 hervor.

Die Arbeiten der Niedrigwasserregulierung des Oberrheins zwischen Kehl—Straßburg und Istein—Basel sind weiter fortgeschritten. Wenn sich auch infolge des verhältnismäßig niedrigen Wasserstandes des vergangenen Jahres die planmäßige Fahrwasserinne etwas langsamer ausgebildet hat, als dies früher der Fall war, so ist doch nach Eintreten höherer Wasserstände wiederum ein wesentlicher Fortschritt im Sinne des Gesamtplanes bestimmt zu erwarten.

Um die Einwirkungen der Bauwerke auf die Ausbildung des Fahrwassers zu unterstützen, wurden in der Aufhöhungsstrecke des Rheins bei Ottenheim und Weisweil rd. 600 000 m³ Geschiebe und in der Stromstrecke bei Kehl—Straßburg rd. 52 000 m³ aus dem Strom entfernt und in Bühnenfelder und Altrheinnarme eingebaut.

Die 115 km lange Baustrecke ist ganz in Angriff genommen. Von der sogenannten „Ersten Anlage“, die den Rohbau der Bühnen und Grundschwellen umfaßt, sind rd. 85 km fertiggestellt. Endgültig ausgebaut sind rd. 30 km.

Die Umkanalisierung des Untermains konnte im Baujahre 1934 so gefördert werden, daß die gesamten Schifffahrtsanlagen bis Ende 1934 fertiggestellt wurden.

Infolge der Finanzkrise im Jahre 1931 waren zunächst die verfügbaren Mittel und damit der Bauplan für die Staustufe Eddersheim so gestreckt worden, daß die Inbetriebnahme erst für den Sommer 1935 vorgesehen war. Dies hätte zur Folge gehabt, daß in dem vergangenen Winter mehrere hundert Arbeiter auf mehrere Monate arbeitslos geworden wären. Die Arbeiten waren im Baujahre 1933 so weit gediehen, daß Anfang 1934

das Oberhaupt der Doppelschleppzugschleuse betoniert werden konnte, nachdem die erforderlichen Mittel zusätzlich zur Verfügung gestellt worden waren. Um eine Unterbrechung der Betonarbeiten durch die im Winter herrschende große Kälte zu vermeiden, entschloß man sich dazu, das Anmachwasser und die Zuschlagstoffe anzuwärmen und den frischen Beton durch Abdecken mit Strohmatte und Säcken gegen die Einwirkungen des Frostes zu schützen. Diese Maßnahmen

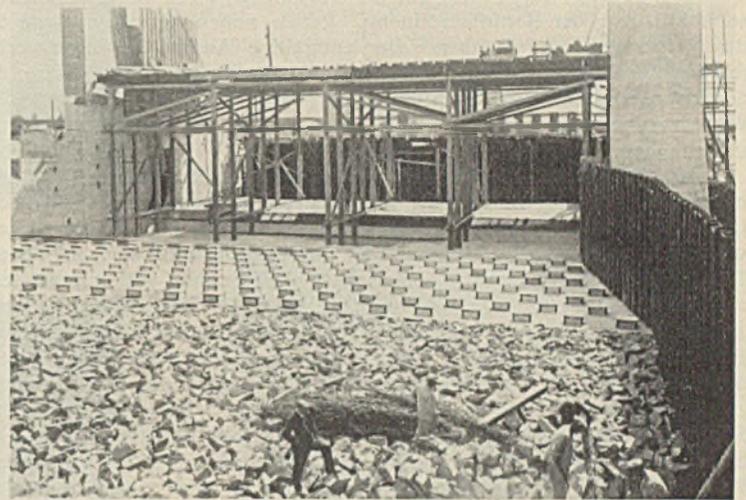


Abb. 66. Blick in die Baugrube der rechten Wehrröffnung der Staustufe Kostheim.

haben sich gut bewährt und es ermöglicht, daß die Arbeiter während des ganzen Winters voll durchgehalten und die Anlagen noch im Laufe des Jahres 1934 fertiggestellt werden konnten. Hierdurch ist u. a. auch eine erhebliche Ersparnis bei der Grundwasserabsenkung erzielt worden. Zudem hatte es sich herausgestellt, daß die rd. 50 Jahre alten Nadelwehre der ersten Kanalisierung bereits sehr baufällig und daher bei Hochwasser und Eisgang stark gefährdet waren, so daß auch aus diesem Grunde eine möglichst baldige Inbetriebnahme der neuen Anlagen dringend erwünscht war; denn eine etwaige Zerstörung der alten Wehre durch Eisgang oder

