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: 10.12.2025

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

VIIb

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

VII b 1

Anwendung des Stahles im Wasserbau, feste Anlagen.

Application de l'acier en construction hydraulique, installations fixes.

Use of Steel in Hydraulic Structures, Fixed Plants.

Dr. Ing. A. Agatz,
Professor an der Technischen Hochschule Berlin.

Die Behandlung des Themas „Stahl im Wasserbau" auf einem Internationalen Kongreß für Brückenbau und Hochbau mag zunächst etwas befremden. Überlegt man sich jedoch, daß der Baustoff Stahl bei der Gründung von Brücken und Hochbauten eine bedeutende Rolle spielt, so ist es verständlich, daß sich der Kongreß auch mit diesen Fragen befassen muß. In erster Linie sind es die in meinem Referat behandelten festen Anlagen, die in unmittelbarem Zusammenhang mit Brücken und Hochbauten stehen, und zwar vor allem Spundwände als modernes Universalmittel zur Herstellung von Pfeiler- und anderen Gründungen, sodann aber auch die anschließend beschriebenen Stahlpfähle sowie die anderen Grundkörper. Da jedoch die Erfahrungen, die mit Stützbauwerken aus Stahl gemacht worden sind, bedeutend zahlreicher und interessanter sind als die an Pfeilern festgestellten Beobachtungen, wird im Folgenden häufig von Stützbauwerken die Rede sein. Jedoch kann darauf hingewiesen werden, daß die Übertragung der Beobachtungen und Erfahrungen an diesen Bauwerken auf Pfeiler- und andere Grundkörper aus Stahl unschwer vollzogen werden kann.

1. *Das physikalische und chemische Verhalten des Baustoffes Stahl.*

Da die Baustoffe Holz und Eisenbeton bei ihrer Verwendung für Wasserbauten nicht in allen Fällen die erforderliche physikalische und chemische Widerstandsfähigkeit aufweisen, ging man in Deutschland vor etwa 30 Jahren erst zögernd, dann seit 1920 in immer stärkerem Maße dazu über, den Stahl heranzuziehen. Man glaubte, mit dem Einsatz dieses Baustoffes die auftretenden Angriffe in erheblichem Maße verringert und damit dem Wasserbau einen Baustoff gegeben zu haben, der wie kein anderer für dessen Zwecke geeignet ist. Man übersah jedoch noch nicht, in welchem Umfange auch der Stahl in der Luft, im Wasserwechsel, im Wasser und im Boden physikalischen und chemischen Angriffen unterliegt.

Nachdem nun die Erfahrungen fast eines Menschenalters vorliegen, ist es an der Zeit, die theoretischen Überlegungen und die Erfahrungen in den Ver-

suchsanstalten mit den Beobachtungen an fertigen Bauwerken zu vergleichen und daraus Schlüsse über die weitere Verwendungsfähigkeit und Verbesserung des Baustoffes zu ziehen. Die Schwierigkeit in den gestellten Anforderungen liegt auch für den Stahl darin, daß der Baustoff in den meisten Fällen vier verschiedene Zonen durchstößt, von denen jede ihre eigenen physikalischen und chemischen Angriffskräfte birgt, und darin, daß die verschiedenen Stahlsorten sich je nach der Zusammensetzung des Bodens und des Wassers verschieden verhalten. Es ist aber zu fordern, daß der Baustoff sich nach Möglichkeit in sämtlichen Abschnitten (Luft, Wasserwechsel, Wasser und Boden) in gleicher Weise widerstandsfähig erweist. Die Beobachtungen zeigen jedoch, daß dieses Ziel bisher noch nicht erreicht worden ist. Es erscheint bislang grundsätzlich noch nicht die Möglichkeit zu bestehen, ein und denselben Baustoff den verschiedenen Verhältnissen in den vier Zonen völlig anzupassen.

In der Luft wirken vorwiegend Sauerstoff, gegebenenfalls industrielle Gase und atmosphärische Einflüsse. Der Angriff auf den Baustoff vollzieht sich vorwiegend in der Form von Korrosion.

Im Wasserwechsel findet eine verstärkte Korrosion durch den hier erheblich stärkeren Anteil der Feuchtigkeit und die im freien Wasser vorhandenen angriffsfähigen Stoffe statt. Durch den Wasserwechsel und Wellenschlag wird der Sauerstoff in größerem Maße an den Baustoff herangeführt und dadurch die Reaktion bedeutend verstärkt. Dazu kommen mechanische Beanspruchungen durch den Schiffsverkehr, Eis u. a. m.

Zu beachten ist der Unterschied zwischen einem Wasserwechsel im Seewasser und Binnenwasser. Der Wasserwechsel im Seewasser weist umfangreichere Zerstörungen auf, weil er sich in dauernden, kurzen Abständen vollzieht (Gezeiten), der Wellenschlag intensiver ist, und der Salzgehalt des Seewassers sich ungünstig auswirkt. In den heißen Zonen spielt außerdem die Erwärmung des Wassers und des Baustoffes noch eine wesentliche Rolle.

Die Zerstörung des Baustoffes unter Wasser sollte in geringerem Maße zu erwarten sein. Das ist aber allgemein erst von einer gewissen Tiefe unterhalb des Wasserwechsels ab der Fall. Etwa die ersten 1 — 2 m unterhalb der Zone des Wasserwechsels weisen teilweise dagegen noch stärkere Zerstörungen auf als darüber und hier wiederum mehr in den heißen als in den gemäßigten Zonen.

