

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

**Band:** 2 (1936)

**Rubrik:** VIIb. Anwendung des Stahles im Wasserbau

### **Nutzungsbedingungen**

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

### **Conditions d'utilisation**

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

### **Terms of use**

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

**Download PDF:** 14.12.2025

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

## VII b

Anwendung des Stahles im Wasserbau.

Application de l'acier dans la construction hydraulique.

Application of steel in hydraulic construction.



Leere Seite  
Blank page  
Page vide

# VIIb

## Generalreferat.

### Rapport Général.

### General Report.

Dr. Ing. K. Klöppel,

Leiter der technisch-wissenschaftlichen Abteilung des Deutschen Stahlbau-Verbandes, Berlin.

In den letzten Jahrzehnten hat die Verwendung des Stahles im Wasserbau in einem solchen Maße zugenommen, daß es wohl gerechtfertigt ist, auch auf diesem Sondergebiet Rück- und Ausschau zu halten. Da der Stahlwasserbau mit dem allgemeinen Stahlbau vieles gemeinsam hat, lag es nahe, ihn im Rahmen dieses Kongresses mitzubehandeln.

In Ergänzung der Berichte und Diskussionsbeiträge, die den Leistungsstand des Stahlwasserbaues und die Gründe dieser Entwicklung an Hand ausgeführter Beispiele darlegen, sollen hier gemeinsame Werkstofffragen in zusammenfassender Form kurz erörtert werden.<sup>1</sup> Hierzu gehört vor allem das *Korrosionsproblem*, das von großer stoffwirtschaftlicher Bedeutung ist, ohne daß freilich die meist sachlich wenig begründeten, aber vielfach benutzten „Großzahlen“ über Rostverluste zu stimmen brauchen.<sup>2</sup>

Dem Bauingenieur, der sich des Stahles als Baustoff bedient, wird es in Zukunft nicht erspart bleiben, sich mit den grundsätzlichen Korrosionsfragen zu beschäftigen. Er hat im Rahmen der auf diesem Gebiet unerläßlichen Gemeinschaftsarbeit eine wichtige Aufgabe zu übernehmen.

Es soll gewiß nicht überschätzt werden, wenn die eingerichteten Berichte nur wenige Fälle starker Zerstörungserscheinungen erwähnen — insbesondere im Spundwandbau reicht die Erfahrungszeit für eine werkstofflich *erschöpfende* Beurteilung der Widerstandsfähigkeit des Stahles gegen Korrosion wohl noch nicht aus —; aber die bisherigen Feststellungen dürften doch günstig und ausreichend genug sein, um die früher oft zu hörenden allgemeinen Bedenken gegen

---

<sup>1</sup> Die vorgeschriebene Kürzung dieser Ausführung wurde durch Verzicht auf alle diejenigen Angaben erreicht, die als teilweise Wiederholungen der einschlägigen Berichte angesehen werden können.

<sup>2</sup> In Tageszeitungen und Fachzeitschriften ist häufig der jährliche Korrosionsverlust Deutschlands an Stahl und Eisen mit 2 Milliarden RM. angegeben. Die Größenordnung dieses Verlustes erweist sich schon deshalb als ganz unmöglich, weil die deutsche Gesamterzeugung an Stahl in dem guten Jahr 1929 nur 2 Milliarden RM. erreichte. Schaper kommt dagegen auf Grund einer näher begründeten Schätzung auf einen Wert von 120 Millionen RM. (Stahl und Eisen 1936, S. 1249) und Daeves schätzt demgegenüber den jährlichen Rostverlust Deutschlands an Walzwerkserzeugnissen für Stahlhoch- und Brückenbau, Schiffbau u. dgl. auf höchstens 18000 t, entsprechend 0,7 Millionen RM.

die Eignung des Stahles als Baustoff des Wasserbaues zu entkräften. Heute erstrecken sich selbst im Spundwandbau unsere Erfahrungen bereits über Zeiträume, die der verkehrswirtschaftlichen Lebensdauer unserer meisten Anlagen entsprechen.

Die Eigenart der Schwierigkeiten des Korrosionsproblems ist dadurch gekennzeichnet, daß wir nicht wissen, auf Grund welcher Gesetzmäßigkeit jeweils die zahlreichen und mannigfaltigen Zerstörungseinflüsse ihrer Wichtigkeit nach zu ordnen sind. Solange dieses Kriterium für Haupt- und Nebenumstände der Korrosionsvorgänge fehlt, werden wir immer Gefahr laufen, Einflüsse zu vernachlässigen, die allein in vermeintlich gleich gelagerten Fällen unterschiedliches Verhalten der Stahlkonstruktionen erklären können. Daraus ist vor allem die Lehre zu ziehen, daß bei praktischen Beobachtungen möglichst viele Einzelangaben zur Kennzeichnung des Sachverhaltes gefordert werden müssen. Hierbei sind auch solche unterschiedlichen Merkmale der einzelnen Beobachtungsfälle zu berücksichtigen, die nach unseren heutigen Erkenntnissen anscheinend kaum etwas mit den Zerstörungsvorgängen zu tun haben. Verdanken wir doch bedeutende Erkenntnisse der Korrosionsforschung (z. B. die Kupferung von Stählen) mehr zufälligen Beobachtungen als planmäßigen Untersuchungen. Der Fortschritt erfordert deshalb die Beteiligung vieler technischer Kreise, die unterschiedliche Möglichkeiten haben, Korrosionserscheinungen zu beobachten. Auf das Sammeln und Auswerten von Erfahrungen und Beobachtungen ist die Korrosionsforschung auch deshalb in stärkerem Maße als andere Gebiete angewiesen, weil die an sich unentbehrlichen „Kurzversuche“ zur Beurteilung etwa eines Anstrichmittels oder einer Stahlsorte bekanntlich von sehr zweifelhaftem Wert sein können. Die zeitliche Zusammendrängung des Korrosionsvorganges ist nur durch Verstärkung des Angriffsmittels, Erhöhung der Temperatur und der Bewegungsgeschwindigkeit des Probekörpers erreichbar. In welchem geringem Maße Ergebnisse solcher Laboratoriumsversuche für praktische Verallgemeinerungen geeignet sein können, beweist schon die bekannte Tatsache, daß sich ganz verschiedene Reihenfolgen der Bewertungsziffern für die Korrosionsbeständigkeit der einzelnen Metalle ergeben, je nachdem in welcher Säure diese geprüft werden.

Die Korrosion wird auf unserem Fachgebiet in erster Linie durch Weiterentwicklung der Schutzanstriche und schwachrostender Stähle bekämpft. Von den Metallisierungsverfahren kann abgesehen werden, da sie im Stahlwasserbau keine Bedeutung erlangt haben.

An die Unterwasseranstriche, die mechanischen und chemischen, sowie pflanzlichen und tierischen Einwirkungen ausgesetzt sind, werden bekanntlich viele z. T. sich widersprechende Anforderungen gestellt. Infolgedessen kann es kein Anstrichmittel geben, das für alle Bedarfsfälle gleich zuverlässig ist. Umsomehr ist es notwendig, durch zahlreiche Beobachtungen an ausgeführten Bauwerken festzustellen, welche Gesichtspunkte bei der Wahl des Anstrichmittels übergeordnete Bedeutung haben. In allen Ländern wird eine befriedigende Beurteilungsgrundlage vermißt. In letzter Zeit sind zur Behebung dieses Mangels Gemeinschaftsarbeiten großen Stiles (Korrosionstagungen und großzügige Naturversuche des Ausschusses für Anstrichtechnik im VDI) eingeleitet worden, die einen wesentlichen Fortschritt erhoffen lassen.

Stahlwasserbauten erhalten am besten Deckanstriche auf Bitumen- und Steinkohlenteerbasis.<sup>3</sup> Im Meerwasser wird Heianstrich (Bitumen ohne Lösungsmittel, auch „Guanstrich“ genannt), im Süßwasser Kaltanstrich mit in Benzolkohlenwasserstoffen aufgelösten Bitumen angewandt. Als Grundanstrich wird nach wie vor trotz der Quellgefahr ihres Leinles Bleimennige bevorzugt. Bei Heianstrichen hält man jedoch den Bleimennigegrundanstrich vielfach für entbehrlich. Die Bleimennige muß, um durch das Benzol des nachfolgenden Bitumenanstriches nicht mehr aufgelöst zu werden, gut durchgehärtet sein, wozu 2—5 Wochen erforderlich sind. Dadurch ergeben sich für Montagen und Unterhaltung von Stahlwasserbauten große Schwierigkeiten, die zur Entwicklung einer schnell und auch unter ungünstigen Witterungsverhältnissen trocknenden Bleimennige geführt haben.<sup>4</sup> Es scheint sogar gelungen zu sein, durch Verwendung besonderer lharzkombinationen eine Sondernennige herzustellen, die schon nach einigen Stunden ausreichend durchgehärtet und gegen benzolgelstes Bitumen unempfindlich ist.<sup>5</sup> Können als Lösungsmittel von Bitumen Benzinkohlenwasserstoffe verwendet werden, so läßt sich die Trocknungszeit für die Bleimennige ebenfalls wesentlich verkürzen. Neue Versuche mit Anstrichen auf *Chlorkautschuk-Basis*, die auch keine so große Lichtempfindlichkeit wie bituminöse Anstriche aufweisen, lassen eine gute Bewährung dieses Schutzmittels erwarten, insbesondere auch hinsichtlich der im Wasserbau nicht unwesentlichen Verschleißfestigkeit.<sup>6</sup>

Schwachrostende Sthle sind vor allem durch *Kupferzusatz* (bis 0,3 %) erzeugt worden.<sup>7</sup> Die Erhöhung des Korrosionswiderstandes äußert sich aber nur bei atmosphärischen Angriffen und nicht bei dauernder Einwirkung von Wasser. Gekupfter Stahl rostet zunächst wie gewöhnlicher. Es tritt dann aber allmählich an der Oberfläche eine Anreicherung von Kupfer oder Kupferoxyd auf, das mit dem Rost eine dichte und festhaftende, die weitere Zerstörung stark verzögernde Schutzschicht bildet. Bei stndiger Befeuchtung wird jedoch diese Eisenoxydschicht schwammig und verliert dadurch ihre Schutzwirkung. Daraus erklären sich manche Mißerfolge mit gekupferten Sthlen im Wasserbau.

Die Weiterentwicklung ging dahin, auch noch andere Legierungsbestandteile zur Erhöhung des Korrosionswiderstandes heranzuziehen. Es zeigte sich, daß z. B. ein verhältnismäßig hoher *Phosphorgehalt*, wie er fast allen Schweißeisen-sorten eigentümlich war, zusammen mit dem Kupfergehalt dazu führt, daß die Schutzschicht sehr dicht wird und sich auch sehr schnell bildet.<sup>8</sup> Die Überlegenheit neuerer schwachrostender Sthle ist auf diese Erkenntnis zurückzuführen. Solche Erforschungen günstiger Legierungsverhltnisse für Kupfer mit Phosphor und auch Aluminium, Chrom oder Nickel lassen die Erzeugung eines wirtschaftlichen Sthles auch mit ausreichender Korrosionsbeständigkeit im Wasser erhoffen. Daß im übrigen natürlich auch die Zusammensetzung der

<sup>3</sup> Kindscher: „Stahlbau“ 1935, H. 5 und 6. S. 161.

<sup>4</sup> E. Meier: „Bautechnik“ 1934, S. 577.

<sup>5</sup> E. Meier: Industrie-Lackier-Betrieb 1935, S. 1—6.

<sup>6</sup> Kappler: Z.V.D.I. 1936, Nr. 7, S. 183. — Ball: „Der Rhein“ 1935, Nr. 2, S. 39.

<sup>7</sup> O. Carius und Schulz: Mitteilungen aus dem Forschungsinstitut der Vereinigten Stahlwerke Dortmund 1928—1936, S. 177.

<sup>8</sup> K. Daeves: „Naturwissenschaften“ 23 (1935), 38, S. 653; derselbe: Mitteilungen der Kohle- und Eisenforschung GmbH. 1935, S. 18b.

aggressiven Flüssigkeit auf die Widerstandsfähigkeit unterschiedlicher Stahlsorten von Einfluß ist, geht schon daraus hervor, daß der Kupfergehalt die Korrosionsbeständigkeit des Stahles in verdünnter Schwefelsäure erhöht, im reinen Wasser dagegen nicht. Bei Anwesenheit von Nitrose soll sich die Kupferung sogar nachteilig erwiesen haben.<sup>9</sup>

In künstlichem Seewasser von *Eisenstecken* und *Kesting*<sup>10</sup> durchgeführte Wechselltauchversuche haben auch die starke Abhängigkeit der Korrosion des Stahles von Versuchszeit und Eintauchdauer erwiesen und damit zugleich zur Klärung der in der Praxis sattem bekannten Zerstörungserscheinungen in den Wechselzonen von Luft und Wasser beigetragen. Die in Fig. 1 dargestellte

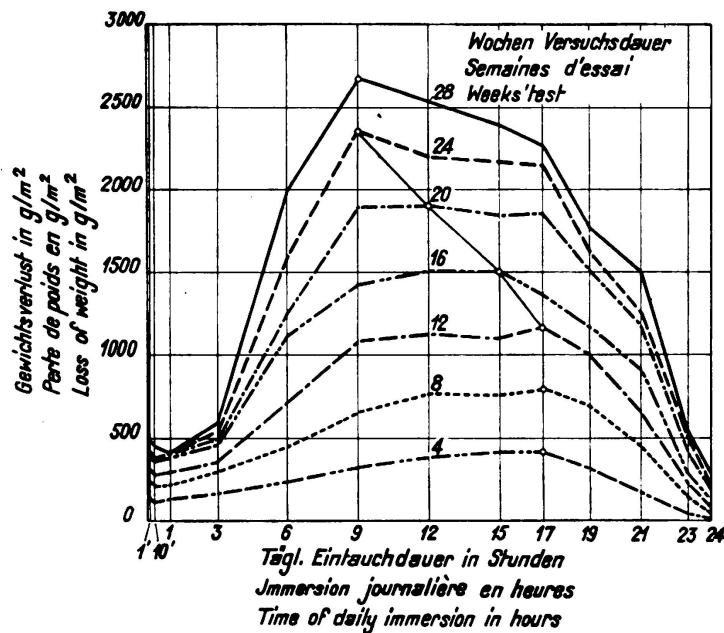


Fig. 1.