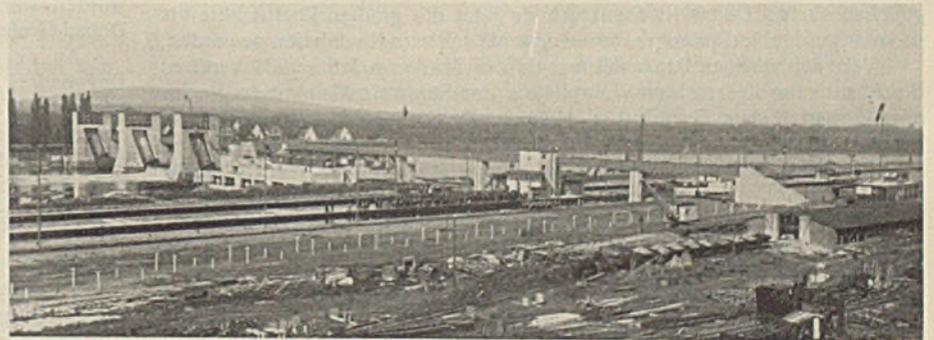


Abb. 65. Ansicht der Staustufe Eddersheim kurz vor der Betriebseröffnung.

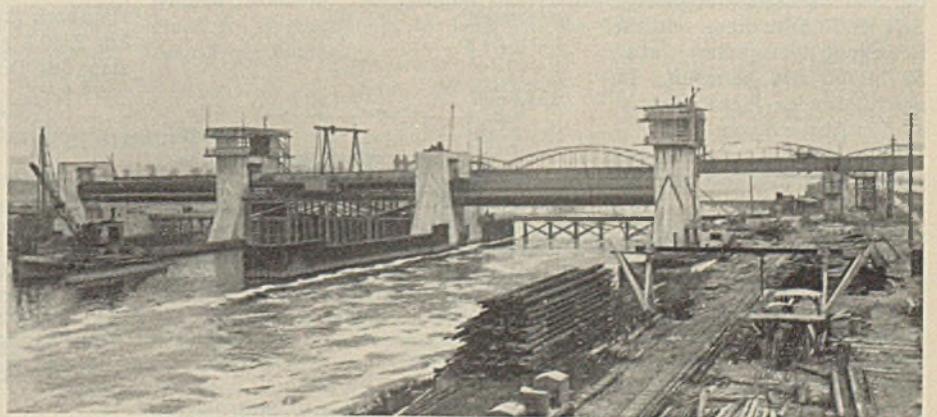


Abb. 67. Ansicht der Wehranlage Kostheim vom Unterwasser.

Hochwasser hätte unabsehbare Schäden für Schifffahrt und Wirtschaft verursachen können.

An der Schleusenanlage wurden ferner die Leitwerkswände im unteren und oberen Vorhafen fertig gerammt, verankert und hinterfüllt. Die Schleusentore und Umlaufverschlüsse nebst ihren Antrieben wurden betriebsfertig eingebaut und das auf dem Mitteldamm zwischen den beiden Schleusen angeordnete Schleusenbedienungs- und Zentralsteuerungsanlage fertiggestellt.

Beim Wehr wurde die Sohle der mittleren Wehrröffnung betoniert und anschließend die Mittelwalze mit Antrieb aufgestellt. Außerdem wurde im Fluß und in den Vorhäfen die Fahrrinne ausgebaggert, und die beiden wegfallenden Wehre bei Okriftel und Flörsheim wurden beseitigt.

Abb. 65 zeigt einen Blick auf die Gesamtanlage von der Unterwasserseite kurz vor der Betriebseröffnung. Rechts neben der Wehranlage ist der Kraftwerkfließbau sichtbar. Der endgültige Ausbau des Kraftwerks (Einbau der Maschinen und Herstellung des Hochbaues) mußte leider, da die erforderlichen Mittel nicht verfügbar waren und da auch durch die Wirtschaftskrise der Absatz des anfallenden Stromes erschwert ist, zunächst unterbleiben.

An der Staustufe Kostheim wurden in zwei Bauabschnitten die mittlere und rechte Wehrröffnung nacheinander fertiggestellt, so daß noch im Laufe des Jahres 1934 das neue Walzenwehr in Betrieb genommen werden konnte. Die Wehrpfeiler und die Wehrschwelle sind auf festem Ton im Schutze von Längsfangedämmen und einer ober- und unterwasserseitigen Abschlusswand aus Larssenspundbohlen mit offener Wasserhaltung gegründet. Abb. 66 gibt einen Blick vom Unterwasser aus in die trockene Baugrube des rechten Wehrbauabschnittes unmittelbar nach Fertigstellung der Wehrsohle und vor Beginn des Flutens. Das Gerüst für die Hochmontage der Walze ist bereits aufgestellt. Im Vordergrund ist die Sohlensicherung aus schweren Senksteinen sichtbar, dahinter die Sohlenbefestigung aus Beton mit schachbrettartig versetzten Betonzähnen, deren Kanten mit Winkeleisen bewehrt sind. Abb. 67 zeigt eine Ansicht der gesamten Wehranlage von der Unterwasserseite. Die mittlere Wehrwalze wird auf einem Gerüst montiert. Die Windwerkhäuser auf den Wehrpfeilern werden betoniert.