Im Boden ist die Haltbarkeit des Baustoffes abhängig von der chemischen Angriffsfähigkeit des Bodens und des Grundwassers. Es gibt Bodenarten, in denen der Baustoff so gut wie gar nicht angegriffen wird. Ebenso kann es aber auch der Fall sein, daß Zerstörungen auftreten, deren umfassende Feststellung allerdings daran scheitert, daß man nur selten Gelegenheit hat, Spundwände nach langer Zeit wieder herauszuziehen.

2. *Die Zerstörungserscheinungen des Stahles und deren Abminderung.*

Eine mechanische Zerstörung derjenigen Stahlbauwerke, die in den Boden hineingetrieben werden, wie Spundwände und Pfähle, wird immer dann eintreten, wenn das gewählte Profil nicht im richtigen Verhältnis zu der Lagerungsdichte des Bodens und zu der gewünschten Rammtiefe steht. In solchen Fällen treten Zerstörungen am Kopf und am Fuß dieser Bauteile auf, die bis zu einer Zerstörung des Zusammenhanges der Wand führen können. Während die

im Boden befindlichen Teile der Pfähle und Spundwände dem Auge unsichtbar bleiben, kann der am Kopf auftretende Schaden durch Abbrennen beseitigt werden. Diese Maßnahme kann aber nur bis zu einer gewissen Grenze wiederholt werden, da sonst die erforderliche Rammtiefe nicht erreicht wird. Die Rammung kann an der Zerstörung des Stahles im Grund- und Wasserbau einen erheblich größeren Anteil haben als der endgültige Betriebszustand, wenn das obige Grundgesetz nicht beachtet wird.

Zur mechanischen Zerstörung gehört noch die Abnutzung infolge der Bewegung des Wassers. Stahlbauwerke, die in stehenden Gewässern errichtet sind, werden eine größere Lebensdauer zeigen als solche, die in fließendem Wasser stehen, wo die Strömung Sink- und Schwimmstoffe mit sich führt. Eine Zerstörung durch Quarzsandanteile wird z. B. frühzeitig eintreten. Wir kennen Fälle, wo bereits innerhalb von sieben Jahren Stahlspundwände in Höhe des Bodens an den am stärksten ausgesetzten Stellen durchgeschlissen sind. Der Sandschliff ist wohl der stärkste mechanische Angriff auf den Stahl, demgegenüber die Beanspruchung durch Eis- und Wasserschlag als geringfügig zu betrachten ist.

Die Abnutzung infolge des Verkehrs durch Schiffsstöße, durch An- und Ablegen der Fahrzeuge hängt in sehr starkem Maße von der Durchbiegung des Bauwerkes im Betriebszustand und dessen Schutz durch Fender usw. ab. Es ist kein Fall bekannt geworden, wo diese Abnutzung eine Größe erreicht hat, die eine Erneuerung der Anlage oder ihrer Einzelglieder erforderte. Jedoch soll man sich über diese Beanspruchung vorher Klarheit verschaffen und die Konstruktion so anordnen, daß weichere Baustoffe wie beispielsweise Holz, Rohr oder Faschinenbündel als Fender zum Auffangen größerer schädlicher Kräfte angeordnet werden.

Zerstörungen infolge der Witterung (Niederschläge und hohe Temperaturunterschiede) kommen in unseren Gegenden weniger in Betracht.

Für die Lebensdauer der Stahlbauwerke gefährlicher sind die chemischen Zerstörungen, insbesondere die Korrosion in den einzelnen Zonen. Die bislang in Deutschland gemachten Erfahrungen weichen so stark voneinander ab, daß es bisher noch nicht gelungen ist, alle Erscheinungen auf einen einheitlichen Nenner zu bringen, obwohl gerade die Korrosion auf Tagungen und in Veröffentlichungen sehr ausführlich behandelt worden ist, und sich eine sehr ausgedehnte Literatur über diese Frage vorfindet. Ich kann es mir daher versagen, auf diesen Gegenstand näher einzugehen, möchte jedoch darauf hinweisen, daß es wegen der Korrosion auch heute noch unmöglich ist, mit Sicherheit die Lebensdauer von Stahlbauwerken anzugeben, da die Abrostungsziffern, die gelegentlich von einzelnen Werken der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden, sehr starke Unterschiede aufweisen. Das ist nicht zu verwundern, da die Bauwerke unter den verschiedensten Verhältnissen beobachtet worden sind, und gerade die Korrosion in sehr starkem Maße von der Zusammensetzung des Wassers, der Luft und des Bodens sowie von der Temperatur abhängig ist. Es gibt Gegenden in Deutschland, die deswegen eine raschere Zerstörung des Stahles begünstigen, während an anderen Stellen ohne allzu ersichtliche und chemisch feststellbare Unterschiede in der Zusammensetzung des Wassers die Lebensdauer des Stahles ein Vielfaches von dem dortigen Maß beträgt.

Ich darf dabei auf die Erfahrung hinweisen, daß durchgehende Stahlwände weniger dem Abrosten unterliegen als einzelne im Wasser stehende Pfähle. Bei diesen ist z. B. an einer Stelle der Nordseeküste innerhalb von 20 Jahren eine Zerstörung des Stahles eingetreten, während eine danebenstehende Wand gleichen Querschnitts nach derselben Zeit eine zwar etwas verstärkte Abrostung zeigt, ohne daß die Konstruktion aber als baufällig zu bezeichnen ist.

Ohne Zweifel spielt die Zusammensetzung des Stahles eine wesentliche, aber noch nicht völlig geklärte Rolle.