Wechselbenetzung eines weichen Kohlenstoffstahles  
durch Seewasser.

Wasserwechsel nach je 4 Wochen.

je Tag und nach 28 Wochen sogar bei 9 Stunden je Tag der Fall ist. Diese Verschiebung des Höchstwertes mit steigender Versuchszeit nach der Seite der kürzeren Eintauchdauer hin, wird sich aus der fortschreitenden Wasserhaltigkeit der Rostschicht erklären. Auch hieraus geht hervor, daß Wechselltauchversuche, die häufig im Laboratorium durchgeführt werden, nur mit äußerster Vorsicht als Vergleichsgrundlage für die Korrosionsbeständigkeit verschiedener Stahlsorten und Schutzmittel herangezogen werden dürfen. Zugleich erkennt man an diesen Ergebnissen aber auch, daß die Widerstandsfähigkeit eines und desselben Stahles im ungeschützten Zustand (z. B. als Spundwände) je nach den vorliegenden Verhältnissen sehr unterschiedlich sein kann.

Auch bei gestrichenen Stahlteilen wirken sich metallurgische Maßnahmen zur Erhöhung des Korrosionswiderstandes günstig aus. Erklärt wird dieses er-

Versuchsreihe erstreckte sich auf 28 Wochen. Das Wasser wurde jeweils nach 4 Wochen gewechselt. Geprüft wurden kleine Bleche aus weichem Kohlenstoffstahl mit 0,08 % Cu. Nach je 4 Wochen ergibt sich eine Kurve. Erst mit zunehmender Eintauchdauer und Versuchszeit von etwa 6 bis 7 h beginnt eine starke Zerstörung der Proben. Nach der Dauertauchung zu verringern sich die Gewichtsverluste wieder beträchtlich. Der Einfluß der Versuchszeit äußert sich darin, daß nach 4, 8 und 12 Wochen der stärkste Angriff bei einer Eintauchdauer von 17 Stunden liegt, während dies nach 16 Wochen bei 15 Stunden

<sup>9</sup> Büttner: Bücher der Anstrichtechnik 1936, 1. Buch, V.D.I.-Verlag 1936, S. 28.

<sup>10</sup> Bericht über die Korrosionstagung 1935, V.D.I.-Verlag, S. 48.

freuliche durch Versuche von *Daeves*<sup>11</sup> erwiesene Ergebnis damit, daß an punktartig schwachen Stellen des Anstriches, die selbst bei dessen bester Herstellung später einmal in Erscheinung treten, die fortschreitende Rostbildung verhindert wird, indem die nach kurzer Zeit sich vom Stahl abscheidende dünne Kupferschicht die Fehlstellen gleichsam abriegelt.

Da die Erneuerung und Ausbesserung der Anstriche im Stahlwasserbau besonders zeitraubend und kostspielig ist, gilt hier im erhöhten Maße, daß es unwirtschaftlich wäre, besonders widerstandsfähige Anstrichmittel ihres hohen Preises wegen nicht zu verwenden, denn die Anstrichmittel sind an den Gesamtkosten mit nur etwa einem Fünftel beteiligt.<sup>12</sup> Die Verteuerung der Anstrichmittel darf also ein Mehrfaches der dadurch erreichbaren Verlängerung der Lebensdauer des Anstriches betragen.

Die Vorbehandlung der Stahloberfläche als Anstrichuntergrund ist erfahrungsgemäß von entscheidendem Einfluß auf die Lebensdauer des Anstriches. Es ist selbstverständlich, daß alle verdächtigen Stellen der Walzhaut, insbesondere Zunder und Rost, beseitigt werden müssen und auch hier nicht an Kosten gespart werden darf. Es verdient aber Beachtung, daß andererseits eine dichte Walzhaut auch einen sehr guten natürlichen Rostschutz bilden kann. Bei der Weiterentwicklung schwachrostender Stähle, insbesondere wenn diese im Spundwasserbau ohne Anstriche verwendet werden oder in sehr langen Zeitabständen einen Anstrich erhalten, sollte man der systematischen Erzeugung einer dichten und zuverlässigen Walzhaut große Aufmerksamkeit widmen. Ziemlich reines Eisen (z. B. Armcoeisen) bildet eine sehr gleichmäßige Oberfläche, die einen ausgezeichneten Anstrichuntergrund liefert. Außer solchen metallurgisch bedingten Einflüssen werden vielleicht auch Temperatur und Art des Walzvorganges bei der Entwicklung einer zuverlässigen Walzhaut eine Rolle spielen können. Die Erfolge, die man an kleinen Stahlteilen durch Phosphatierung der Oberfläche erzielt hat, ermutigen ebenfalls zur Beschreitung dieses Weges. Daß eine Walzhaut ein sehr zuverlässiger Rostschutz sein kann, lehren manche günstigen Erfahrungen. Beispielsweise berichtet *Hoffmann*<sup>13</sup> über den guten Zustand des Anstriches der abgebrochenen Nordelbebrücke in Hamburg. Die Bleimennige haftete hier Jahrzehnte so fest an ihrem Untergrund, der als „bläulicher Glühspan“ bezeichnet wird, daß ihre Loslösung nicht gelang. Daß diese Stahlteile gebeizt waren, ist nicht anzunehmen. Schwierig ist allerdings die zuverlässige Unterscheidung der rostverhindernden Walzhaut von Zunder und Rostschichten. Aus diesem Grund und auch durch das Aufkommen des Sandstrahlgebläses neigt man allgemein dazu, die Walzhaut ganz und gar zu beseitigen. Unbeschadet dessen sollte man nicht versäumen, der Entwicklung der Walzhaut als natürliches Rostschutzmittel weiterhin Beachtung zu schenken. Im übrigen ist bei den gesandeten Stahlteilen auch meist die Übergangszone der Oxydschicht nicht beseitigt,<sup>12</sup> so daß keine metallisch reine Oberfläche erzielt wird, die bekanntlich besonders korrosionsempfindlich ist und daher schnelles Streichen oder andere nicht immer sehr glückliche Maßnahmen zur Verhinderung des Rostes erfordert.

<sup>11</sup> *Daeves*: „Farbe und Lack“ 1931, H. 21, S. 242.

<sup>12</sup> *Klöppel*: „Unterhaltungskosten von Stahlbauwerken“, Verlag Noske, Leipzig.

<sup>13</sup> Dissertation T. H., Hannover 1921.

Die Weiterentwicklung unserer Baustähle zwecks Erhöhung ihrer zulässigen Beanspruchungen hat im Gegensatz zum Großenbrückenbau für den beweglichen Stahlwasserbau, der kleine Spannweiten überwindet, nur untergeordnete Bedeutung. Es ist in vielen Fällen sogar erwünscht, der dynamischen Wirkung des Wassers eine größere Stahlmasse entgegenzusetzen; so erklärt es sich, daß der *hochwertige Stahl* im Wasserbau nur in Ausnahmefällen angewandt wurde. Auch bei Spundwänden wird nach Mitteilung von Professor *Agatz* der Normalbaustahl möglichst bevorzugt, weil eine gleichdicke Abrostungsschicht das massigere Profil aus Normalstahl weniger schwächt als dasjenige aus hochwertigem Stahl, ferner weil ein größeres Trägheitsmoment sowohl eine geringere Ausbiegung der Spundwand ergibt als auch die Geradföhrung der Bohlen beim Rammen erleichtern kann. Eine größere Festigkeit ist aber bei Überwindung großer Eindringungswiderstände unentbehrlich und auch dort am Platze, wo mit starkem Oberflächenverschleiß zu rechnen ist.

Die *werkstofflichen Abnahmebedingungen* für Spundwände und allgemeinen Stahlbau sind meist die gleichen. Inwieweit diese Übereinstimmung im Hinblick auf recht unterschiedliche Beanspruchungsverhältnisse gerechtfertigt ist, läßt sich schwer sagen. Aus den Erfahrungen folgt wohl, daß die bisherigen Güteanforderungen kein Fehlgriff gewesen sind, womit aber nicht gesagt ist, daß andere Prüfwerte der Stähle, deren Eignung für Spundwände nicht besser kennzeichnen könnten. Deshalb sollte man sich nicht so schwer von den bisherigen Abnahmebedingungen trennen, wenn ihre Einhaltung die Weiterentwicklung der Spundwandstähle erschweren sollte.

Die *Schweißtechnik* bietet auch im Stahlwasserbau große Vorteile, wie sich insbesondere bei den beweglichen Stahlwasserbauten für den Albert-Kanal in Belgien gezeigt hat. Der monolithische Charakter geschweißter Stahltragwerke verbürgt auch meist gegenüber den schwereren genieteten Ausführung eine größere Steifigkeit, die vor allem plattenförmigen Körpern, wie sie als Schleusentore im Stahlwasserbau verwendet werden, sehr zugute kommt. Die größere Wasserdichtigkeit und der bequemere Unterhalt fugen- und spaltloser Konstruktionen sind von großem Vorteil, ebenso die wesentlich vereinfachte Konstruktion verdrehungssteifer Tragwerke, die im Stahlwasserbau eine bedeutende Rolle spielen.

Für den Stahlbauingenieur verursachen die Ermittlung der angreifenden Druck- und Sogkräfte des Wassers und die vorbeugenden Maßnahmen gegen Schwingungswirkungen zusätzliche Schwierigkeiten. Zur Lösung dieser von Ministerialrat *Burkowitz* durch Beispiele geschilderten Vorgänge sind strömungsphysikalische Kenntnisse erforderlich, die im theoretischen Wasserbau erworben werden können. Im Interesse des Stahlwasserbaues und insbesondere seines tüchtigen Ingenieur Nachwuchses kann sich eine entsprechende Zusammenarbeit zwischen Stahlbau- und Wasserbau-Lehrstuhl an den Technischen Hochschulen empfehlen.



## VIIb 1

### Stahlwasserbau und Modellversuche.

Constructions hydrauliques en acier et essais sur modèles.

Steel in Hydraulic Engineering, and Model Experiments.

Dr. Ing. e. h. Th. Becher,

Direktor der M.A.N., Werk Gustavsburg.

Im Referat von Herrn Ministerialrat *Burkowitz* wie auch in allen Diskussionsbeiträgen zum Thema „Stahl im Wasserbau — Bewegliche Anlagen“ ist von den hydrodynamischen Wirkungen, von Schwingungserscheinungen u. ä. die Rede. Ich möchte deshalb den Abschnitt herausgreifen, der sich mit der Gestaltung von Stahlwasserbauten auf Grund von Modellversuchen zur Erforschung der hydrodynamischen Einwirkungen befaßt.

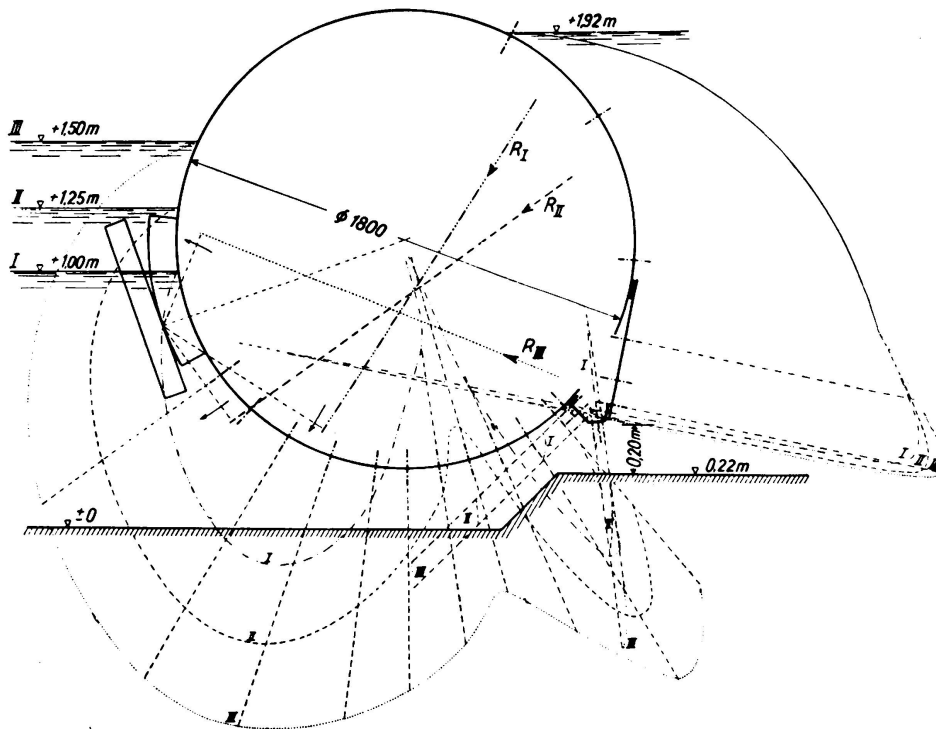


Fig. 1.

Man kam zu einem Studium dieser Erscheinungen zuerst durch das Auftreten gewisser Kinderkrankheiten, die durch nachträgliche Modellversuche geklärt werden mußten. Das zweite Stadium war dann, daß man für die nach normalen Grundsätzen entworfenen Konstruktionen die auftretenden Kräfte zur



Dimensionierung des Verschlusskörpers und der Huborgane durch Modellversuche ermittelte. Daraus entwickelte sich dann schnell die nächste Stufe, daß man mit dem Modellversuch Formen zu entwickeln suchte, die möglichst günstige hydrodynamische Wirkungen haben. Ich möchte Ihnen dies an einigen Beispielen erläutern:

Unter den ersten Walzenwehren befanden sich einige, die nur aus dem Tragzylinder und einem ganz geringen Ansatz für den Sohlenbalken bestanden. Eine

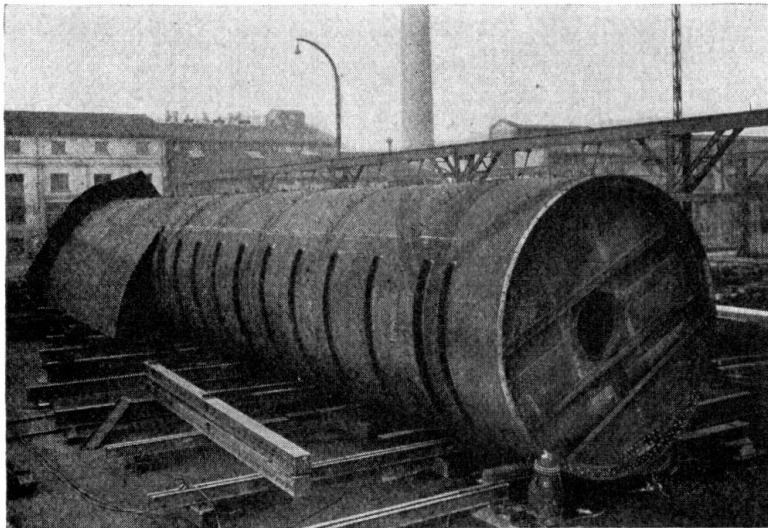


Fig. 2.

von diesen geriet eines Tages in eine lebhaft hüpfende Bewegung, durch die es schließlich zu einer Zerstörung des ganzen Windenhauses und zum Ausspringen der Walze aus ihren Führungen kam. Da man sich diese Erscheinung, abgesehen von einem groben Betriebsfehler, nichtrecht zu erklären vermochte, wurden Modellversuche angestellt (Fig. 1). Diese ergaben, daß durch eine derartige Form der Walze

und der Wehrschwelle der Schußstrahl in heftig wechselnde Druckbedingungen gerät und daher auf die Walze wechselnd Druck- und Saugwirkungen ausübt. in der Folge wurden deshalb alle Walzen mit einem größeren Schnabelansatz ausgeführt (Fig. 2). Auch wurde auf dem Versuchswege das günstigste Verhältnis des Walzendurchmessers bzw. der Schnabelhöhe ermittelt.