Leider mußte auch in Kostheim der Kraftwerkbau zurückgestellt werden, so daß das zweite Ziel der Umkanalisierung, die Ausnutzung der Untermain-Wasserkräfte, noch nicht erreicht ist.

Nachdem bereits am 20. September 1932 die Staustufe Griesheim nebst Kraftwerk und am 1. April 1933 die neue 15 m weite Schleppzugschleuse in Kostheim in Betrieb genommen worden sind, ist es durch angespannte Arbeit gelungen, die Staustufe in Eddersheim bereits am 2. Oktober 1934 dem Betrieb zu übergeben. Der Schifffahrt steht nunmehr zwischen der Mainmündung und Frankfurt eine mit den neuzeitlichsten Einrichtungen ausgestattete Großschifffahrtstraße von hoher Leistungsfähigkeit zur Verfügung, die in Deutschland, ja in Europa, ihresgleichen sucht. Damit ist Frankfurt, da jetzt die größten Rheinschiffe bis in sein Stadtgebiet gelangen können, praktisch zum Rheinhafen geworden.

Von den übrigen Bauausführungen am Main im Jahre 1934 verdient die Abstützung des rechten Wehrpfeilers der Staustufe Mainkur im Bezirk des Wasserbauamts Frankfurt a. M. besondere Hervorhebung (s. Querschnitt, Abb. 68).

Der Pfeiler ist im Jahre 1917 fertiggestellt worden; die Gründung wurde ausgeführt in Stampfbeton zwischen eisernen Spundwänden System „Rote Erde“ auf einer etwa 15 m mächtigen Schicht festen blauen Lettens. Vermutlich ist der Pfeiler bereits seit dieser Zeit in Bewegung. Nach den seit 1928 durchgeführten regelmäßigen Beobachtungen hat sich der Pfeiler während des Beobachtungszeitraumes um 4 bis 7 mm gesenkt und dabei seitlich um 20 mm nach der Schleusenseite hin geneigt. Seit 1917 dürfte diese seitliche Bewegung insgesamt etwa 50 bis 60 mm betragen. Im anschließenden Wehrboden ist in 4 m Abstand vom Pfeiler ein Riß entstanden; hier liegt anscheinend der Drehpunkt der Pfeilerbewegung.

Die Abstützung des Pfeilers geschah durch neun Kragträger im Abstände von 1,50 m, die 2,50 m tief in den Pfeilerkörper ein-

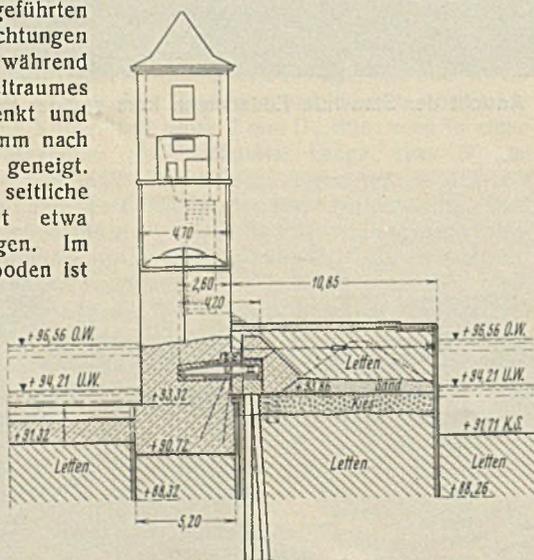


Abb. 68. Abstützung des rechten Wehrpfeilers der Staustufe Mainkur.

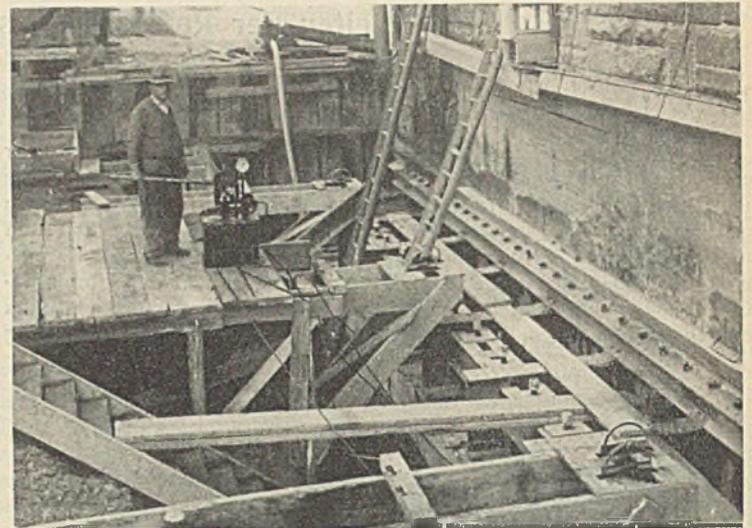


Abb. 69. Anpressen des rechten Wehrpfeilers Mainkur.

greifen. An ihren freien Enden sind sie durch Längsträger verbunden und auf einen Eisenbetonbalken abgestützt, der über 23 Eisenbetonbohrpfählen von 0,3 m Durchm. und 15 m Länge liegt.