Auf Grund der Untersuchungen einzelner Behörden kann man die *unterste* Grenze der Lebensdauer von Stahlpfählen und -spundwänden unter dem Einfluß der Korrosion bei normalen Verhältnissen auf mindestens 60 Jahre schätzen, ein Maß, das in Anbetracht der verkehrswirtschaftlichen Lebensdauer derartiger Anlagen in jeder Beziehung als ausreichend angesehen werden muß. Ich darf jedoch darauf hinweisen, daß die obere Schätzungsgrenze sich bis auf mehrere hundert Jahre erstreckt, ein Maß, das natürlich einer wissenschaftlichen Prüfung nicht standhalten kann.

Nachprüfungen an einer verkehrswasserbaulichen Anlage an der Wesermündung ergaben nach achtjährigem Betrieb eine Abrostung der Stahlspundwand von 0,2 mm.

Eine Art von Zerstörung, die nicht zu gering eingeschätzt werden darf, ist die Elektrolyse. Die Vorbedingung für das Entstehen elektrolytischer Vorgänge im Stahlbau ist die Verwendung von Baustoffen verschiedener Zusammensetzung (es kann gegebenenfalls die Verwendung verschiedener Stahlsorten genügen, nicht etwa verschiedener Metalle) unter Hinzutreten von Feuchtigkeit. Dieses Gebiet wird in Zukunft noch sehr weitgehend bearbeitet werden müssen, damit man vor Schäden geschützt ist.

Wie bereits in der Einleitung angedeutet ist, lassen sich über die Häufigkeit des Auftretens der Zerstörungen nur bedingt Angaben machen. Jedoch wird gewöhnlich der Sitz der Zerstörung entweder in der Zone des Wasserwechsels oder einige Meter darunter zu suchen sein. Von den Zerstörungserscheinungen sind die Korrosion und die Rammbeschädigung die häufigsten und gefährlichsten.

Die Ursachen größerer Zerstörungen lassen sich aus dem vorher Gesagten leicht ableiten. Ihre Bedingungen lassen sich bislang durch menschliche Maßnahmen noch nicht genügend beeinflussen. Sie müssen vorerst als gegeben hingenommen werden, und das Bestreben des Ingenieurs muß darauf hinauslaufen, eine Verminderung der Zerstörungen auf anderem Wege zu erzielen.

Hier ist zunächst das Vorhandensein oder die Entfernung der Walzhaut von Bedeutung. Die Walzhaut ist ein unvermeidbarer Übelstand des Walzvorganges, da sie keine zuverlässige Verbindung mit dem darunter liegenden Stahl mehr besitzt. Sie neigt daher leicht zum Abspringen, sobald ein Keil zwischen sie und den Baustoff tritt. Man hat die Möglichkeit, sie durch Sandstrahlgebläse zu entfernen. Jedoch wird man sich im Wasserbau in der vorwiegenden Zahl von Fällen damit abfinden, die Walzhaut an dem Baustoff zu belassen.

Die Maßnahmen, die gegen die geschilderten Zerstörungen ergriffen werden können, liegen in der Zusammensetzung des Stahles, im äußeren Anstrich, in Metallüberzügen, in Einbetten in Beton und in der äußeren Formgebung. Von allen sollte man den bisher mit Erfolg beschrittenen Weg der inneren Ver-

besserung des Baustoffes bevorzugen. Auch wenn mit dem Zusatz von Kupfer die ursprünglich auf Grund von Laboratoriumserfahrungen gehegte Hoffnung sich in der Praxis nicht überall gleich erfüllt hat, ist doch in vielen Fällen durch die richtige Bemessung des Zusatzes eine größere Widerstandsfähigkeit des Stahles erzielt worden, die sich zum mindesten beim Rammen günstig auswirkt. Die Erfahrungen, die man mit hochwertigen Stählen im Betriebszustand gemacht hat, weisen allerdings nicht überall auf eine uneingeschränkte Zweckmäßigkeit dieser Beimengungen hin.

Die Erfahrungen sind in Deutschland sowohl wie in England unter sich sehr uneinheitliche. Während man in England an einer Stelle festgestellt hat, daß gewöhnlicher Stahl am stärksten bei völligem Eintauchen in sehr salzigem Wasser und am wenigsten beim völligen Eintauchen in Brackwasser korrodiert, rostet Chromstahl leichter über Wasser als unter Wasser. Er zeigte sich jedoch im ganzen als überlegen. An einer anderen Stelle stellte man dagegen sehr starke örtliche Anfressungen beim Chrom-Nickel-Stahl fest und mußte die Erfahrung machen, daß durch Kupfer keine Verbesserung erzielt werden konnte.

Der Schluß, den man aus den in England gemachten Erfahrungen ziehen kann, läuft darauf hinaus, daß der Kohlenstoffstahl anscheinend in der Luft der überlegene ist, während der "wrought iron" (Schmiedestahl) im Wasserwechsel und unter Wasser den größeren Widerstand geleistet hat. Merkwürdigerweise bringt ein Zusatz von Kupfer zwar größeren Widerstand gegen Luft- und Süßwasserkorrosion, aber nicht gegen Korrosion im Wasserwechsel und unter Wasser an der See. Das Gleiche kann auch von Chromstahl und Nickelstahl gesagt werden.