An den Doppelschützen einer großen Wehranlage war für die Oberschützen eine Abdeckung vorgesehen, über die der Überfallstrahl bei abgesenkter Ober- tafel hinwegschießt. Die Abdeckung (Fig. 3) bestand, wie die Figur links zeigt, aus einer gradlinigen, nach Unterwasser zu geneigten Holzwand. Nach jedem

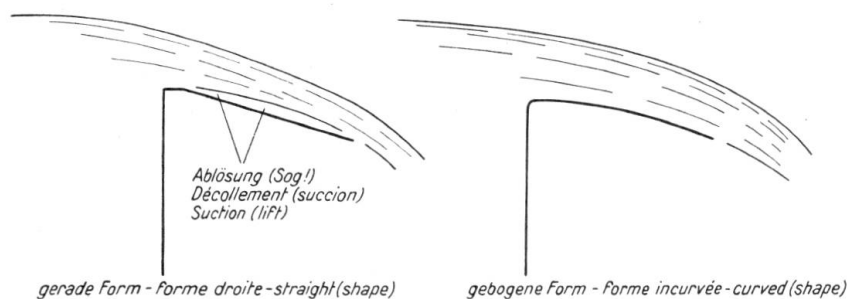


Fig. 3.

Hochwasser waren diese Überfallwände teilweise zerstört und mußten erneuert werden. Die Holz- wand wurde durch eine eiserne ersetzt. Vor deren Herstel- lung wurden jedoch Versuche im Maß-

stab 1:5 über die Formung der Bleche gemacht und eine gekrümmte Form ermittelt, wie sie rechts zu erkennen ist. Die ursprüngliche schräge Form zeigte nämlich einen ganz unregelmäßigen Druckverlauf und zahlreiche Sogstellen. Beides jedoch, Unregelmäßigkeiten im Druckverlauf und Sogwirkungen, ist im

Wehrbau äußerst unangenehm und kann Anlaß zu Schwingungen und Zerstörungen geben. Der gefundene, endgültige Überfallrückens dagegen zeigt einen harmonischen Druckverlauf und keinerlei Sogstellen. Gleichzeitig aber zeigten sich bei den neuen Überfallrückens zwei weitere bedeutsame Verbesserungen. Die

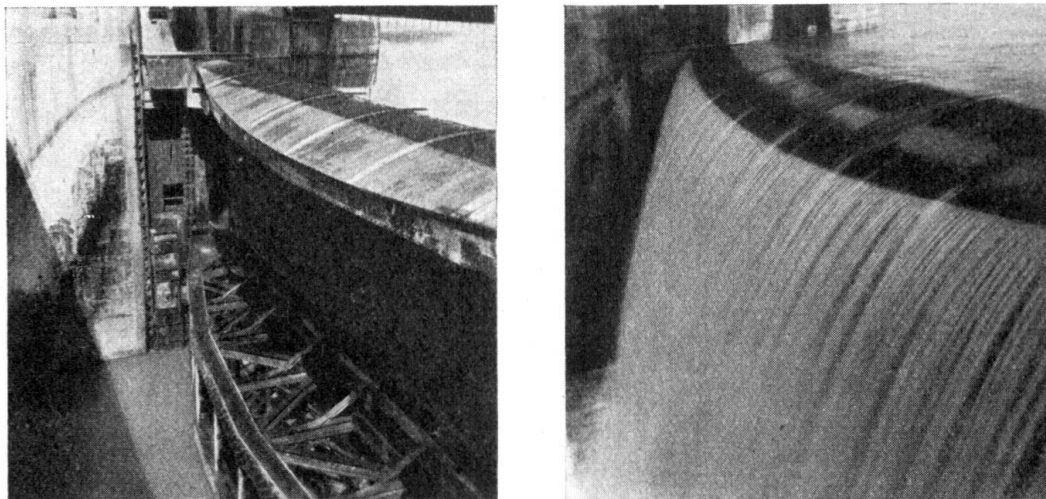


Fig. 4.

Wasserauflast auf die Überfallwand ging von 82 t (alte Form) auf 38 t (neue Form) zurück, wodurch eine Verkleinerung der Hubkraft eintritt. Die Überfalleistung dagegen steigt um 20 %. Man kann also mit Hilfe eines hydraulisch gut geformten Überfallrückens an Wehrlänge einsparen. Fig. 4 zeigt die konstruktive Durchbildung einer der M.A.N.-Hackenschützen von Ryburg-Schwörstadt mit dem Überfallrückens der oberen Schütze. Diese Schützen gestatten bei 12,5 m Gesamthöhe eine Absenkung der Oberschützen um 4,5 m. Sie müssen also sehr sorgfältig gerade auf dynamische Wirkung untersucht werden.

Ein anderes Problem waren Schwingungen von Schützen bei Unterströmung mit geringer Spaltöffnung an der Sohle, die mit dem Größerwerden der Stauhöhen gelegentlich zu Störungen führten. Untersuchungen zeigten bald, daß die Gestaltung des Sohlen-

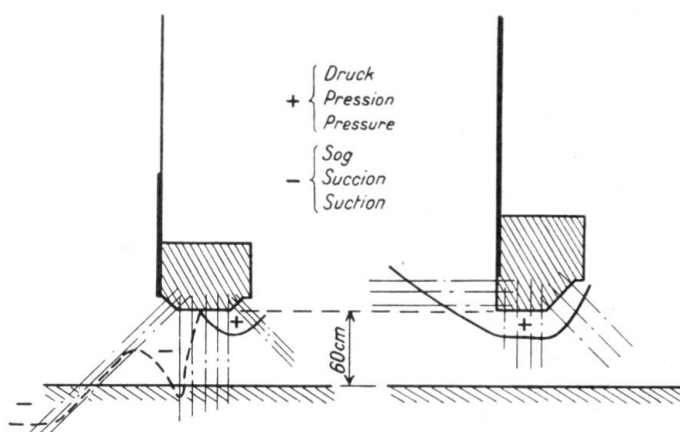


Fig. 5.

holzbalkens die Ursache dieser Schwingungen bildet und man diesem Übel durch entsprechende Ausbildung abhelfen kann (Fig. 5). Auch hier kommt es darauf an, eine positive und stabile Drucklinie zu erhalten.

Bei anderen Wehren wieder, und zwar sowohl Schützen wie Klappen treten Schwingungen bei Überströmungen auf, besonders bei geringer Überfallhöhe. Zunächst wurde auf dem Versuchswege eine ausreichende Belüftung des Raumes

zwischen Schütze und Überfallstrahl sichergestellt. Das half jedoch nicht immer. Es zeigte sich, daß der dünne, zusammenhängende, überfallende Strahl gegen jeden Impuls sehr empfindlich ist, und daher schon an sich zu Schwingungen neigt. Die Versuche zeigten aber weiterhin, daß diese Empfindlichkeit des Wasserstrahles nachläßt, wenn man seinen Zusammenhang auf die ganze Länge

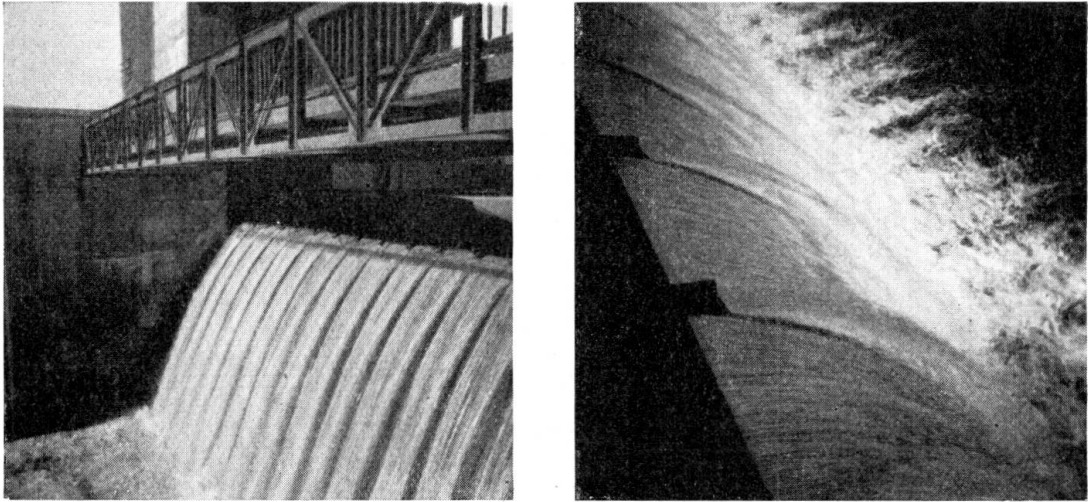


Fig. 6.

stört, also den Strahl gewissermaßen wellt oder zerschneidet (Fig. 6). Das wurde dann durch Anbringen von schwalbenschwanzförmigen Blechstreifen an der Überfallkante des Wehrkörpers bewirkt. An der Figur sieht man den Überfall-

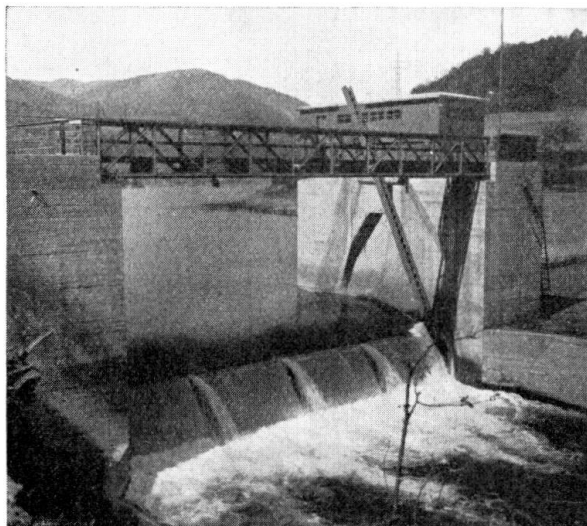


Fig. 7.

strahl einer Schütze nach Einbau des Strahlzerschneiders oder Strahlstörers.

Auch bei den M.A.N.-Fischbauchklappen, deren Hauptmerkmal der einseitige Antrieb ist (Fig. 7) sind solche Strahlstörer eingebaut. Das Beispiel zeigt die Klappe der Wehranlage Heimbach von  $18,0 \times 4,0$  m.

Bei Klappenwehren zeigte sich außerdem, daß beim Ansteigen des Unterwassers bei umgelegter Klappe wechselnde Kräfte auf die Klappe in ihrer tiefsten Lage ausgeübt werden und diese dabei leicht zu Schwingungen angeregt wird. Es kam also darauf an, den Klappenkörper so zu formen, daß in allen Fällen durch

Eigengewicht und Wasserauflast ein positives Moment — also im Sinne des Umlegens — auf den Wehrkörper ausgeübt wird. Dadurch wird dieser dann festgehalten (Fig. 8). Auf dem Schaubild zeigt die von links nach rechts unten verlaufende Kurve das Drehmoment aus Wasserdruck in den verschiedenen Klappenlagen. Der kleine unter der Abscisse liegende negative Teil wird durch

das stets im positiven Sinne wirkende Eigengewichtsmoment ohne weiteres ausgeglichen. Die Aufgabe war nur durch zahlreiche Druckmessungen im Versuchsstand zu lösen. Ja, es ist sogar notwendig, wenn man exakt arbeiten will, für jedes neue Wehr auch neue Versuche zu machen, da die Form des festen Wehrkörpers, die Form des Sturzbettes, die Höhe des Unterwassers und die mögliche Überströmungshöhe ja jedesmal andere sind und das Ergebnis beeinflussen. Durch diese Versuche wird auch jeweils das durch den Klappenkörper zu übertragende Drehmoment aus dem Wasserdruck, sowie die erforderliche Hubkraft des Windwerkes genau bestimmt. Auch eine Eichung der Anlage wird dabei meist vorgenommen, d. h. die in jeder Lage des Verschlusses abfließende Wassermenge gemessen.

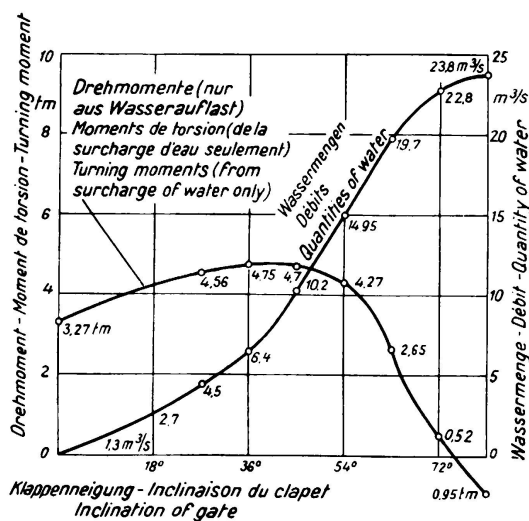


Fig. 8.