Nach dem Einbau der Eisenkonstruktion wurde durch acht zwischen den Kragträgern angesetzte Druckwasserpressen ein Gesamtdruck von 450 t ausgeübt, und die freien Enden der Kragträger wurden durch eiserne Keile gegen die Eisenbetonschwelle festgelegt. Nach den ausgeführten Messungen der Durchbiegungen dürfte nach Abnahme der Preßanlage noch ein Gesamtdruck von rd. 400 t wirksam sein, der ausreicht, um die Bodenpressungen in der Sohlenfuge annähernd gleichmäßig zu gestalten. Eine nachträglich ausgeführte Messung ergab eine Hebung des Pfeilers um 2,5 mm auf der Schleusenseite und einen Rückgang der seitlichen Verschiebung um etwa 5 mm.

Nach der Festlegung der Kragträger wurde die gesamte Stützkonstruktion mit Beton umhüllt.

Der für die Arbeiten ausgeworfene Betrag von 48 000 RM wird voraussichtlich voll verbraucht werden. Abb. 69 zeigt die Anordnung der Kragträger, die Preßwasseranlage und die Meßinstrumente zur Feststellung der Durchbiegungen und Einsenkungen, und zwar unmittelbar vor der Abpressung.

8. Die Rhein-Main-Donau-Verbindung.

Das großzügige Arbeitsprogramm, das im Jahre 1933 eingeleitet worden war, hat auch im Jahre 1934 die Arbeiten an der Rhein-Main-Donau-Großschifffahrtstraße in außerordentlichem Maße belebt.

An der Donau waren im Jahre 1932/33 zwischen Regensburg und Deggendorf in einer Gesamtlänge von 19 km in sieben Teilstrecken, die geringere Fahrwassertiefen aufwiesen, Unterwasserbuhnen und Längsbauten eingebracht worden, um dadurch gleichmäßigere Wassertiefen zu erzielen und das NW zusammenzufassen. Mit diesen Bauten ist eine gute Wirkung erzielt worden. Das hat sich gerade im abgelassenen Jahr erwiesen. Während der ungewöhnlich langen Niedrigwasserperiode im Frühjahr und Sommer 1934 konnte die Schifffahrt infolge der günstigen Auswirkungen der Regulierungsmaßnahmen dauernd aufrechterhalten werden. Das ist auch von den an der Donau ansässigen Schifffahrtsgesellschaften anerkennend hervorgehoben worden.

Die Eisbekämpfung im Kachletstausee verlief normal. Mitte Januar 1934 trat eine kurze Eisperiode auf, bei der es jedoch im Stausee nicht zur Bildung eines Eisstoßes kam. Dagegen trat bei einer weiteren Kälteperiode anfangs Februar eine Eisstoßbildung zwischen Sandbach und Hausbach (km 2241/43) ein. Der Eisstoß wuchs bis zum 7. Februar bis km 2260,8 an, und dadurch wurde ein starker, aber unschädlicher Rückstau des Donauwasserspiegels bei Vilshofen und Hofkirchen verursacht.

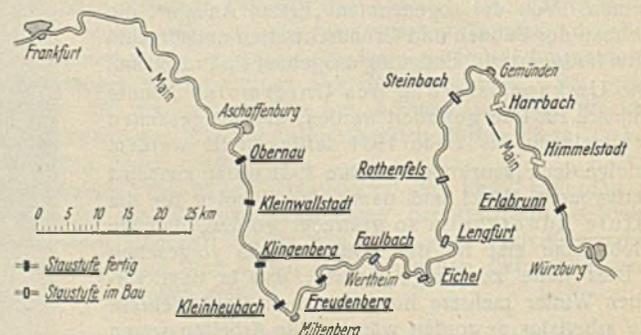


Abb. 70. Übersichtsplan der Mainkanalisierung.