Interessant sind die Auswirkungen der Elektrolyse beim Zusammenbringen verschiedener Stahlsorten im Seewasser. Die hierbei auftretenden Vorgänge schützen den Stahl 37 auf Kosten von Schmiedestahl und den Chrom- bezw. Nickelstahl auf Kosten des Kohlenstoffstahls. Es wird also jeweils der Baustoff größerer Güte auf Kosten des Baustoffes geringwertigerer Zusammensetzung geschützt.

Die Verwendung äußerer Anstriche zum Schutz von Stahlbauten[1] kann sich eigentlich nur auf den der Luft zugekehrten Teil beziehen. Für Teile, die unter Zwang in den Boden hineingepreßt werden, sollte der Anstrich abgelehnt werden, da er beim Einrammen bestimmt teilweise zerstört wird. Man muß sich ferner darüber klar sein, daß der äußere Anstrich einer laufenden Unterhaltung bedarf. Die hier aufgewendeten Kosten sind zu der verkehrswirtschaftlichen Lebensdauer der Anlage in Beziehung zu bringen. Einen vollkommenen Schutz ohne weitere laufende Unterhaltung bietet kein einziger zurzeit auf dem Markt befindlicher Anstrich. Die Behauptung der Hersteller, daß es möglich sei, auch bei Rammung durch scharfen Sand den Anstrich unbeschädigt in den Untergrund einzubringen, kann nur als theoretische Feststellung gewertet werden.

Hingegen sind die Metallüberzüge (Zink oder Blei) von außerordentlichem Wert und lassen eine Abnutzung durch Korrosion nicht in Erscheinung treten. Da diese Überzüge aber sehr teuer sind, kommen sie nur für Einzelkonstruk-

[1] Vgl. auch die Ausführungen von Herrn Ministerialrat *Burkowitz*.

tionsteile wie Steigeleitern, Haltekreuze, Halteringe, Kantenschutzeisen usw. in Frage, aber nicht für Spundwände und Pfähle.

Auch das nur schwache Einbetonieren von Stahlpfählen und Spundwänden bietet keinen dauerhaften Schutz, weil bekanntermaßen der Beton an Eisen mit großen Flächen nur schwer haftet.

Die äußere Formgebung der Wände kann bei dem Angriff von Wellenschlag, Strömungen und Sandschliff wesentlich zur Verminderung der Schäden beitragen. Es sind daher Profile ausgebildet worden, die eine möglichst ebene Fläche gewährleisten, um Wirbelbildungen und damit auftretende Reibungsflächen zu vermeiden.

Es fragt sich nun, wieweit die geschilderten Maßnahmen zur Verringerung der Zerstörungen dazu beitragen, im Wasserbau die vorhandenen Stahlquerschnitte voll in Rechnung setzen zu können, d. h. wieweit es gerechtfertigt ist, beim Entwurf des Bauwerkes die vorhandenen Abmessungen der Stahlteile der Berechnung zugrunde zu legen. Hierüber lassen sich einheitliche Regeln nicht geben. Man wird nicht immer ohne Abzüge für das Abrosten des Bauwerkes auskommen, besonders wenn an der betreffenden Örtlichkeit Erfahrungen über verstärkte Angriffe auf den Stahl vorliegen. In Deutschland sind dies allerdings bislang erfreulicherweise nur vereinzelte Stellen, und zwar hauptsächlich an der Küste. In allen übrigen Fällen sollte meines Erachtens keine Veranlassung bestehen, beim Baustoff Stahl mit verminderten Beanspruchungen zu rechnen, um die Lebensdauer des Stahles anscheinend dadurch heraufzusetzen. Ich würde dieses sogar als eine nutzlose Verschwendung von Baustoff bezeichnen.

3. *Die Entwicklung der Anwendung des Stahles im Wasserbau.*

Wenn man berücksichtigt, daß der Baustoff Stahl vor 30 Jahren in Deutschland für unbewegliche Anlagen hauptsächlich nur für Ausrüstungsteile von verkehrswasserbaulichen Anlagen wie Poller, Steigeleitern, Haltekreuze, Halteringe, Kantenschutz, Anker u. a. m. verwendet wurde, so hat heute die Anwendung des Stahles in Gestalt von Spundwänden in solchem Maße zugenommen, daß für derartige Bauten mehr Stahl als Holz und Eisenbeton verwendet wird. Die Erzeugung ist in Deutschland auf schätzungsweise mehr als rd. 200000 t im Jahr gestiegen. Folgende Umsatzzahlen eines großen deutschen Werkes geben einen Anhalt für die zunehmende Verwendung von Stahl für Wasserbauten (bezogen auf den Wert in *RM*):

1910: 100	1925: 196	1928: 1183	1932: 373
1915: 130	1927: 855	1930: 790	1934: 1150

Auch Rammstahlpfähle beginnen sich in den letzten fünf Jahren Eingang zu verschaffen und werden meines Erachtens noch weiter vordringen und Pfähle aus Holz und Eisenbeton zurückdrängen, wenn nicht der Eisenbeton für diese Anwendungsgebiete ebenfalls neue Wege geht.

4. *Die Anwendungsmöglichkeiten.*

Den vorwiegenden Anteil der Verwendung des Stahles im Grund- und Wasserbau bilden beim heutigen Stand der Dinge die Spundwandbauwerke, deren Verbreitung noch ständig zunimmt, da sie neben fertigen Bauwerken auch für

Bauausführungen z. B. als Abstützung von Baugruben Verwendung finden. Sie treten nicht nur in Wettbewerb mit dem Pfahlrost-, sondern auch mit dem massiv gegründeten Bauwerk (Druckluft- und Brunnengründungen).