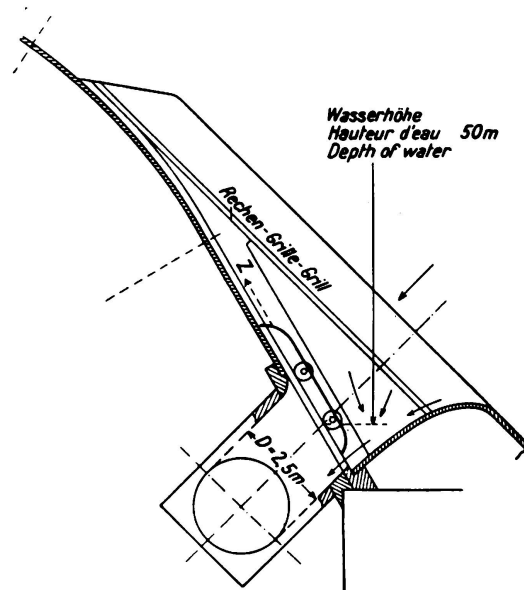


Fig. 9.

Eine besonders schwierige Aufgabe ist die Gestaltung von Tiefschützen (Fig. 9). Hier hat die M.A.N. mit Hilfe ihres Laboratoriums in den letzten Jahren erfolgreich neue Lösungen ermöglicht. Dabei mußte auch schon im Laboratorium mit recht erheblichen Drücken gearbeitet werden, damit eine Übertragung auf die Wirklichkeit möglich ist. Dieses Bild (Fig. 10) zeigt Ihnen die Tiefschütze der Odertalsperre im Harz, die rd. 50 m Wasserdruck ausgesetzt ist. Da diese Schütze unter vollem Wasserdruck durch ihr eigenes Gewicht in die Schließlage gehen soll, waren sehr umfangreiche Versuche über die Formung sowohl der Schütze wie auch des Gesamtbauwerks notwendig.

Gerade der Kampf gegen die Schwingungen, die Berücksichtigung der Wirkungen des bewegten Wassers, hat aber auch noch andere Einflüsse auf die Konstruktion. Nicht nur die äußere Gestaltung, sondern auch die Dimensionierung muß darauf Rücksicht nehmen. Man sollte dem fließenden Wasser stets eine gewisse Masse entgegensetzen. Ich halte es deshalb für bedenklich, die bewegten Massen der Wehrverschlüsse durch besonders ausgeklügelte Konstruktionen oder durch Verwendung besonders hochwertigen Materials herabzudrücken. Selbst eine preisliche Minderaufwendung sollte dazu nicht verleiten, ebensowenig wie die Ersparnis an Kraftstrom bei der Bewegung der Ver-



schlüsse. Gerade das Letztere ist bei den selten bewegten *Wehranlagen* ohne jede Bedeutung, während das auch bezüglich der Massen Gesagte für Schleusen und Hebewerke keine oder geringere Gültigkeit hat. Die Wahl von St. 52 er-

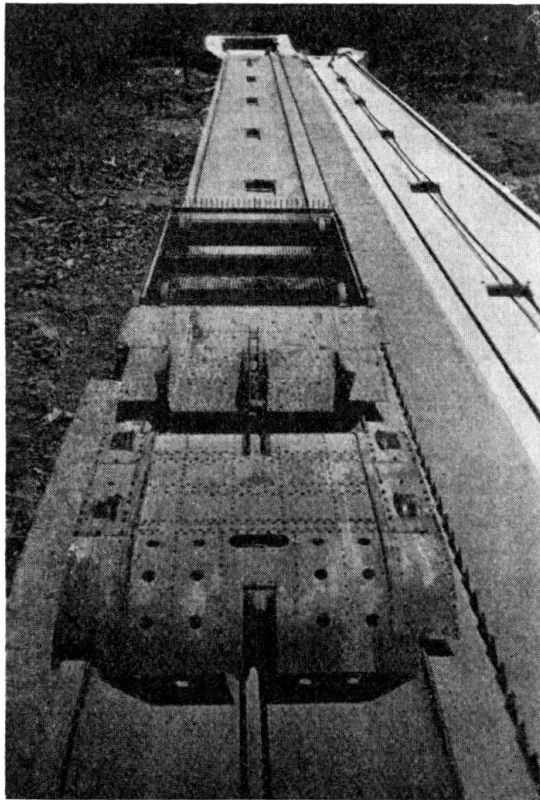


Fig. 10.

scheint nicht sehr geeignet im Wehrbau, obgleich gelegentlich zwingende Gründe dazu vorliegen können. Denn die Elastizität und damit die Neigung zu Schwingungen wird bei Bauwerken mit diesem Material größer. Die zulässigen Beanspruchungen sollten auch mit Rücksicht auf Corrosion nicht so hoch gewählt werden wie im übrigen Stahlbau, man sollte z. B. im Stahlwasserbau St. 37 nicht über 1200 kg/qcm beanspruchen.

Als Abschluß möchte ich zum weiteren Beweis der Größe, die die Bauwerke des Stahlwasserbaues annehmen können, einige Bilder aus der Werkstatt und von fertigen Wehranlagen zeigen. Von den zahlreichen großen Wehren der Main- und Neckarkanalisation zwei Beispiele: Zuerst eine Schütze mit Dreigurtragssystem und aufgesetzter Fischbauchklappe für die Anlage Faulbach in Main während des Zusammenbaues (Fig. 11).

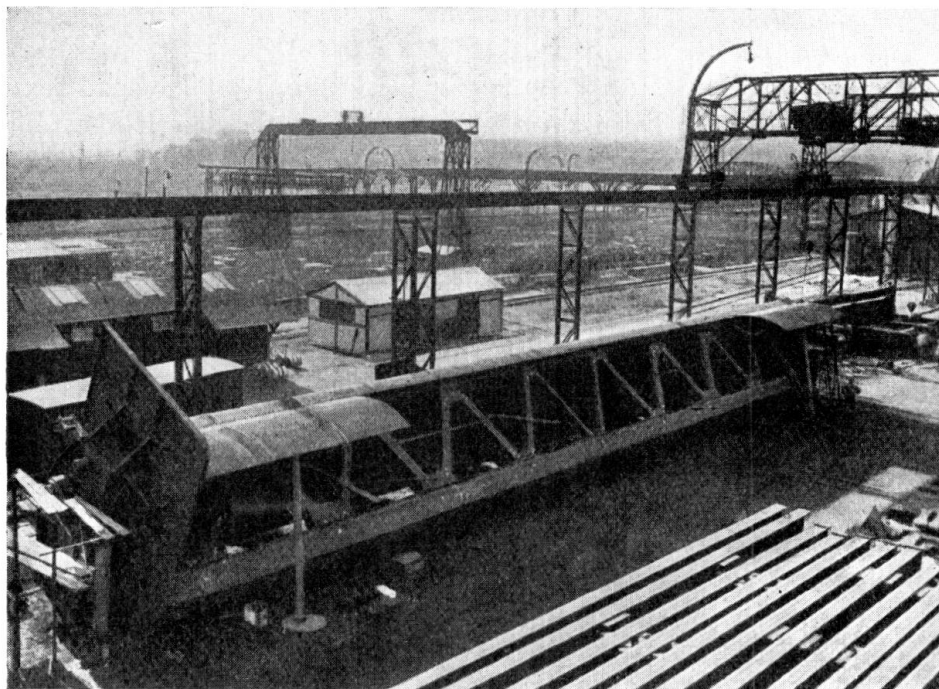


Fig. 11.

Die Schütze hat 35,0 m Lichtweite und 6,7 m Gesamthöhe, wovon 1,60 m auf die Klappe entfallen. Von den Nekarwehren ist besonders die Anlage Heidelberg (Fig. 12) erwähnenswert, sowohl wegen der schönen hier so wichtigen Gesamtgestaltung im Stadtbild, wie auch wegen ihrer Abmessungen. Die drei Heidelberger Walzen haben bei nur 4,10 m Verschlußhöhe 40,0 m Lichtweite und sind um 0,60 m absenkbar.

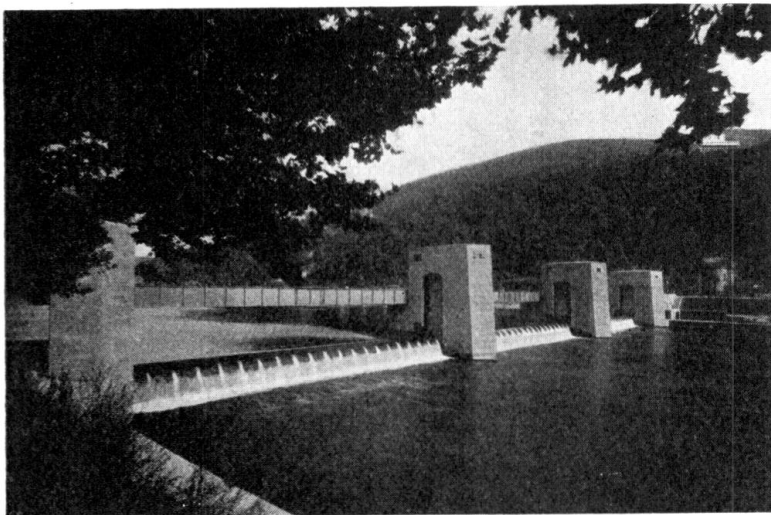


Fig. 12.

Als Beispiel eines Walzenwehres in aufgelöster Konstruktion zeige ich Ihnen die Wehranlage Solbergfoos in Norwegen (Fig. 13). Zuerst eine der drei Walzen im Werk beim Zusammenbau. Die aufgelöste Bauweise ist bei Walzenwehren wirtschaftlich, wenn größere Stauhöhen erreicht werden sollen, bei für Walzen geringen Lichtweiten. So hat die Anlage Solbergfoos drei Walzen von je 20,0 m Lichtweite und 8,75 m Verschlußhöhe (Fig. 14).

weise ist bei Walzenwehren wirtschaftlich, wenn größere Stauhöhen erreicht werden sollen, bei für Walzen geringen Lichtweiten. So hat die Anlage Solbergfoos drei Walzen von je 20,0 m Lichtweite und 8,75 m Verschlußhöhe (Fig. 14).

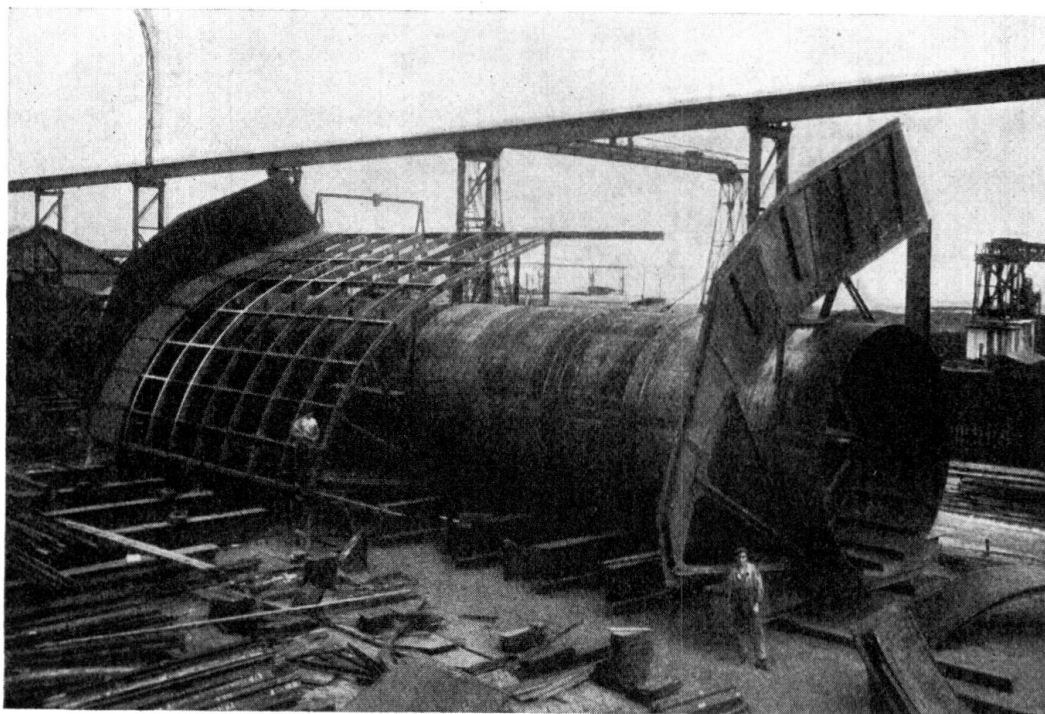


Fig. 13.

Von den großen Wehranlagen mit Doppelschützen bzw. Hakenschützen habe ich Ryburg-Schwörstadt bereits erwähnt. Mit M.A.N.-Doppelschützen ist auch

die große Wehranlage am Donau-Kachlet ausgerüstet, die mit sechs Schützen von 25 m Lichtweite und 11,5 m Höhe überhaupt eine der größten Anlagen der Welt ist. Zum Schluß sei noch die Anlage Pernegg in der Mur gezeigt

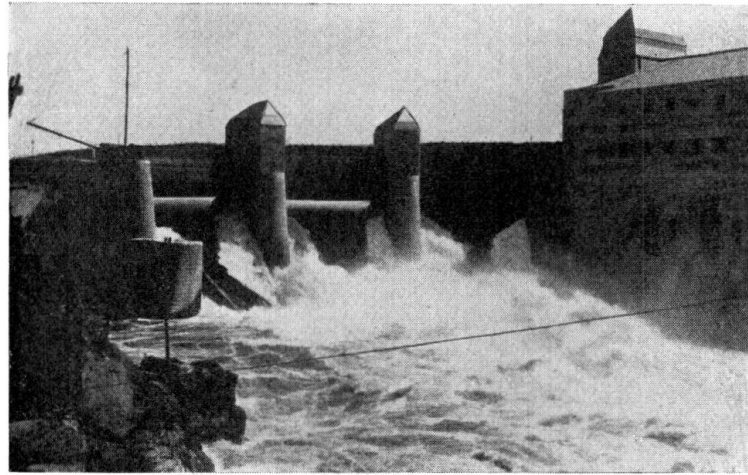


Fig. 14.