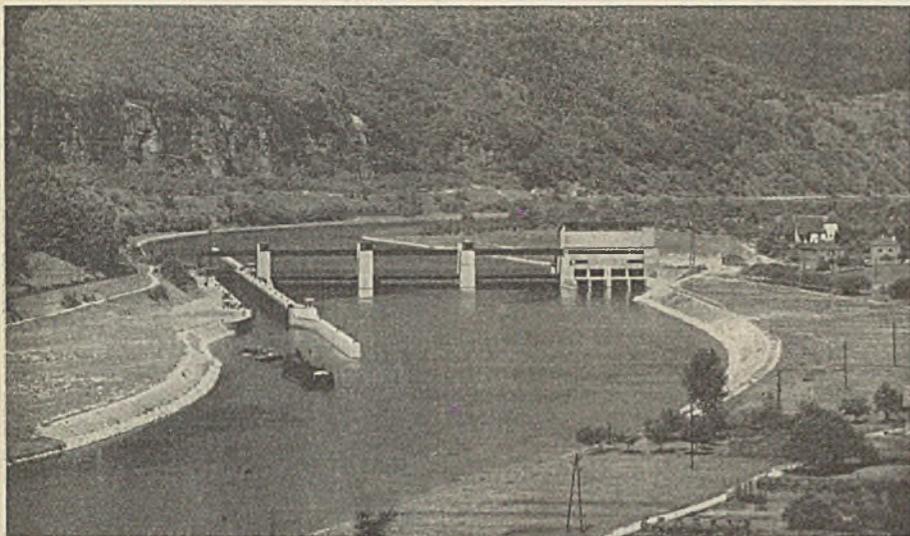


Abb. 71. Staufstufe Freudenberg von UW.

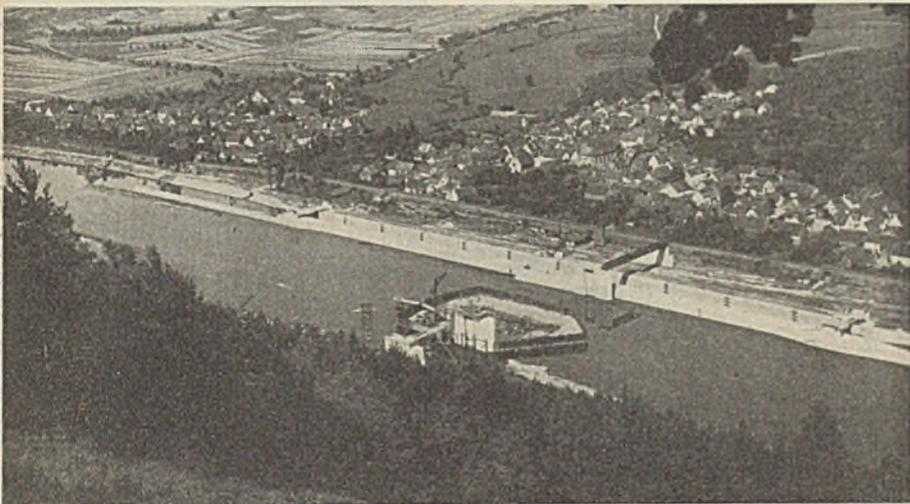


Abb. 72. Staufstufe Faulbach. Linke und mittlere (umspundete) Wehröffnung. Schleppzugschleuse kurz vor der Betriebsöffnung.

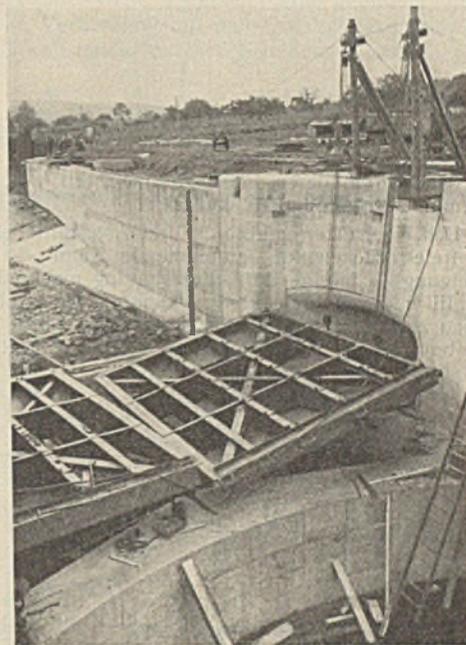


Abb. 73. Staufstufe Lengfurt. Montage der Schleusentore des Oberhauptes.

Vom 8. Februar 1934 an trat ein Abbau der Eisversetzung infolge Eintritts milder Witterung ein. Durch die Eisbrecher wurde das Eis beseitigt und abgeführt. Am 15. Februar war der Stausee bis auf ganz geringe Eisreste wieder eisfrei.

Die Mainkanalisierung (Abb. 70) zwischen Aschaffenburg und Würzburg ist in flottem Tempo vorwärtsgetrieben worden. Die Staufstufe Erlabrunn ist vollendet; Ende des Jahres 1934 wurde dort der Stau hergestellt; bei der Staufstufe Faulbach gehen die Bauarbeiten der Vollendung entgegen. Ferner ist zu den im Jahre 1933 in Angriff genommenen Stufen Eichel, Lengfurt und Rothenfels noch die Stufe Steinbach getreten, bei der der Schleusenbau begonnen werden konnte. Damit sind von den insgesamt 13 Staufstufen zwischen Aschaffenburg und Würzburg sieben ganz oder nahezu vollendet, vier im Bau und nur zwei von Bauarbeiten noch nicht erfaßt. Es besteht Aussicht, Ende des Rechnungsjahres 1937 Würzburg zu erreichen. Im einzelnen ist über die Bauarbeiten noch folgendes zu berichten.