Ihr Vorteil liegt in der Wirtschaftlichkeit, Bequemlichkeit und Schnelligkeit der Herstellung des Bauwerkes. Das Rammen bringt eine Ersparnis an Bodenaushub und Wasserhaltung mit sich. Dafür werden allerdings an die Spundwandstähle besondere Anforderungen gestellt, die man kurz zusammenfaßt als hohe Werte der Streckgrenze, Dehnung, Kerbzähigkeit, des Korrosionswiderstandes und des Verschleißwiderstandes bezeichnen kann. Diese Werte weichen bei den verschiedenen handelsüblichen Stahlsorten voneinander ab, lassen sich jedoch für ein und dieselbe Stahlsorte durchaus nebeneinander entwickeln. Von den verschiedenen Spundwandwerken sind Sonderstähle geliefert worden, die alle in sich ähnlich und wohl als gleichwertig zu bezeichnen sind.

Man wird auf diese hochwertigen Stahlsorten jedoch nur in Ausnahmefällen zurückgreifen und im allgemeinen sich mit der Anwendung des normalen Baustahles begnügen. Dadurch, daß bei seiner Verwendung die Profile stärker ausfallen als bei der Wahl hochwertiger Stahlsorten mit größeren zulässigen Beanspruchungen, weist das Spundwandbauwerk eine geringere Durchbiegung auf. Ferner wird die für manche Fälle größere Anfälligkeit gegen Korrosion zum Teil dadurch wieder ausgeglichen, daß bei der größeren Stahlmenge des Bauwerkes eine Abrostung von 1—2 mm das Profil prozentual doch in geringerem Maße schwächt, als dies bei den dünnwandigen Profilen des hochwertigen Stahles der Fall ist. Ferner kann ein größeres Trägheitsmoment bei langen Spundwänden für den Rammvorgang von Vorteil sein, da die auftretenden Spannungen beim Einbringen in den Boden, insbesondere die Knickkräfte und Schwingungen verringert werden. Manchmal wird es sich trotzdem nicht umgehen lassen, von hochwertigen Stahlsorten Gebrauch zu machen, insbesondere wenn der Baustoff sehr stark auf Kerben beim Rammen und auf einen starken Verschleiß beansprucht wird.

Aus den im zweiten Abschnitt dargestellten Überlegungen geht hervor, daß über die zweckmäßige Zusammensetzung hochwertigen Stahles das letzte Wort noch nicht gesprochen ist. Vom wirtschaftlichen Standpunkt aus läßt sich überdies eine eindeutige allgemeine Entscheidung über den Vorzug des normalen oder hochwertigen Stahles nicht fällen.

Die Anforderungen an das Spundwandprofil sind folgende:

Ein hohes Widerstandsmoment bei geringem Gewicht, d. h. eine hohe Güteziffer. Eine geringe Durchbiegung, bedingt durch große Profilhöhe. Dichtigkeit der Wand, die im wesentlichen durch die Schloßform und die Schloßlage erzielt wird. Eine gute Schloßführung und eine geringe Verkantung und Drehung der Wand beim Rammen.

Betrachtet man die Verbreitung der einzelnen Spundwandprofile, so stellt sich heraus, daß die einschlossige und einwandige Wand rein zahlenmäßig den Markt beherrscht. Die einschlossige, zweiwandige Wand (Kastenprofil) und die zweischlossige, zweiwandige Wand (Peiner Profile) kommen nur für Bauwerke mit größeren Abmessungen in Frage, die aber bei den wachsenden Verkehrsanforderungen der letzten Jahre immer häufiger auftreten.

Der Vorteil der Wellenprofile gegenüber den zweiwandigen Profilen ist eine leichtere Anschlußmöglichkeit für die Konstruktionsteile und ein leichteres Rammen, da die Bodenverdrängung geringer ist und Hindernisse bis zu einem gewissen Grade umrammt werden können. Man wird daher bei Bauwerken wie Fangedämmen, die eine sehr starke innere Verstrebung und Versteifung erfordern, nach Möglichkeit versuchen, mit Wellenprofilen auszukommen, wenn man nicht auf den statisch klareren einwandigen Fangedamm zurückgreifen will, für den allerdings dann die doppelschlossige, zweiwandige Wand Vorteile bietet.

In den letzten Jahren hat man auch Versuche mit geschweißten Profilen verschiedenster Form gemacht, die für Bauausführung und Betrieb bei der in Deutschland hochausgebildeten Schweißtechnik den gewalzten Profilen gegenüber als vollwertig anzusehen sind. Ob sie sich Eingang verschaffen werden, wird von der Wirtschaftlichkeit abhängen. Es bleibt den Stahlwerken überlassen, hier neue Wege zu gehen.

Zu den Anforderungen an den Baustoff und an die Profile treten schließlich noch die Anforderungen an die fertige Wand. Die Ausführung eines Wasserbauwerkes in der Spundwandbauweise ist dadurch beschränkt, daß diese es gestattet, lediglich glatte Wände herzustellen, aber auch diese nur unter Zubilligung gewisser unvermeidbarer Abweichungen von der vorgesehenen Flucht. Man kann daher in dieser Bauweise nur solche Wände vorsehen, bei denen kleine Ungenauigkeiten keine große Rolle spielen. Ferner wird dadurch, daß die Wand von oben bis unten glatt durchgeht, und das nachträgliche Anbringen von Aussparungen nahezu unmöglich ist, das Bauwerk immer einen rohen blockartigen Charakter tragen. Es wird in vielen Fällen gelingen, durch Abschneiden der Spundwand über dem höchsten Wasserstand und Aufbringen einer Eisenbetonkonstruktion, deren Form feiner ausgearbeitet werden kann, einen Ausweg zu finden. Indessen wird die Spundwandbauweise Bauwerken, die eine größere Feinarbeit in ihrem Äußeren erfordern, verschlossen bleiben.