(Fig. 15), die auch ein gutes Beispiel der Einfügung moderner Stauanlagen in die Landschaft darstellt. Sie hat drei Doppelschützen von je 15,0 m auf 11,60 m. Die Absenkung bei diesen Doppelschützen beträgt in der Regel ein

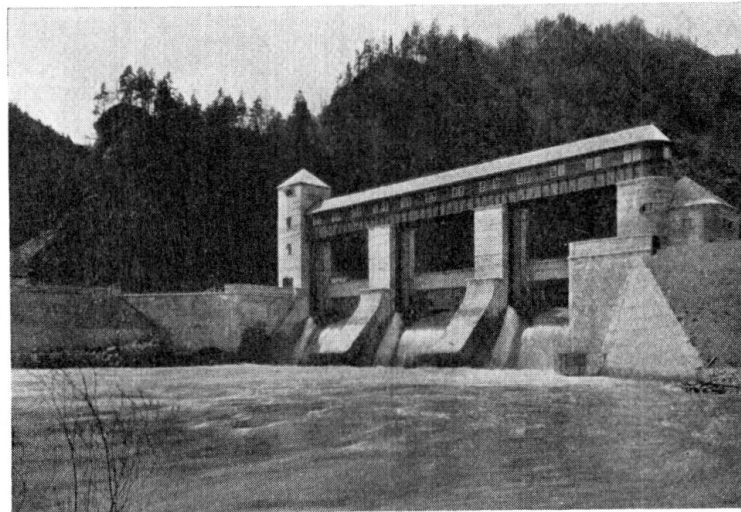


Fig. 15.

Viertel der Gesamthöhe, während die Hakenschützen sogar um ein Drittel der Verschlüsse abgesenkt werden können.

## VIIb 2

# Anwendung des Stahles im Wasserbau, Allgemeines und Einzelheiten.

Application de l'acier dans la construction hydraulique, généralités et détails.

The Use of Steel in Hydraulic Engineering,  
General Remarks and Details.

Prof. Dr. K. Dantscher,

Oberbaudirektor der Rhein-Main-Donau A.G., München.

In den beiden deutschen Berichten der Herren *Agatz* und *Burkowitz* ist die Verwendung des Stahls im Wasserbau dargestellt mit der Gruppierung in feste und bewegliche Konstruktionen. Dabei ist der Werkstoff „Stahl“ mit seinen Eigenschaften gerade hinsichtlich der Bedürfnisse des Wasserbaues, ferner dessen Erhaltung in den wasserbaulichen Konstruktionen eingehend behandelt. Die Diskussionsbeiträge sollen die Berichte dahin ergänzen, daß sie die Entwicklung der Eisenkonstruktionen im Wasserbau darstellen und Beispiele des deutschen Eisenwasserbaues hiefür bringen.

Die Werkstoffe, mit denen man im Wasserbau noch vor 100 Jahren arbeitete, waren Steine jeder Art, der Beton, die Faschinen, die dichtenden Erdarten und das Holz. Das letztere wurde vornehmlich zu den beim Wasserbau auftretenden beweglichen Teilen wie Schleusentore, Wehrverschlüsse, bei den Gründungen für Pfahl- und Schwellroste verwendet. Das Eisen fehlte im Wasserbau fast vollständig, nur im Zusammenhang mit den Holzkonstruktionen als Nägel, Schrauben und Bänder findet man es. Später treten dann größere Guß- und Schmiede-Eisenteile auf als stützende und tragende Konstruktionsteile. Im wesentlichen bleibt das so bis gegen das Ende des Jahrhunderts. Nun erst, nachdem Stahl (Flußeisen) in größeren Mengen hergestellt wird und Walzerzeugnisse verschiedenster Form und Größe herauskommen, ändert sich das Bild; das Eisen dringt überraschend schnell als Baustoff im Wasserbau ein, ersetzt dort das Holz nahezu vollständig, bis zu einem gewissen Teil auch die Steinkonstruktion und bringt vielfach auch neue Arbeitsmethoden und Konstruktionsformen. Diese Entwicklung soll kurz geschildert werden, wobei ich von folgender Gruppierung der Wasserbauten ausgehe:

1. Wasserbauten, die der Schifffahrt dienen,
2. Wehrbauten,
3. Bauten, die der Wasserkraftausnutzung dienen,
4. Gründungen.



### I. Wasserbauten, die der Schifffahrt dienen.

Hier ist in erster Linie darauf hinzuweisen, daß im Bereich der Schifffahrt das Fahrzeug selbst im Übergang vom Holz zum Eisen seit 50 Jahren begriffen ist. In der Seeschifffahrt ist der Übergang nahezu vollständig, in der Binnenschifffahrt bei uns größtenteils vollzogen. Für den Bau der Schiffe hat der Werkstoff „Eisen“ größere Stabilität und Festigkeit, vor allem aber ein Anwachsen der Dimensionen gebracht, die man sich mit dem bisherigen Baustoff „Holz“ gar nicht denken konnte. Diese Entwicklung wirkte sich auf alle Bauten, die zur Schifffahrt gehören, im gleichen Sinne aus. Ich nehme ein Grundelement des Verkehrs-Wasserbaues heraus, die *Kammerschleuse*. Ihre Tore sind vor ca. 50 Jahren fast alle noch aus Holz, wenn auch vielleicht bei einem oder dem anderen die Rahmenteile in Eisen waren. Lichte Weiten von 6—8 m waren das Normale, Fälle von diesen Ausmaßen waren schon groß. Das 600 t-Schiff forderte bereits 10 m l. W. in den Schleusen, das 1500 t-Schiff 12 m; bei den Seeschleusen gingen die Anforderungen allmählich auf 40—50 m. Tore dieser Größe konnten in Holz nicht mehr hergestellt werden. Einzig und allein die Stahlkonstruktion war in der Lage, diese konstruktiven Probleme zu lösen. So finden wir zunächst in der Binnenschifffahrt den Übergang vom *Holz-Stemmtor* zum *Eisenstemmtor*. Das Stemmtor ist der Verschluß der alten Kammerschleuse und seine Konstruktion war durch jahrhundertlange, handwerksmäßige Erfahrung und mit einem feinen Gefühl für die auftretenden Kräfte so gut durchgebildet, daß auch die Eisenkonstruktion bis heute nichts anderes nachmachen kann, als das alte Holztor mit „Wende- und Schlag-Säule, Riegeln, Druckstrebe und Zugband“. Die Eisenkonstruktion brachte in das Bauhandwerk hervorragend durchgebildete Methoden der Statik, und eine zeitlang hat man auch beim Stemmtor versucht, die statische Unbestimmtheit zu beheben, durch Krümmung der Tore die Biegemomente auszuschließen und dergl.; man ist heute wieder zur typischen Stemmtorform zurückgekehrt. Die Dimensionen sind aber wesentlich größer geworden. Das Stemmtor für 12 m l. W. ist der Normaltyp. Die Stemmtore für die Schleusen am Kachlet an der Donau sind mit 24 m l. W. gebaut, was den Dimensionen der Schleuse des ersten Nordostseekanals entspricht. Selbst bei diesen großen Dimensionen läßt sich gerade bei Stemmtoren so notwendige Steifigkeit durch eine kräftige, gut vernietete, event. doppelte Torhaut beibringen.

Die Entwicklung ist aber mit Einführung des Eisens noch nach anderer Richtung gegangen, es sind auch neue Torformen entwickelt worden. Wenn auch früher dann und wann ein Klapptor oder ein Schiebetor für kleine Verhältnisse und unbedeutende Schleusen zu finden ist, so kann man doch sagen, daß diese Formen der Tore erst mit Hilfe des Stahles gebaut werden konnten.

Ganz neu sind in Eisen die Formen der *Hubtore* und *Segmenttore*. Der zweite Diskussionsredner, Herr Dr. *Becher*, bringt in seinem Beitrag Beispiele hiefür. Man erkennt aus den *Schiebetoren*, daß die neuen großen Schleusen, die den Eingang zu den Binnenseehäfen vermitteln, gar nicht möglich sind ohne Eisenkonstruktionen. Für die Entwicklung der großen Häfen wie Bremerhaven, Antwerpen, Amsterdam, für eine Wasserstraße wie den deutschen Nordostseekanal, ist es entscheidend, so große Schleusen bauen zu können. Es soll hier nicht näher darauf eingegangen werden, daß mit der Größe der Tore auch

alle Antriebsvorrichtungen gewachsen sind. Diese waren immer in Eisen. Auf eines aber, was mit der Eisenkonstruktion zusammenhängt, muß noch hingewiesen werden: sie hat auch wieder andere Formen in der Füllung der Schleusen gebracht; in der kleinen, primitiven Schleuse geschah die Füllung durch eine kleine Öffnung im hölzernen Stemmtor, später kamen dann die Umläufe in den Seitenmauern. Das wesentlich steifere eiserne Tor gestattet aber sehr große Öffnungen im Tor selbst zu machen, und so finden wir z. B. bei der Neckarkanalisation heute wieder die Füllung durch Öffnungen in den eisernen Toren; diese Öffnungen werden ihrerseits durch Segmente verschlossen. Die beiden Torarten, *Hubtor* und *Segmenttor*, die nur in Eisen auszuführen sind, gestatten das Füllen und Entleeren ohne Umläufe, denn sie können auch gegen den Überdruck des Wassers bewegt werden. Für die Überwindung großer Höhen ist die in Deutschland beliebte *Schachtschleuse* in großen Ausmaßen nicht denkbar ohne eiserne Torverschlüsse. Bei den Hebewerken ist in kleinerem Ausmaß die schiefe Ebene eine der Konstruktionen, bei der Eisen nicht wesentlich benötigt ist. Die Hebewerke sonstiger Art werden zu Eisenkonstruktionen von ganz bedeutender Größe. Gerade auf diesem Gebiet ist der deutsche Eisenbau mit ersten Leistungen vorangegangen mit den beiden Hebewerken in Henrichenburg und Niederfienow.

Bisher habe ich geschildert, wie die alte Holzkonstruktion durch Eisen ersetzt wurde. Es muß noch erwähnt werden, daß auf dem Gebiete des Wasserverkehrs das Eisen auch anfängt den Beton zu verdrängen, und zwar bei den Kammerschleusen, bei den Hafenufern und Kanalwandungen. Die schon im Bericht von Professor Dr. Agatz ausführlich erörterten Stahlbohlen haben sich für diese Zwecke als außerordentlich verwendbar erwiesen. Wir haben schon mehrere Kammerschleusen, die ganz in Stahlbohlen hergestellt sind. Das größte Beispiel hierfür sind die Schleusen bei Griesheim und Eddersheim am Main mit 350 m Länge und 14 m Breite. Die Kammermauern sind dabei vollständig durch eiserne Spundwände ersetzt. Wenn sich bei einem Untergrund eine richtige Rammung durchführen läßt, so liegen die Vorteile dieser Bauweise auf der Hand. Für die Ufereinfassungen bei den Häfen haben wir schon eine große Anzahl von Beispielen und auch schon den Beweis dafür, daß sich die nach rückwärts verankerte Wand in *Stahlbohlen* hierfür auch bewährt. Ein bemerkenswertes Beispiel für die Verwendbarkeit der *Stahlbohle* ist auch die Verbreiterung des Dortmund-Emskanales für einen größeren Schiffstyp. Die Verbreiterung wird auf große Längen dadurch erhalten, daß in die Böschung Wände aus Stahlbohlen gerammt und dann das Material zwischen ihnen herausgenommen wird; in einfacher Weise und ohne Unterbrechung des Betriebes läßt sich auf diese Art das Kanalprofil vergrößern. Die Dichtigkeit solcher Kanalwände ist bei guter Rammarbeit sehr groß.

## II. Wehrbauten.

Die Wehre, die im Wasserbau für die verschiedenen Zwecke notwendig sind, waren ehemals meistens feste Wehre; in vielen Fällen war selbst der Wehrkörper aus Holz hergestellt; die Einschnitte für Kies- und Eisabführung waren dann immer mit kleinen Schützen aus Holz versehen. Die Flußkanalisation, die vor 100 Jahren etwa begann, erforderte quer durch den ganzen Fluß bewegliche

Wehre und für diese Bedürfnisse sind damals die *Nadel*-, *Klappen*- und *Trommelwehre* erfunden worden. Die Nadeln und die Stauklappen sind dabei aus Holz und von kleinem Ausmaß, nur die stützenden Teile sind aus Eisen, meistens Gußstücke oder geschmiedet. Die Bedienungsbrücke solcher Wehre mit den *Poirée*'schen Böcken ist ein deutliches Beispiel dafür, wie gering die Konstruktionsmöglichkeiten in Eisen damals waren. Als man mit dem Schmieden weiter kam, wurde die Sache etwas besser, z. B. beim Nadelwehr. Wenn das Klappenwehr von *Chanoine* damals sich nicht durchsetzen konnte, so war das zum guten Teil darin begründet, daß die Konstruktionsmöglichkeiten in Eisen fehlen; sein Wiederaufleben durch *Pasqueau* in den 80er Jahren war bedingt durch die Möglichkeit der besseren Ausführung in Eisen und durch die Formung der Stütze in Stahlguß; sein jetziges Neuaufleben mit der verbesserten Hebevorrichtung ist einzig und allein durch die Konstruktion in Eisen gegeben.

Der weitaus meist verbreitete Wehrverschluß war früher beim Wasserbau das *Schützenwehr*; er kam fast immer nur in Verbindung mit dem festen Wehr vor. Man findet beispielsweise bei den Wehren der Wasserkraftausnützung an gefällereichen Flüssen fast ausnahmslos das feste Wehr, weil man für bewegliche Wehre Verschlüsse nur von begrenztem Ausmaße bauen konnte. Allmählich lockerte sich diese Bauweise, die beweglichen Teile wurden immer größer und schließlich verschwindet in der neueren Entwicklung das feste Wehr auch bei der Wasserkraftausnützung und man geht auch hier zu dem beweglichen Wehr über, nachdem es möglich war, in Eisen große und zuverlässige Verschlüsse zu bauen. Für die Regulierung der Vorflut, für Geschiebe- und Eisabführung bedeutet das einen großen Fortschritt.