An der Stauanlage Freudenberg sind die Bauarbeiten zwar noch im Jahre 1933 zu Ende gegangen, jedoch konnte wegen Niedrigwasser

des Jahres auch in der mittleren und rechten Wehröffnung programmgemäß durchgeführt werden. Beginnend im August wurden auch die Wehrverschlüsse der linken und mittleren Öffnung montiert. In der linken Öffnung gelangt ein Dreigurtschütz mit Klappe nach Konstruktion der Dortmunder Union, in der mittleren Öffnung ein solches in etwas anderer konstruktiver Durchführung durch die Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg zur Ausführung.

Nebeneinander, zeitlich ziemlich gleichlaufend, sind die im Herbst 1933 begonnenen Schleppzug-Kammerschleusen der Staufstufen Eichel und Lengfurt nahezu vollendet worden. Während des Winters gab die Ausschachtung der Baugrube einer beträchtlichen Anzahl von Arbeitslosen willkommene Beschäftigung; mit Beginn des Frühjahres und bis in den Herbst hinein wurden die Schleusenmauern betoniert. Zur Förderung der Buntsandsteinindustrie sind die Schleusenmauern mit Vorsatzmauerwerk verblendet. Im Spätherbst konnten auch eiserne Stemmtore montiert werden (Abb. 73). Mit Beginn des Herbstes wurden sodann in Eichel die linke Wehröffnung, in Lengfurt das äußerste rechte Wehrfeld in Angriff genommen. (Schluß folgt.)

Vermischtes.

Aufstellung einer Fachwerkbrücke in Westjapan. Aufstellungsverfahren von Fachwerkbrücken durch Einfahren mit Benutzung von Flußschiffen bzw. Kähnen, wie sie in Deutschland beim Bau z. B. der Tangermünder Elbbrücke¹⁾ und der Emsbrücke²⁾ bei Weener ausgeführt worden sind, haben auch in Japan in zweckentsprechender Weise Anwendung gefunden. Bei Überbrückung des Rokkaku- und Shiota-Flusses im Zuge der Ariake-Bahnlinie (Provinz Kjuushuu) waren folgende Umstände zu berücksichtigen: 1. Der Baugrund bestand aus einer 20 m dicken Schicht weichen Tons, 2. reger Schiffsverkehr, dessen Störung möglichst zu vermeiden war, und 3. Gezeiteneinfluß des Ariake-Meeres mit einem

mittleren Wasserstandsunterschied von 3 m und einer Wassergeschwindigkeit bis zu 1,5 m/sek.

Mit dem nachstehend im einzelnen kurz beschriebenen, beim Shiota-Fluß angewendeten Verfahren (beim Rokkaku-Fluß lagen die Verhältnisse ähnlich) konnte all diesen Bedingungen entsprochen werden, noch dazu mit geringeren Kosten, als sie eine andere Lösung verursacht hätte.

Die fertig zusammengesetzte und vernietete Fachwerkbrücke wurde mit Rollböcken auf dem Bahngleis bis an den Pfeiler II herangefahren, nachdem der Unterbau zwischen Pfeiler I und II vorübergehend besonders verstärkt war (Abb. 1). Der weitere Vorschub des Fachwerks geschah in der Weise, daß ein über eine Rolle geführtes Drahtseil, das mit einem Ende an dem Fachwerk befestigt war, am andern Ende von einer Vorspannlokomotive

¹⁾ Bautechn. 1932, Heft 52, S. 677 — ²⁾ Ebenda 1925, Heft 23, S. 297.

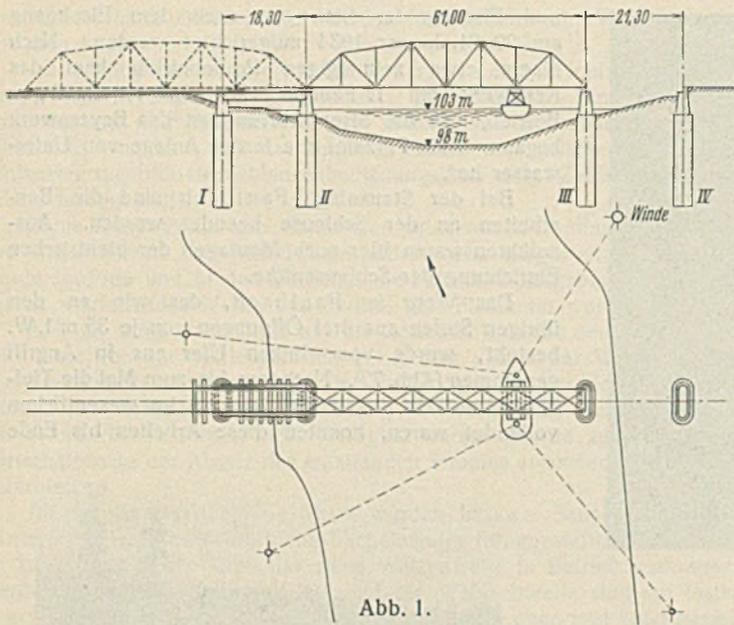


Abb. 1.