Wie vorher schon erwähnt, zeugt der gewaltige Umsatz der Stahlspundwände in Deutschland davon, daß sie bei den verschiedenartigsten Bauten Verwendung gefunden haben. Sie hier im einzelnen aufzuführen, erübrigt sich. Zu bemerken ist, daß es auf Grund der Erfahrungen bei Bauausführungen heute keine Schwierigkeit mehr bietet, Spundwände von 30—35 m Länge unter Beobachtung der erforderlichen Maßnahmen ungefährdet in den Untergrund einzutreiben. Bei den Peiner-Spundwänden haben wir Profilstärken, die theoretisch jede freie Höhe eines Geländesprunges sichern, wenn man nicht zu der aufgelösten Konstruktion einschlossiger Spundwände z. B. Stahlfangedämmen übergehen will.

Auch Versuche mit quergeschweißten Spundwänden, die unternommen wurden, um den Transport zur Baustelle zu vereinfachen, haben das gute Verhalten dieser Bohlen beim Rammen erwiesen. Hinzuweisen sei noch auf die von mir erstmalig verwendete Verstärkung von einschlossigen Spundwänden durch Aufschweißen von Flacheisenlamellen dort, wo das größte Widerstandsmoment erforderlich wird. Der bislang achtjährige Betrieb hat Nachteile noch nicht gezeigt.

Aus der Spundwandbauweise hat sich infolge der Forderung nach Aufnahme senkrechter Belastungen durch die Bohlen die Verwendung des Stahles auch für Pfähle entwickelt, nachdem man auf Grund von Belastungsversuchen von ein- und zweischlossigen Spundwänden ihre hohe Brauchbarkeit für diesen Zweck

festgestellt hatte. Die Anforderungen, die an den Stahl für Pfähle gestellt werden, sind dieselben wie die an Spundwände. Die Anforderungen an das Profil des Stahlpfahles sind folgende:

Bei Pfählen, die nicht durch Rammung, sondern durch Einschrauben in den Boden gebracht werden, muß das Profil so ausgestaltet werden, daß einmal der nötige Stützwiderstand, durch den die Tragfähigkeit des Pfahles bedingt ist, im Boden erzeugt wird, und außerdem die Pfähle beim Einbringen möglichst unempfindlich gegen Steine und andere sperrige Stoffe im Untergrund sind. Daraus ergeben sich gewisse Anforderungen an die Breite und den Gang des Gewindes. Diese Art von Stahlpfählen hat allerdings in Deutschland kaum Verwendung gefunden, da sie bei unseren Bodenverhältnissen nur einen zweifelhaften Erfolg haben würde. Sie ist dagegen in abgelegenen Gegenden wie in den Tropen häufiger anzutreffen, da hier das Heranschaffen neuzeitlicher Baugeräte mit Schwierigkeiten verknüpft ist.

Im Gegensatz zu den Schraubpfählen haben sich die Rammpfähle in Deutschland in den letzten Jahren eingeführt. Wir stehen hier noch am Anfang einer Entwicklung, denn der zahlenmäßige Verbrauch von solchen Pfählen ist bisher nur gering gewesen. Man muß von den Profilen der Rammpfähle fordern, daß sie eine große Reibung zwischen Pfahl und Erde gewährleisten, ohne daß der Rammwiderstand deswegen unüberwindlich groß wird. Ferner wird ein ausreichender Pfahlquerschnitt nötig sein, damit die Tragfähigkeit nicht durch die zulässige Beanspruchung des Baustoffes beschränkt wird. Das Profil muß über ein genügend hohes, möglichst allseitig gleiches Trägheitsmoment verfügen, damit der Pfahl sowohl beim Einbringen als im Betriebszustand die nötige Knicksicherheit aufweist. Damit der Pfahl seine vorgesehene Lage im Untergrund wenigstens annähernd erreicht, muß das Profil gegen das Abbiegen in der Erde beim Rammen genügend biegungssteif sein.

Man ist hinsichtlich der Ausbildung von Stahlpfählen zwei verschiedene Wege gegangen. Auf dem einen versucht man, die Tragfähigkeit des Pfahles weniger durch die Mantelreibung von Boden auf Stahl als durch einen großen Spitzenwiderstand zu erzielen, wobei aber wegen des großen Rohr- oder Kastenquerschnittes beim Rammen beträchtliche Bodenmengen verdrängt werden müssen, wenn man ihn nicht einspült und die dann eintretenden Nachteile in Kauf nimmt.

Auf andere Weise erzielt man die Tragfähigkeit in erster Linie durch Mantelreibung von Boden auf Boden, indem man beim Rammen den Boden künstlich so fest in die Flanschen der I-förmigen Pfähle hineinpreßt, daß dieser Druck größer ist als die Reibung von Boden auf Stahl. Diese Pfähle haben den Vorteil, daß sie im unteren Teil verhältnismäßig schmal sind und den Boden nur wenig verdrängen.

Die erstere Art von Pfählen findet sich in der Form von Rohren oder Spundwandkästen, die mit oder ohne Bodenfüllung bezw. künstlichen Spitzen gerammt werden. Da sich der Boden jedoch bereits nach kurzem in das Profil verspannt, spielt es für den Rammwiderstand kaum eine Rolle, ob der Pfahl unten einen Betonpfropfen besitzt oder nicht. Man kann also dessen Einbringen als überflüssige Vorsicht und unwirtschaftlich bezeichnen.