Bei der normalen Schützenkonstruktion ist in Holz nicht weiterzukommen als höchstens auf 8 m lichte Weite. Das Bedürfnis war aber immer für größere Weiten vorhanden. Ein solcher Fall lag z. B. vor am Main bei Schweinfurt, wo man wegen der schwierigen Eisabgänge eine Wehröffnung von 30 m l. W. bauen wollte. Bei der Suche nach einem Verschluß hiefür wurde von dem bayerischen Oberbaurat *Eickemeyer* der Eisenzylinder wegen seines großen Widerstandsmomentes als Verschluß vorgeschlagen und *Carstanjen*, der Direktor der Brückenbauanstalt Gustavburg bei Mainz, formte daraus das *Walzenwehr*, einen Wehrkörper, der nur in Eisen denkbar ist. Das Walzenwehr gestattet lichte Weiten im beweglichen Wehr, die mit Schützen niemals möglich sind, es ist einfach und robust und damit gerade für den Wasserbau das gegebene. Bei den Kanalisierungswehren findet das Walzenwehr sehr bald Eingang und hier hat es seine großen Ausführungen erhalten. Nun fordert der Betrieb einer Kanalisierung daß Eis, Geschwemmsel und faules Wasser aus der Haltung abgelassen werden können, ohne daß man den Stau legt. In dieser Hinsicht waren die alten Kanalisierungswehre überlegen. Durch Ausbildung der Versenkwalze und der Walze mit Aufsatzklappe konnte das Walzenwehr auch diesen Anforderungen angepaßt werden. Bei den Schützenwehren kam man früher — wie schon erwähnt — nicht über 6—8 m hinaus, und wenn die Vorflut des Flusses es erforderte, so konnte eine große Durchflußbreite zunächst nur mit beweglichen, losen Ständern erzielt werden. Diese plumpe Konstruktion hat aber bald das Feld räumen müssen. Mit Hilfe des Werkstoffes „Eisen“ wurde die Schütze selbst zu größerer Lichtweite entwickelt; es entsteht die große Eisenschütze mit einer Stauwand

in Eisenblech, die den Wasserdruck auf horizontal liegendes Fachwerk überträgt. Mit dieser Konstruktion war bezüglich der Weiten schon wesentlich weiter zu kommen, aber es wurden nunmehr die Aufzugskräfte sehr groß. Die *Stoney-Schütze* löste das Problem, indem sie für die Auf- und Abwärtsbewegung neben der gleitenden die rollende Reibung einführte. Diese Rollwagen machten auch eine neue Art der Dichtung notwendig; bei der Stoney-Schütze wird sie mit dem Dichtungsstab, bei der Eisenschütze der MAN mit dem federnden Dichtungsblech durchgeführt.

In Deutschland ist besonders bei den süddeutschen Wasserkraftanlagen das Schützenwehr weiter entwickelt worden; die Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg (MAN) hat die *Doppelschütze* und *Hakenschütze* ausgebildet, die ein Absenken der oberen Schütze gestatten, die Dortmunder Union die *Dreigurt-schütze* und die *Schützen mit Klappen*. Lichte Weiten mit 40 m und darüber sind schon erreicht, und wenn nicht das Problem der mit großer Weite auftretenden Schwingungen gekommen wäre, so hätten wir heute schon Schützen mit mehr als 50 m lichte Weite.

Diejenigen Wehrverschlüsse, die durch den Wasserdruck betätigt werden, die sog. „selbsttätigen Wehre“, haben von der Einführung des Eisens als Werkstoff besondere Vorteile gezogen. Es ist die alte Bärenfalle des Amerikaners *White* nach hundert Jahren als das *Dachwehr* wieder aufgetaucht, von den vielen Arten von Klappen sind verschiedene sinnreiche Konstruktionen in Eisen zu selbsttätiger Regulierung des Wasserspiegels bei Wasserschlössern und an den Überläufen von Talsperren eingebaut, und die Klappe in der Fischbauchform erobert sich heute die größten Weiten. Das Sektorwehr ist bei uns in Deutschland an der Weser von der MAN zu einem Verschluß von 54 m lichter Weite und 4,5 m Stauhöhe ausgebildet worden, der größte einheitliche Stauverschluß, der überhaupt existiert. Das *Trommelwehr* von *Desfontaines*, ursprünglich nur in schmalen Klappen gebaut, konnte mit der Entwicklung der Eisenkonstruktion bis zur Breite von 12 m ausgebaut werden und bildete für die Floßgassen der Mainkanalisierung einen äußerst brauchbaren Verschluß. Schließlich muß noch das *Segmentwehr* erwähnt werden, ein Verschluß, der nur in Eisen möglich ist, und der bei uns in Deutschland bis zu 30 m lichter Weite ausgeführt wurde.

Somit hat auch auf dem Gebiete des Wehrbaues das Eisen das Holz vollständig ersetzt, es hat ermöglicht, daß wir zu viel größeren Lichtweiten und auch Stauhöhen gekommen sind als bisher, und daß völlig neue Verschlüsse entwickelt wurden.

### III. Wasserkraftanlagen.

Soweit das Eisen umwälzend auf die Wehre bei den Wasserkraftanlagen eingewirkt hat, ist es bereits geschildert. Hier soll noch einiges über die Umänderung der Wasserkraftanlagen selbst besprochen werden. Es ist noch nicht so lange her, da war das Wasserrad, das Schnur- und Kropfgerinne und der ganze Unterbau beim Triebwerk aus Holz. Die Turbinen, nur in Eisen herzustellen, haben hier vor ca. 80 Jahren Wandel geschaffen. Seitdem ist das Krafthaus in Beton, seit dieser Zeit können wir auch hohe Gefälle ausnützen, bei denen das Oberwasser in Röhren gefaßt und den Turbinen zugeführt wird. Diese Rohre, zusammengefaßt auf der Rohrbahn, sind ein wesentlicher Teil

einer Hochdruckanlage geworden und hier hat sich das Eisen ein Gebiet erobert, aus dem es wohl kaum mehr zu verdrängen ist. Gewiß sind die Druckrohre auch schon in Holz und in Eisenbeton gemacht worden, aber nur für beschränkte Höhen und Wassermengen. Bei jeder größeren Wasserkraftanlage wird heute die Rohrbahn in Eisen hergestellt. Die Konstruktionsbedingungen der Druckrohre von Wasserkraftanlagen sind durchaus nicht einfach; die Regulierung der Turbinen bringt dauernd Druckschwankungen im Rohr, ein rascher Abschluß kann eine ganz gewaltige Drucksteigerung und damit Beanspruchung der Rohrwandung bringen; es kommen die Temperaturkräfte hinzu, die bei großen Rohren sehr stark werden und die Kräfte, die sich aus der Auflagerung ergeben. Das Gußeisenrohr, das noch bei kleineren Anlagen da und dort zu finden ist, wird bei größeren heute restlos durch Stahl ersetzt. Die deutsche Eisentechnik hat in dem nahtlos gewalzten Rohr (*Mannesmannrohr*) ein Bauelement geschaffen, das für die Kraftanlagen mit ganz hohen Drucken kaum durch etwas anderes zu ersetzen ist. Müssen größere Wassermengen verarbeitet werden, so braucht man große Rohrdurchmesser, die nurmehr aus Walzenblechen hergestellt werden können. Für die Längs- und Querverbindungen ist wohl heute noch die Nietung das Maßgebende, es findet aber auch die Schweißung zunehmende Verwendung. Die Druckrohre bei Kraftanlagen wie das Walchenseewerk, das Schluchseewerk, ferner die der Pumpwerke, wo die Rohre ebenfalls als Steigleitung dienen müssen, sind nur in Stahl denkbar. Bei diesen Rohrleitungen spielen die verschiedenen Arten der Verschlüsse, wie Drosselklappen, Hochdruckschieber usw. eine große Rolle. (Siehe Bericht *Burkowitz*.)

Der Wasserkraftbetrieb hat noch etwas Neues gebracht. Man muß bei diesen Werken immer darauf sehen, möglichst den Stau zu halten, weil sonst der Energieverlust zu groß wird. Um die Wehrverschlüsse instandhalten und reparieren zu können, sind gerade bei den Wehren der Wasserkraftanlagen die provisorischen Verschlüsse entwickelt worden, die ganz beachtenswerte Konstruktionen darstellen. Der alte hölzerne Dammbalken geht bei großen Weiten nicht mehr. Man hat ihn durch einen eisernen ersetzt; seine Lagerung, sein Transport, das Einsetzen und Ausbringen, die Führung, bedingen ganz wesentlich die Gesamtanlage eines neuzeitlichen Wehres. Aber auch der eiserne Dammbalken geht nicht für beliebige Weiten, er wird zu schwer in der Handhabung. Für die großen Wehre bei den Flußkanalisierungen sind deshalb für provisorische Verschlüsse Konstruktionen gefunden worden, die an Ort und Stelle unter Wasser zusammengebaut werden können, beispielsweise der Verschluß des Ingenieurs *Schön*, der von der Firma *Noell-Würzburg* ausgeführt wird. Die Abschlußwand, die sich auf eiserne Böcke stützt, besteht entweder in Tafeln oder in Larssendiehlen, die gleich den Nadeln des Nadelwehres gesetzt werden.

Erwähnt seien noch die schwimmenden provisorischen Verschlüsse, eiserne Hohlkörper, die für die Absperrung eingeschwemmt und versenkt werden. Am Kachletwehr sind solche für 24 m lichte Weite vorhanden.

#### IV. Gründungen.

Über die Verwendung des Stahles bei Gründungen hat Herr *Agatz* ganz ausführlich berichtet. Die Verwendung geht hier nach zweierlei Richtung, einmal wird der Stahl in Form von Eisenspundwänden zur Bildung der Baugruben ver-

wendet, dann auch im Fundament als bleibender Konstruktionsteil gegen Unterspülung und zur Druckübertragung.

Bei den Gründungen war das Eisen bisher verwendet worden, wenn man mit der Taucherglocke und dem Caisson gründete. Dann und wann kamen in besonderen Fällen Eisenrohre als Pfähle zur Verwendung. Seitdem der Bremer Stadtbaumeister *Larssen* zusammen mit der Dortmunder Union das erste eiserne Spundwandprofil herausgebracht hat, hat sich das Bild bei den Gründungen der Wasserbauten ganz wesentlich geändert. Die Gründung in offener Baugrube war immer die von den Ingenieuren angestrebte Lösung gewesen. Mit Holzspundwänden, Fangdämmen umschloß man die Baugrube und legte sie trocken; bei Tiefen über 5—6 m führte das meist schon zu den größten Schwierigkeiten. In der eisernen Spundwand hat die Bautechnik ein Mittel, mit der Rammung tiefer in den Boden zu kommen und eine *dichte* Wand zu erzeugen. Dazu erwies sich diese Wand wesentlich steifer als Holzspundwände. Wenn man vor ca. 30 Jahren bei Gründungstiefen von 6—7 m schon daran denken mußte, evtl. zur Luftdruckgründung überzugehen, kann man heute Tiefen von 12—14 m in offener Baugrube mit Eisenspundwand leicht erreichen, Tiefen über 20 m sind schon erreicht worden. Die Baugrube von großem Ausmaß und größeren Tiefen, wie z. B. für einen Pfeiler in einem großen Strom, umfährt bei dieser Gründungstechnik nicht mehr wie bisher den Grundriß des Bauobjektes sondern rund wie ein Brunnen wegen der Versteifung und führt schachtmäßig bis zur notwendigen Tiefe. Durch die Ausbildung der Schlösser und Eckbohlen ist eine gute Dichtigkeit gewährleistet.

Bei Wehren und Talsperren handelt es sich immer darum, daß Wassersickerungen unter dem Bauwerk hintangehalten werden, die den Untergrund im Laufe der Zeit verschlechtern könnten. Der wasserundurchlässige Untergrund mußte bisher entweder mit dem Fundament selbst oder mit Herdmauern erreicht werden; bei vielen Wehren ist man hierzu mit hohen Kosten und großem Zeitaufwand zur pneumatischen Fundierung übergegangen. Gerade hier hat die eiserne Spundwand große Hilfe gebracht, man kann mit ihr in den meisten Fällen den undurchlässigen Untergrund auch in beträchtlichen Tiefen noch erreichen. Eine solche eiserne Spundwand ist bei guter Rammung dichter als die pneumatisch abgesenkte Betonwand. Die Einführung der Stahlbohle bei den Gründungen hat es also mit sich gebracht, daß wir heute bei den Wehrfundamenten die gefährlichen Wasseradern viel leichter hintanhaltend können und daß dadurch alle Wehre besser fundiert werden als früher.

Über die Verwendung von gewalzten Konstruktionen als stützende und tragende Pfähle hat Herr *Agatz* berichtet. Wir stehen hier am Anfang einer Entwicklung; vorerst herrscht hier noch das Holz vor; auch der Eisenbeetonpfahl hat es noch nicht zu verdrängen vermocht; wie weit das dem Stahlpfahl gelingt, bleibt abzuwarten.

Für die hohen Stauwerke ist bei uns im letzten Jahrzehnt gerne der aus Erde geschüttete Staudamm gewählt worden. Die Dichtung wird hiebei durch eine Eisenbetonwand im Kerne des Dammes erreicht. Für die Ausführung dieser Dichtungswand wird neuerdings auch die Stahlbohle verwendet. Der Kern entsteht damit zwischen Stahlwänden. Die Beanspruchungen, die der Kern während des Aufschüttens und Setzens des Dammes erleidet, können sehr groß werden



und nur ein Material mit den elastischen Eigenschaften des Stahles kann sie ertragen, ohne Risse zu bekommen.

#### V. Die Haltbarkeit der Eisenkonstruktionen im Wasserbau.

Beim Übergang zum Werkstoff „Eisen“ im Wasserbau entsteht die große Frage, welche Lebensdauer solchen Konstruktionen zuzumessen ist. Hiezu hat sich der Bericht *Agatz* ausgesprochen; wir können heute noch nichts Endgültiges sagen, die Erfahrungen sind noch zu kurz. Es ist kaum anzunehmen, daß Konstruktionen in Eisen im Wasser dieselbe Lebensdauer haben werden, wie die Aquädukte der Römer und die Holzpfähle, wenn sie dauernd unter Wasser sind; man wird ihnen aber eine Dauer zusprechen können etwa wie Betonbauwerken und sicher gleich der Eisenbetonbauten im Wasserbau. Über die Mittel, die notwendig sind, um Stahl im Wasserbau haltbar zu machen, ist in den deutschen Berichten sehr viel gebracht. Die Frage des Anstrichs ist bei den deutschen Eisenwasserbauten weitgehend auch untersucht worden. Wir sind hier noch nicht zu einem endgültigen Ergebnis gekommen.

## VIIb 3

# Schweißkonstruktionen im Stahlwasserbau.

La soudure dans les travaux hydrauliques.

Welding in Hydraulic Engineering.