gezogen wurde, deren Fahrt so bemessen war, daß das Fachwerk mit 6 m/min Geschwindigkeit vorrückte.

Das Übersetzen mußte in drei Abschnitte eingeteilt werden, da der freie Brückenende aufnehmende Kahn — es stand nur einer zur Verfügung — infolge der Ufergestaltung nicht nahe genug an die Pfeiler II bzw. III herangefahren werden konnte. Der Kahn, der den Holzgerüstaufbau zum Absetzen des Fachwerks trug, hatte 250 t Wasserverdrängung und bot für die aufzubringende Belastung weitgehende Sicherheit. Im

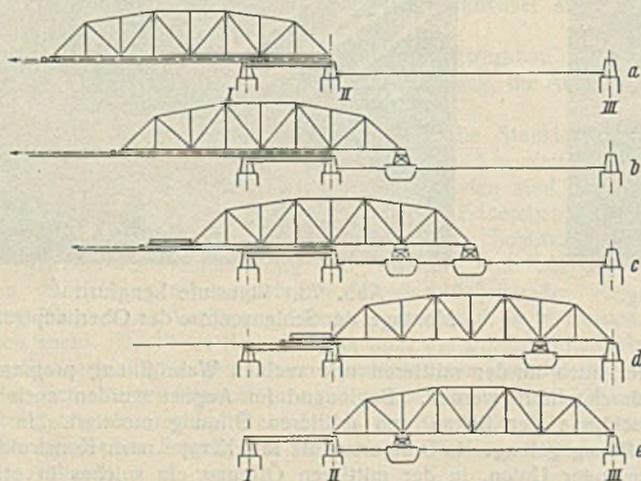


Abb. 2.

ersten Abschnitt des Einfahrens wurde die Brücke bis zur Hälfte hinausgezogen (Abb. 2b u. c), das am Lande befindliche Ende genügend belastet und der Kahn umgesetzt. Dann folgte das Hinüberfahren zu Pfeiler III und Absetzen daselbst (Abb. 2d). Schließlich wurde der Kahn abermals umgesetzt und das andere Brückenende auf den Pfeiler II abgelassen (Abb. 2e). Hierbei wurde stets die Wirkung der Gezeiten berücksichtigt bzw. entsprechend ausgenutzt³⁾.

Dr.-Ing. K. H. Friedmann.

Rohrgerüst-Rammen. Bei dieser Rammenart, die von Menck & Hambrock G. m. b. H., Altona, neu entwickelt worden und als gewöhnliche Ramme, Kran-Ramme oder Pfahlzieher und Kran verwendbar ist, besteht das Gerüst aus Stahlrohren St 55.29 (Ober- und Unterwagen aus St 52), die bei verhältnismäßig geringem Gewicht eine hohe Widerstandsfähigkeit aufweisen. Das Dreieckgerüst (Abb. 1) mit dreieckigem Querschnitt, auf dem sich eine Plattform für die Bedienungsmannschaft befindet, ist der Länge nach zweimal geteilt, und die drei Teile sind durch Schellen miteinander verbunden (Abb. 2). Die kastenförmige Führung des Bären, die ebenso wie das Rohrgerüst vollständig geschweißt ist, ist aus zwei Hälften zusammengeschrubbt, die am Kopfe und am Fuße des Gerüsts mit Führungen verschleppbar befestigt sind. Das Gerüst kann nach vorn bis 1:6 und nach rückwärts bis 1:2,5 geneigt werden, wobei das Verstellen durch eine Gewindestange mit Mutter in allseitig drehbarer Aufhängung und Seltenschiebung geschieht. Infolge des mechanischen Verschiebens des Fußes der Bärführung kann man auch Eckkrümmungen

³⁾ Studo pri fervojaj aferoj nr-o.1; ing. S. Kasai: Instalado de stangeframista fertrabo per ŝipo; Japana Esperantista Ligo Fervojista (JELF), Tokio, 20. Juni 1934.