Lediglich bei stark aggressiven Gewässern hat man die gesamte Erdfüllung des Pfahles nachträglich ausgespritzt und durch Beton ersetzt. Man behält

beim Abrosten der Stahlteile später einen Betonpfahl übrig, in den man bei Bedarf vorher auch noch Eisen einlegen kann.

Die offenen Profile bestehen aus Doppel-T-Trägern ohne Wulst (Flacheisenspitze), die eine verhältnismäßig geringe Tragfähigkeit aufweisen. Aus diesem Grunde hat man den Doppel-T-Träger mit einem Wulst versehen, der bei richtiger Lage und Länge die Tragfähigkeit des Druck- und Zugpfahles erheblich heraufsetzen kann.

Zweckmäßiger als Doppel-T-Träger ist die Verwendung von Breitflanschprofilen mit oder ohne Wulst. Verwendet man Peiner Spundbohlen, so wird man beim Zusammenrammen mehrerer Einzelbohlen Pfähle erhalten, bei denen die Anbringung von Wulsten innerhalb sich erübrigt, da der Boden sich zwischen den einzelnen Flanschen sehr schnell einpreßt. Man erhält hier eine Zwischenkonstruktion zwischen geschlossenen und offenen Profilen.

Weitere offene Profile sind U- oder Z-Spundbohlen, die man einzeln oder zusammengesetzt rammen kann. Hier ist bisher auf die Anbringung eines Wulstes verzichtet worden, da man diese Querschnitte meist dann verwenden wird, wenn die senkrechte Beanspruchung eine Teilbeanspruchung ist, und die hauptsächlichen Kräfte wagrecht auftreten.

Geschweißte Träger sind als Stahlpfähle noch nicht in Erscheinung getreten. Jedoch scheint gerade diesen ein großes Feld der Anwendung offen zu liegen, da ihre Anpassungsfähigkeit an die besonderen Anforderungen des Rammpfahles eine sehr viel größere ist als die der gewalzten Profile.

Die Tragfähigkeit, die man bisher durch die Versuche mit den verschiedenen Pfahlarten festgestellt hat, ist im Vergleich zu den Holzpfählen sehr hoch, zu den Eisenbetonpfählen fast gleich. Dabei lassen sich große Unterschiede zwischen den offenen und geschlossenen Profilen nicht nachweisen. Die Erfahrungsmaße, die man für Druckpfähle erhalten hat, schwanken bei Sandboden zwischen 80 und 120 t, bei einer Einsenkung von max. 2—8 mm für Wulstpfähle. Die Belastung von Peiner Doppelbohlen in der Wand hat eine Tragfähigkeit von rd. 300—350 t bei 15—20 mm Eindringung ergeben. Versuche über den Widerstand von Zugpfählen liegen nur sehr spärlich vor, so daß daraus noch kein Urteil über den Zugwiderstand von Stahlpfählen gebildet werden kann. In Bremen wurden 70—80 t bei einer bleibenden Hebung von 3—4 mm festgestellt.

Die Anwendung von Stahlpfählen im Großen hat sich bisher auf Verstärkung von Kaimauern in Hamburg und Bremen erstreckt.

Die Erfahrung hat aber gezeigt, daß man offene Piers nicht aus Stahlpfählen bauen soll, da sie der Korrosion zu starke Angriffsflächen bieten. Man sollte sie daher durch eine Spundwand umschließen und mit Boden umgeben.

Seit langem werden Stahlmäntel für Eisenbetonpfähle dann verwendet, wenn der Eisenbetonpfahl durch aggressive Bodenschichten hindurchgeführt werden muß, und wenn es sich um Sonderkonstruktionen wie Rohr- und Preßpfähle handelt, wo das Rohr wieder gezogen wird. Besondere Anforderungen werden hierbei an den Stahl nicht gestellt. Große Neuerungen sind auf diesem Gebiete nicht zu verzeichnen.

An Stelle von Eisenbeton und Mauerwerk verwendet man bei Brunnen ebenfalls Stahl, wenn es sich um Abtäufen durch aggressive Wasser- und Boden-

schichten handelt. Die Ausführung von Brunnen in Stahl ist jedoch außerordentlich selten gegenüber der Ausführung in Beton.

Desgleichen steht die Verwendung von Stahlcaissons hinter der von Eisenbeton zurück, da der Stahl mit Betonfüllung nur selten die genügende Wirtschaftlichkeit für diese Bauweise aufweist. Man wird ihn verwenden, wenn infolge von ungünstigem Baugrund sehr starke Beanspruchungen an den Baustoff gestellt werden, die sich vorher nicht übersehen lassen. Im Betrieb zeigen die Stahlcaissons keine Nachteile, wie die großen Bauausführungen deutscher Firmen im In- und Auslande bewiesen haben.

Zum Schluß sei noch auf einige Ausrüstungsgegenstände für Verkehrswasserbauten in Stahl hingewiesen, auf die ich vorher schon kurz eingegangen bin. Es handelt sich hier hauptsächlich um Poller, Steigeleitern, Haltekreuze, Halteringe, Kantenschutzeisen u. a. m.

Die Anforderungen an den Stahl liegen hier vor allem in einer sehr großen Verschleißfestigkeit. Da es sich stets um geringe Mengen Stahl handelt, kann man die Zusammensetzung des Baustoffes hochwertiger gestalten, als dies bei den großen Massen der anderen Wasserbauwerke der Fall ist.