G. Wittenhagen,

Oberingenieur der Dortmunder Union Brückenbau A.G., Dortmund.

Bisher hat das Schweißverfahren im Stahlwasserbau, im Gegensatz zum Hoch- und Brückenbau, noch verhältnismäßig wenig Anwendung gefunden. Man kann jedoch feststellen, daß im steigenden Maße der Ingenieur auch auf diesem Sondergebiet bestrebt ist, sich die offensichtlichen, konstruktiven, technischen und wirtschaftlichen Vorteile des Schweißens nutzbar zu machen.

Im Stahlwasserbau liegen z. B. bei Notverschlüssen, Dammbalken, Schleusentoren usw. in der Hauptsache rein statische Beanspruchungen vor. Für diese Konstruktionen ist die Schweißtechnik wie beim Stahlhochbau sehr geeignet und auch wirtschaftlich.

Dagegen spielen bei den beweglichen Wehrverschlüssen die dynamischen Kräfte eine ausschlaggebende Rolle. Die Vorgänge sind hier noch schwieriger zu erfassen, als bei den ebenfalls hauptsächlich dynamisch beanspruchten Brücken. Die entstehenden dynamischen Kräfte sind beim Wehrbau rechnerisch nur schwer zu erfassen und außerdem oft auch wissenschaftlich noch nicht einwandfrei geklärt. Je nach den Anforderungen müssen diese Wehre gegen den vollen Wasserdruck bewegt werden und das Wasser kann somit den Wehrkörper entweder unterströmen oder überströmen. Die bei der Bewegung des Wassers auftretenden Wasserwirbel und Walzen sowie Luftdruckschwankungen begünstigen das Entstehen von unter Umständen gefährlichen Schwingungsvorgängen. Solange man die Ursache dieser Schwingungen und damit die Mittel zu ihrer Beseitigung noch nicht vollständig kennt, erscheint es ratsam, den Wehrkörper so steif und so schwer wie möglich auszuführen.

Von den führenden Wehrbaufirmen sind zwar in enger Zusammenarbeit mit Hochschulen und Versuchsanstalten in jahrelanger Arbeit eingehende Versuche und wissenschaftliche Forschungen durchgeführt worden, um die Ursache der Schwingungen festzustellen und Wege zur Vermeidung derselben aufzuzeigen. Die bisherigen Ergebnisse sind auch recht zufriedenstellend. Sie zeigen, daß es sehr wohl möglich ist durch richtige Formgebung und andere Maßnahmen wenigstens solche Schwingungen, die für das Bauwerk gefährlich werden können, zu vermeiden. Eine restlose Klärung dieses wichtigen Problems ist aber noch nicht gefunden worden. Es kommt noch immer wieder vor, daß trotz aller



Sorgfalt bei Entwurf und Ausführung im Betriebe Schwingungen entstehen, deren Einflüsse allerdings mit Sicherheit soweit herabgemindert werden können, daß eine Gefährdung des Baues nicht eintreten wird. Um nun diese zunächst theoretisch noch nicht erfaßbaren Schwingungen so unwirksam wie möglich zu machen, ist der Konstrukteur vorläufig noch gezwungen, neben einer großen Steifigkeit auch eine möglichst große Massenträgheit anzustreben. Mit der wirtschaftlich wünschenswerten Verminderung des Eigengewichtes, wie sie durch das Schweißen möglich wäre, kann also der Ingenieur zur Zeit noch nicht viel anfangen. Aus dem gleichen Grunde vermeidet man heute übrigens auch die sonst wirtschaftliche Anwendung hochwertiger Baustähle bei Wehrbauten.

Wenn man also augenblicklich davon absehen wird, einen Wehrverschluß vollständig zu schweißen, so lassen sich doch wenigstens einzelne Bauglieder vorteilhaft in Schweißkonstruktion ausführen. Bei den meisten von der Dortmunder Union in den letzten Jahren ausgeführten Dreigurtgeschütze wurden z. B. die Endschotten, die Gurtungen und die Stauklappen geschweißt, alles übrige genietet.

Die Endschotte lassen sich bei geschweißter Ausführung in einfacher Weise dem Querschnitt des Wehres anpassen. Die eintretende Gewichtsverminderung spielt mit Rücksicht auf die Schwingungen keine Rolle, weil die Endschotte über den Auflagern liegen.

Die geschweißte Ausführung der Gurtungen mit angeschweißten Knotenblechen gestattet eine einfache Konstruktion, bequeme Anschlüsse und einfache Anordnung der Dichtungshölzer.

Die Stauklappen müssen bei größeren Lichtweiten torsionsstief ausgeführt werden. Das für die Aufnahme der Torsionskräfte angeordnete Rohr läßt sich bei geschweißter Konstruktion in einfacher Weise stoßen und mit der übrigen Tragkonstruktion verdrehungsstief verbinden. Bei der zur Vermeidung von Schwingungen notwendigen gebogenen Form der Blechhaut wird die genietete Konstruktion teurer. Außerdem vermeidet man beim Schweißen der Blechhaut die vorstehenden Nietköpfe, die der Gefahr der Abnutzung durch Sandschliff unterliegen.

Im Gegensatz zu diesen dynamisch beanspruchten Wehrkonstruktionen wird, wie ich eingangs erwähnte, die Schweißtechnik bei solchen Wasserbauten, die in der Hauptsache statische Beanspruchungen erhalten, mit besonderem Vorteil verwendet.

Einfachste statische Bedingungen liegen bei Dammbalken vor. Die Dortmunder Union hat deshalb die Dammbalken für das Maschinenhaus der Wehranlage Albbruck—Dogern in geschweißter Ausführung geliefert. Sie bestehen in der Hauptsache aus Nasenlamellen mit Stehblechen. Die Gewichtsersparnis gegenüber genieteter Konstruktion wurde zu etwa 14 % festgestellt. Diese Gewichtsersparnis wirkt sich hier günstig auf die Hebevorrichtungen aus.

Ein weiteres Beispiel für die zweckmäßige Verwendung von Schweißkonstruktionen zeigt das von der Dortmunder Union zur Zeit ausgeführte Hubtor der Schleuse Niegripp. Die Hauptriegel und die Endpfosten sind als geschweißte Vollwandträger mit Nasenlamellen konstruiert. Die Baustellenstöße der Blechhaut sind genietet. Die erzielte Gewichtsersparnis gegenüber genieteter Konstruktion beträgt etwa 11 %. Um diesen Betrag kann auch das Gegengewicht

verringert werden. Dadurch ergeben sich kleinere Belastungen des Windwerkes und der Hubgerüste.

Eine neuartige und besonders interessante Anwendung der Schweißtechnik im Stahlwasserbau zeigen die zur Zeit im Bau befindlichen Schwimmer von 10 m  $\varnothing$  und 35 m Höhe für das Schiffshebewerk Rothensee für den Elbeabstieg des Mittellandkanales. Der erste Schwimmer wird augenblicklich montiert. Auch hier ist die Einsparung am Eigengewicht beträchtlich; sie beträgt etwa 10—12 %.

Wenn auch die bisherigen Erfolge der Schweißkonstruktionen im Stahlwasserbau nicht so augenfällig sind, wie im Brücken- oder Hochbau, so sind sie doch sehr beachtlich. Denn die Schwierigkeiten, mit denen der Wasserbau zu kämpfen hat, sind besonders groß.

# VIIb 4

## Stahldamm.

Barrages d'acier.

Steel Dams.

Prof. G. Krivochéine,  
General-Major, Prag.

Ein Gebiet, das eine größere Verwendungsmöglichkeit des Stahles als Baumaterial erlaubt, ist der Talsperrenbau.

Es ist bekannt, daß in Nord-Amerika von tausenden von Talsperren aus Stein, Beton und Eisenbeton nur 4—5 eiserne Talsperren existieren.

Die Talsperren, die aus Stein, Beton oder Eisenbeton gebaut sind, sind nicht ganz wasserdicht; dagegen können eiserne Talsperren vollkommen wasserdicht ausgeführt werden.

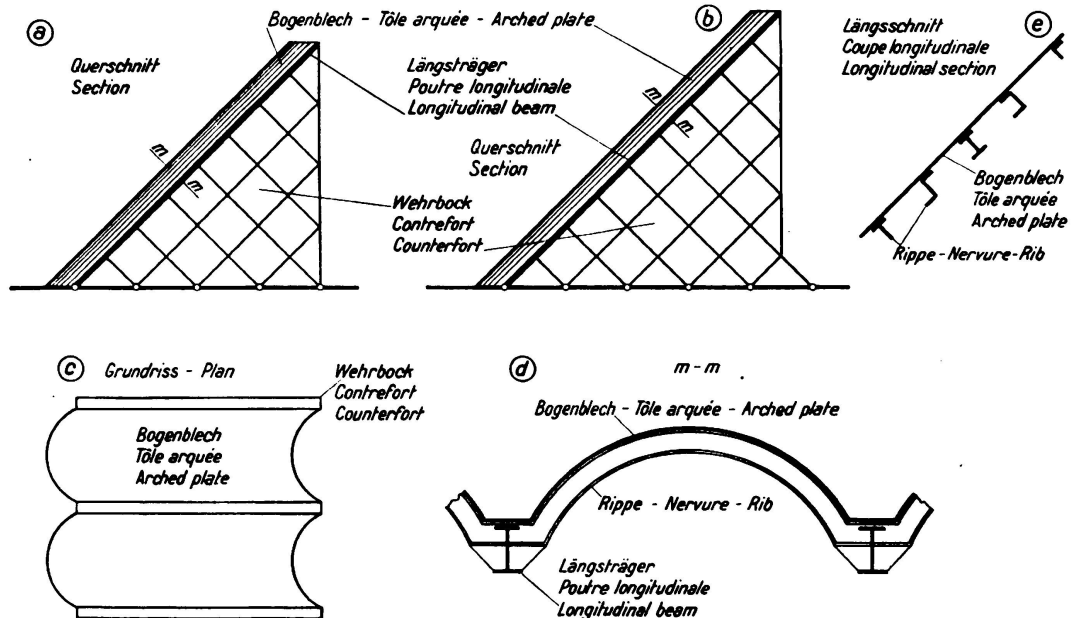


Fig. 1.

Das System der Talsperre nach dem Patent<sup>1</sup> von Ing. Fultner, Ing. Dr. Sekla und Prof. Krivochéine (Fig. 1 a, b, c, d) besteht aus einer Reihe von gewölbten geneigten Stahlblechen großer Spannweiten (ca. 8—15 m), die mit Rippen verstärkt sind.

<sup>1</sup> D.R.P. No. 653411.

Die auf diese Weise ausgebildeten gewölbten Stahlbleche liegen mittels schiefen Längsträgern, ohne irgend welche Querträger, auf den senkrechten netzwerkartigen Wehrböcken.

Diese Wehrböcke haben eine originelle und ganz neue Form und zwar die eines dreieckigen Netzwerkes ohne Diagonalen. Ein solches Fachwerk mit theoretischen Gelenken in den Knotenpunkten ist steif und statisch bestimmt.

Die bogenförmige Konstruktion einer Stauwand nach dieser Erfindung ist vollkommen elastisch und gestattet bei Temperaturänderung eine fugenlose Dilatation. Ein weiterer, sehr wichtiger technischer Vorteil der Erfindung besteht in einer bedeutenden Verkleinerung der Sohlenbreite an ihrer Basis.

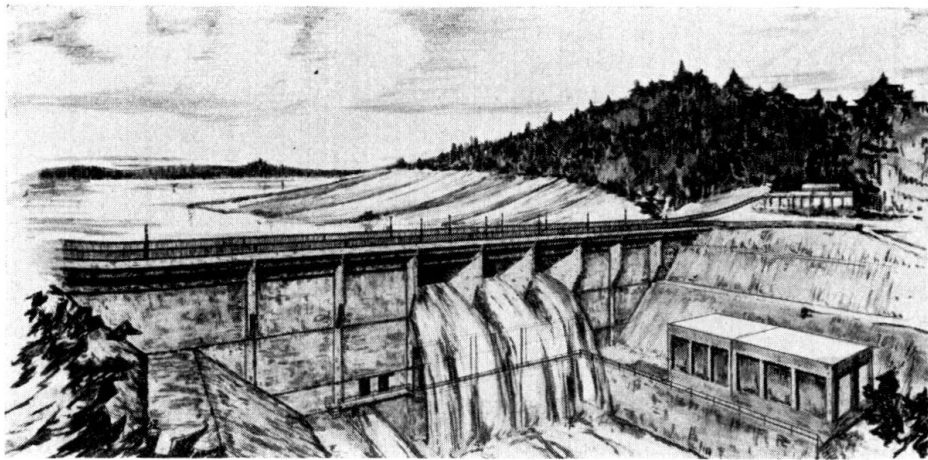


Fig. 2.

Entwurf des Stahldamms auf dem Fluß „Svratka“ bei „Kniničky“, Tschechoslowakei.

Patent von Ing. J. Fultner, Prof. Krivochéine und Ing. Dr. J. Sekla.

Bei einem Wettbewerb in der Tschechoslowakei haben wir Gelegenheit gehabt, ein Angebot auf eine solche eiserne Talsperre bei „Kniničky“ in der Umgebung von Brünn, Fig. 2<sup>2</sup> zu machen.

Das Angebot, das die Witkowitz Werke auf diese eiserne Stauwand nach dem oben beschriebenen Patent eingereicht hatten, war um 22 bis 53 % billiger, als die 15 Angebote auf steinerne oder betonierte Staumauern.

<sup>2</sup> Die eiserne Staumauer in Brünn war mit Monier-Eisenbeton-Platten bekleidet.

## VIIb 5

# Wandstärke und Abrostung bei stählernen Spundwänden.

L'épaisseur et l'oxydation des palplanches métalliques.

The Thickness and Rusting of Steel Sheet Piles.

Dipl. Ing. W. Pellny,  
Hamburg.

Das weite Gebiet der stählernen Spundwand mit seinen vielfachen Anwendungen hat sich im Laufe von wenigen Jahren zu einer besonderen Wissenschaft entwickelt und kann heute bereits als ein wesentlicher Zweig des Wasserbaus betrachtet werden. Bei der Vielgestaltigkeit des technischen Wissens ist es dem Ingenieur tatsächlich nicht mehr möglich, die Entwicklung auf allen Fachgebieten zu verfolgen und den letzten Stand der Technik, und sei es auch nur aus dem Schrifttum, zu kennen. Schon aus diesem Grunde, ganz abgesehen von dem Nutzen für die Volkswirtschaft, sollte alles in der Technik auf eine einfache und klare Form gebracht werden, um dem Ingenieur unnötige und zeitraubende Überlegungen zu ersparen.