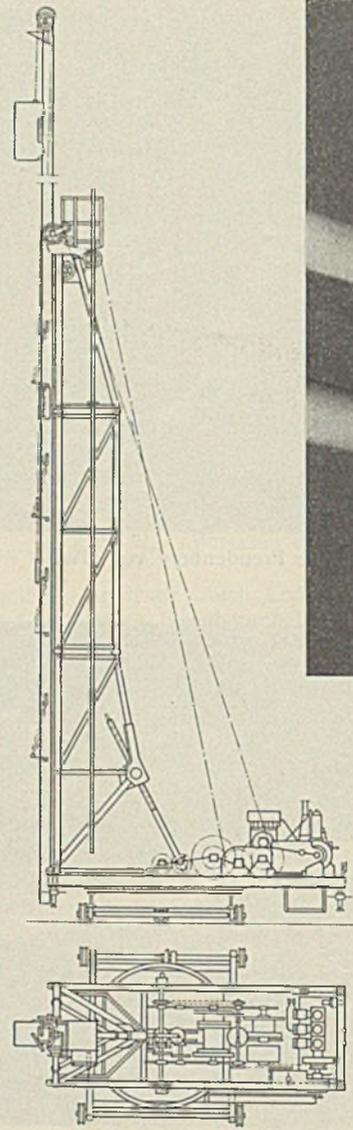


Abb. 1.
Motorramme mit einem Gerüst aus zusammengeschweißten Stahlrohren.

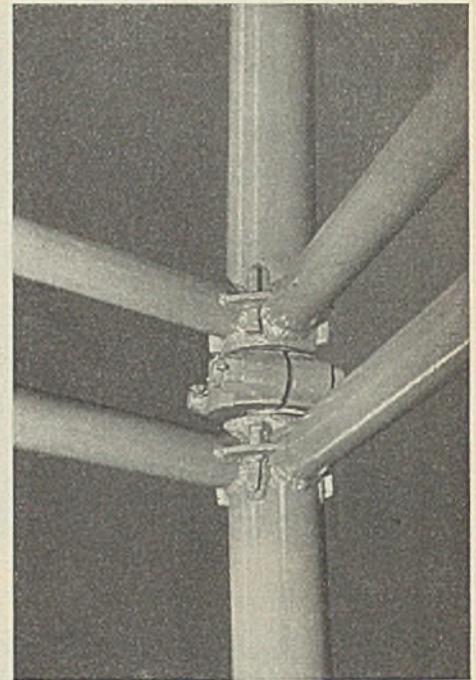


Abb. 2.
Verbindung der Hauptstreben zweier geschweißter Gerüstteile durch eine Rohrschelle.

ausführen. Außerdem läßt sich der Fuß der Bärführung quer von Hand hin und her verschieben, so daß auch in seitlichen Neigungen (bis 1:20) gerammt werden kann. Zum Vergrößern der Ausladung bei der Kran-Ramme werden Zwischenbrücken eingefügt. Ist aus irgendwelchen Gründen nicht die volle Höhe des Gerüsts nötig, so läßt man einen Teil des Gerüstaufbaues und der Bärführung weg.

Bei Antrieb der Ramme durch Dampf kann ein neuer Rammbar mit halb selbsttätiger Steuerung, ein Schnellschlagbar oder ein Freifallbar verwendet werden.

Wird die Ramme durch einen Dieselmotor angetrieben, so kommt ein Explosions- oder Freifallbar in Frage.

Die Hauptabmessungen der Ramme enthält die folgende Tabelle:

Fallgewicht des neuen Rammbarren (Fallhöhe 1,25 m)	800	1200	1800	2700	4000	6000	9000
Nutzhöhe	12,5	15	17,5	20,5	24	28	33
Freifallbar	1200	1650	2500	3700	5400	8000	11 500
Nutzhöhe	13,8	16,4	19	22	25,7	29,8	35
Schnellschlagbar	1200	1800	2700	4000	6000	9000	12 000
Nutzhöhe	14,1	16,7	19,1	22	25,4	29,4	34,3
Spurweite	2,5	2,95	3,4	3,9	4,5	5,15	5,95
Tragkraft als Kran	1400	2000	3200	4600	7000	10 000	15 000
Ausladung	7	8,3	9,65	11,25	13,2	15,4	18
Gewicht der gewöhnlichen Ramme mit dem neuen Rammbarren t	10,25	15,3	22,85	34	50	75	115

Für den Versand wird die Ramme in nur wenige Teile zerlegt. Der Oberwagen und das Rammgerüst ragen nicht über das Lademmaß (l) der D. R. hinaus. Das Gerüst wird vor der Ramme liegend zusammengebaut und durch einen kurzen Aufrichter, der am Gerüst angebracht ist und auch daran bleibt, und durch die Rammwinde dann aufgestellt.

INHALT: Umbau der Straßenbrücke über den Main bei Offenbach. — Über Spüßtrömmung. — Die Arbeiten der Reichswasserstraßenverwaltung im Jahre 1934. (Fortsetzung) — Vermischtes: Aufstellung einer Fachwerkbrücke in Westjapan. — Rohrgerüst-Rammen.