Deshalb war es sehr zu begrüßen, daß bei den vier maßgebenden deutschen Walzwerken eine Angleichung der Profilreihen für die stählernen Spundbohlen erfolgt ist. War das Profil eines Werkes früher zufälligerweise im Widerstandsmoment um  $50 \text{ cm}^3$  größer oder vielleicht um  $4 \text{ kg/m}^2$  leichter, so konnte dies ausschlaggebend sein. Die entsprechenden Bohlen haben heute bei allen Werken den gleichen Querschnitt, das gleiche Widerstandsmoment  $W_x$  und damit das gleiche Gewicht  $G$ , also auch die gleiche Güteziffer  $W_x : G$ . Ferner ist die Fracht die gleiche und wird von allen Werken für die Entfernung ab Bahnhof Oberhausen bzw. Hafen Duisburg-Ruhrort berechnet.

Ein Punkt macht jedoch dem gewissenhaften Ingenieur noch immer viel Kopfzerbrechen, das ist die Wandstärke und deren Abrostung. Zwar besteht kein Zweifel, daß die meisten technischen Bauten bisher wegen betriebstechnischer Mängel erneuert werden mußten, weil die Einrichtungen veraltet, die Leistungsfähigkeit nicht mehr ausreichte oder die Betriebskosten zu hoch waren, dagegen selten, weil die Bauwerke wirklich baufällig erschienen. Immerhin ist man bestrebt, den letzten Grund ganz auszuschalten oder wenigstens den Verfall zeitlich möglichst weit hinauszuschieben und bevorzugt deshalb begrifflicherweise die dicken Wandstärken.

Viele glauben in dieser Hinsicht einen Unterschied zwischen den verschiedenen Profilen zu erkennen. Sie stützen sich dabei auf die listenmäßigen Angaben der Werke, die in dem einen Fall vielleicht 13 mm und in einem andern Fall 11 mm betragen. Es wäre aber nun ein schwerer Irrtum, anzunehmen, daß sich allein aus diesem Grunde die erste Wand unter starker Abrostung auch günstiger verhielte als die mit dünneren Flanschen, aber gleichem  $W_x$ . Dies muß einmal ganz klar ausgesprochen werden, weil viele Ingenieure, die mit Spundwänden zu tun haben, diesen, allerdings naheliegenden, Trugschluß bisher zogen und oft Schwierigkeiten sahen, die gar nicht vorhanden sind.

Wenn man von der Wandstärke spricht, dann vergißt man, daß die Z-Profile im Flansch neben der listenmäßigen Wandstärke noch einen zusätzlichen starken Querschnitt im Schloß besitzen. Die hauptsächlichen Profilreihen der deutschen Walzwerke sind im Beton-Kalender 1937, Teil II, S. 33 und 34 unter den Bezeichnungen 5 bis 8 wiedergegeben, worauf die Fachleute hingewiesen sein mögen. Umgerechnet oder verteilt auf die ganze Flanschbreite, würde der Schloßquerschnitt einen zusätzlichen Streifen von rd. 5 mm Stärke ergeben. Führt man diese Umrechnung für die entsprechenden Profile der verschiedenen Walzformen durch, dann kommt man zu dem Ergebnis, daß diese rechnerischen, beziehungsweise *wirksamen Wandstärken bei allen entsprechenden Profilen der verschiedenen Walzwerke nahezu gleich sind*. Hierbei kann zur Vereinfachung für die Betrachtung mit genügender Genauigkeit das Widerstandsmoment gleich der Fläche der Flanschen mal ihren Abstand von der Null-Linie gerechnet werden.

Maßgebend für die Untersuchung bzw. Bewertung einer stählernen Spundwand nach einer Lebensdauer von 50 oder 100 Jahren ist aber nicht die ursprüngliche Wandstärke und deren Abrostung, sondern lediglich das *verbliebene Widerstandsmoment*.

Eine Abrostung von 1 mm bedeutet für *alle* entsprechenden Profile die gleiche Verminderung des Widerstandsmomentes, wobei die Profile mit niedriger Bauhöhe nach dem vorhergesagten wiederum etwas günstiger abschneiden. Die stärkste Abrostung, die überhaupt möglich ist, entspricht der dünnsten Stelle im Steg und beträgt vielleicht 8 mm gegenüber der Wandstärke im Flansch von 13 mm. Bei einer noch stärkeren Abrostung muß die Bohle im Steg zerfallen. Eine Abrostung von 8 mm ergibt aber bei allen Spundbohlen von Profil III der verschiedenen Walzformen, die  $W_x = 1600 \text{ cm}^3$  aufweisen, eine *gleichmäßige Schwächung des Flansches* um eine Schicht von 8 mm Stärke. Dies bedeutet die gleiche Verringerung des Widerstandsmomentes von  $1600 \text{ cm}^3$  auf  $\frac{13-8}{13} 1600 = 610 \text{ cm}^3$ . Eine derartig weitgehende Verminderung des  $W_x$  wird jedoch nur selten Bedeutung haben.

Die starke Abrostung beschränkt sich der Höhe nach auf den schmalen Streifen des wechselnden Wasserstandes bzw. liegt dicht darunter. Glücklicherweise tritt die größte Biegebungsbeanspruchung, für welche die Spundwand berechnet wurde, in den meisten Fällen an einer Stelle auf, die wesentlich tiefer liegt als der Streifen der größten Abrostung, so daß schon eine weitgehende Schwächung durch Abrostung eintreten kann, bevor die Wand gefährdet ist.

Sorgfältige Beobachtungen und Messungen haben ergeben, daß wir unter gewöhnlichen Verhältnissen in Europa in 80 Jahren eine Abrostung von etwa 2 mm zu erwarten haben. (Vgl. Prof. Agatz im Vorbericht zum Zweiten Internationalen Kongreß für Brücken- und Hochbau, S. 1438 . . . an der Wesermündung 0,2 mm in 8 Jahren.) Aber auch eine wesentlich stärkere Abrostung würde noch nicht gegen, sondern für den Stahl sprechen.

Die Folgerungen in der Schlußsitzung der Arbeitstagung am 7. Oktober 1936 in der Kroll-Oper über den Abschnitt: Anwendung des Stahls im Wasserbau enthalten folgenden Satz: „Die bisherigen Erfahrungen lassen erfreulicherweise erkennen, daß z. B. die Rostbeständigkeit unserer Stahlspundwände größer ist, als bei ihrer Einführung angenommen worden war“.

Wenn man nun weiß, welches geringste  $W_x$  an der stark abgerosteten Stelle erhalten bleiben muß, bei einer vorgeschriebenen Sicherheit, dann kann man sehr schnell die Lebensdauer der Spundwand ausrechnen, oder kann aus der geforderten Lebensdauer die Wandstärke errechnen, bzw. das Profil bestimmen.

Im Laufe der Jahre tritt bei der Hinterfüllung eine Verfestigung des Bodens ein, so daß der *wirkliche* Erddruck abnimmt und erheblich kleiner wird als der *rechnerische* Erddruck, der dem Entwurf zugrunde gelegt wurde. Demnach sollten keine Bedenken bestehen, den Sicherheitszuschlag für ein altes Bauwerk unter Berücksichtigung der besonderen Verhältnisse weitgehend herabzusetzen. Während bei einem neuen Bauwerk der Sicherheitswert vielleicht mit 2 oder 3 gewählt wird, da man die verschiedenen späteren Auswirkungen noch nicht übersehen kann, das Verhalten von ähnlichen Bauwerken noch nicht genügend kennt und das Anwachsen der Verkehrslasten noch ungewiß ist usw., man also auf Überraschungen gefaßt sein muß, fallen bei einem alten Bauwerk alle diese Gesichtspunkte fort. Man kann dort getrost etwas weniger besorgt sein, vorausgesetzt, daß die tragenden Bauteile einer Überwachung zugänglich sind und der Baustoff selbst seine Eigenschaften nicht ändert. Beide Voraussetzungen sind für Stahl meistens erfüllt.

Die Sicherheit besteht einmal in der gewählten oder zugelassenen niedrigen Spannung für den Stahl. Prof. Agatz empfiehlt, in klar liegenden Fällen beim Wasserbau bis an die Grenze des elastischen Bereichs zu gehen. Da der Stahl die verlangten Mindestwerte hinsichtlich Streckgrenze und Festigkeit überschreitet, ist man meistens auch hier auf der sicheren Seite.

Ferner gewährt die Berechnung des Erddrucks eine erhebliche Sicherheit, sofern mit einer dreieckförmigen Verteilung des Erddrucks gerechnet wird und man von der Abgrenzung durch eine Kurve absieht. Voraussetzung bleibt natürlich die richtige Wahl des Reibungswinkels.

Was die Abrostung selbst anbetrifft, so müssen wir scharf unterscheiden zwischen einer scheinbaren und wirklichen Abrostung. Vielfach bestehen die Ablätterungen, die fälschlich als Rost bezeichnet werden nur aus dicken Lagen Schlick oder anderen Schwebestoffen, die durch ablaufendes Rostwasser gekittet, an der Spundwand sitzen. Ebenso könnte durch elektrolytische Vorgänge eine Anreicherung von Rost an bestimmten Stellen stattfinden. Der Ursprung dieser Rostteilchen ist unter Umständen ganz wo anders zu suchen. Dr. Ing. Klie spricht die Vermutung aus, daß die Treibölreste der Schiffe, welche eine unangenehme

Verunreinigung der Hafenwässer bedeuteten, die Spundwände im Bereich des wechselnden Wasserstandes schützen könnten.

Dies sind alles Fragen, die noch geklärt werden müssen. In metallisches Eisen umgerechnet, bedeuten diese Rostschichten, die oft mehrere Millimeter stark sein können, Verluste an Wandstärke, die nur der Bruchteil von einem Millimeter sind. Wenn man also die Abrostung an Bauwerken beobachten will, dann muß man die ursprüngliche und die verbleibende Wandstärke messen. Andernfalls entstehen Eindrücke, die zwangsläufig zu falschen Ergebnissen führen.



## VIIb 6

**Stahlrohre für Druckleitungen mit großem Durchmesser  
und hohem Innendruck.**

**Tuyaux en acier pour conduites forcées de grand  
diamètre, sous de hautes pressions intérieures.**

**Steel Pipes of Large Diameter Subject to Heavy Internal Pressure.**

**Dr. Ing. h. c. M. Roš,**

Professeur à l'Ecole Polytechnique Fédérale et Président de la Direction du Laboratoire  
Fédéral d'Essai des Matériaux et Institut de recherches pour l'Industrie, le Génie Civil et les  
Arts et Métiers, Zurich.

Die in den Jahren 1930 bis 1935 an der Eidg. Materialprüfungsanstalt bis zum Bruch durchgeführten Spannungs- und Verformungsmessungen an Stahlrohren mit hohem Innendruck ermöglichen, über die Spannungsverteilung und über die Verformungen wertvolle Kenntnisse zu sammeln. Die an Rohren von  $D = 1,8$  bis  $4,6$  m Durchmesser, Druckhöhen  $H$  bis  $1750$  m und Leistungskoeffizienten  $H \cdot D^2 = 1500$  bis  $3000$  und an den Materialien gemachten Versuche erlaubten die Festsetzung folgender Sicherheitsgrade:

Rohrart	Rechnerische Sicherheitsgrade gegenüber		
	dem statischen Bruch	der Fließgrenze	dem Dauerbruch
1. Normal- oder schraubenförmig geschweißte Rohre, Type „Sulzer“ Winterthur Normaler Baustahl Zugfestigkeit $\beta_z = 38-42 \text{ kg/mm}^2$	3,5	2,4	1,6
Hochwertiger Baustahl Zugfestigkeit $\beta_z = 42-48 \text{ kg/mm}^2$	3,5	2,4	1,4
2. Warm umschnürte Rohre, Type „Ferrum“ Kattowitz Zugfestigkeit: Rohr $\beta_z \cong 38 \text{ kg/mm}^2$ Umschnürungen $\beta_z \cong 60 \text{ kg/mm}^2$	3,4	2,3	—
3. Kaltreckung durch Innendruck nach der Umschnürung, Type „Autofrettage G. Ferrand“, Bouchayer & Viallet, Grenoble Zugfestigkeit: Rohr $\beta_z \cong 38 \text{ kg/mm}^2$ Umschnürungen $\beta_z \cong 94 \text{ kg/mm}^2$	3,9	2,0	—
4. Durch Stahldraht umschnürte Rohre (Spule), Type „Monteux“ Paris Zugfestigkeit: Rohr $\beta_z \cong 42 \text{ kg/mm}^2$ Stahldraht $\beta_z \cong 197 \text{ kg/mm}^2$	4,5	2,0	—

Die vier untersuchten Typen bekämpfen sich gegenseitig in technischer und wirtschaftlicher Hinsicht und in noch höherem Maße durch die Einführung der schraubenförmigen Schweißung. Jede dieser Typen hat ihre technischen und wirtschaftlichen Vorteile (Gewichtersparnis, Gefahr der Rostbildung, Unterhalt, Sicherheit), die in jedem Sonderfall auf Grund von vergleichenden Studien bestimmt werden müssen.

Für komplizierte Formen (Abzweigungen, Verteilungsleitung, Zuleitungsrohre zu den Turbinen, Mannlöcher großer Abmessungen, Rohrstutzen) gestatten nur mehraxige Spannungs- und Dehnungsmessungen mit ausreichender Genauigkeit auf die Beanspruchung und auf die wirkliche Sicherheit zu schließen. Auch die Methode der Rißbildungen in einer aufgetragenen Lackschicht zeitigt wertvolle Ergebnisse (Fließfiguren). Mit Hilfe von Ermüdungsversuchen und photoelastischen Untersuchungen lassen sich die Abminderungen der Spannungsspitzen erkennen. Der Spannungs- und Verformungszustand darf im Betrieb die Fließgrenze nirgends erreichen. Einzig und allein durch die Anwendung und gleichzeitige Verbesserung aller Versuchsmethoden gelingt es, die wirkliche Sicherheit der Druckleitungen zu beurteilen.

Leere Seite  
Blank page  
Page vide