Bei Eckverkleidungen ist immer darauf zu achten, daß eine möglichst einwandfreie Verankerung im Mauerwerk bezw. Beton vorhanden ist, da infolge des Schwindens des Betons und der stärkeren Ausdehnung sich zwischen Stahl und Beton eine Fuge einstellt.

5. *Entwicklungsmöglichkeiten.*

Wie die unter 3 mitgeteilten Ziffern über den Umsatz bereits gezeigt haben, hat die Verwendung von Stahl im Grund- und Wasserbau in den letzten $1^1/_2$ Jahrzehnten einen gewaltigen Aufschwung genommen. Das ist unzweifelhaft darauf zurückzuführen, daß die Werke alles daran gesetzt haben, den Baustoff zu verbessern und die Formen der Bauwerksglieder weiter zu entwickeln, um sie den verschiedenen Beanspruchungen gegenüber widerstandsfähig zu machen.

Wir müssen uns jedoch darüber klar sein, daß wir auch im Stahl noch keinen Baustoff besitzen, der alle Nachteile der Baustoffe Holz und Eisenbeton überwunden hat. Er ist besonders den Angriffen der Korrosion unterworfen, die seine Verwendungsfähigkeit noch einschränken.

Leichter als eine Verbesserung der Baustoffe wird es sein, zu einer Vergrößerung der Widerstandsmomente von Spundwänden und Pfählen zu kommen, zumal die Walztechnik erhebliche Fortschritte in der Herstellung großer Profile erzielt hat, und die Schweißtechnik uns die Möglichkeit gibt, Formen zu verwenden, die jeweils den Bedürfnissen angepaßt werden können.

Das Endziel, einen Stahl herzustellen, der die gestellten Forderungen weitgehender erfüllt, als dieses noch heute der Fall ist, kann nur durch vertrauensvolle Zusammenarbeit zwischen Physikern, Chemikern, Eisenhüttenleuten, Walzwerkern, Statikern, Konstrukteuren und Baupraktikern erreicht werden, wobei die Erfahrungen an ausgeführten und fertigen Bauwerken auch für die Zukunft eine unentbehrliche Rolle spielen.

Zusammenfassung.

Die Erfahrungen, die bisher im Grund- und Wasserbau mit dem Baustoff Stahl gemacht worden sind, werden zusammenfassend wiedergegeben. Das physikalische und chemische Verhalten des Baustoffes Stahl wird in den einzelnen Beanspruchungszonen: in der Luft, im Wasserwechsel, im Wasser und im Boden, auseinandergesetzt. Die einzelnen angreifenden Kräfte und die Mittel, deren schädlichen Einfluß möglichst gering zu halten, werden beschrieben. Die Lebensdauer von Stahlbauwerken wird erläutert. Als Gegenmaßnahmen gegen die geschilderten Zerstörungen kommen in Betracht: Zusammensetzung des Baustoffes Stahl, äußerer Anstrich, Metallüberzüge, Einbetten in Beton und äußere Formgebung der Stahlbauteile. Nach einer kurzen Betrachtung der Entwicklung der Stahlerzeugung für den Wasserbau werden die einzelnen Anwendungsmöglichkeiten geschildert, dabei stehen die Spundwandbauwerke im Vordergrund. Die Anforderungen an die Spundwandstähle und -profile werden dargelegt. Weitere Verwendungsmöglichkeiten sind Stahlpfähle, Brunnen, Senkkästen und Ausrüstungsgegenstände für Verkehrswasserbau wie Poller, Steigeleitern usw.

VIIb 2

Stahldruckrohr des Kraftwerkes „La Bissorte".

Le tuyau d'acier de l'usine hydro-électrique de „La Bissorte".

Steel Pressure Pipe for the Hydro-electric Plant „La Bissorte".

J. Bouchayer,
Administrateur-Délégué des Etablissements Bouchayer et Viallet, Grenoble.

Die stählerne Druckrohrleitung des 100 000 PS-Kraftwerkes „La Bissorte" ist eine der bemerkenswertesten neuzeitlichen Anlagen dieser Art. Über die allgemeine Anordnung und den Bau der Rohrleitung soll im Folgenden berichtet werden.

Beschreibung der Druckrohrleitung.

Die 3037 m lange Leitung besteht vollkommen aus Stahl, ihr Gesamtgewicht beträgt 3800 t. Sie tritt aus der Talsperre auf Kote 2028 aus und endet in Kote 936. Der Stauspiegel des Staubeckens liegt in Höhe 2082. Rechnet man die Druckstöße ein, so ergeben sich am unteren Rohrteile die beträchtlichen Drücke von 132 kg/cm². Der Durchmesser der Rohrleitung wurde für 7,500 m³/sk berechnet.

Die Leitung besteht aus zwei Hauptteilen: einem Abschnitt mit schwacher Neigung von 1080 m Länge, der ganz in gehauenen Fels eingelassen ist und einem stark geneigten Abschnitt von 1957 m Länge.

Die Rohre des schwach geneigten Teiles haben 1,80 m ∅; sie sind elektrisch geschweißt und am oberen Ende mit Schiebern und Sicherheitsvorrichtungen versehen. Im stärker geneigten Abschnitt sind mit Wassergas geschweißte Rohre von 1,40 m ∅ angeordnet, im unteren Teil bandagierte Rohre von 1,40 und 1,30 m Durchmesser. Auch hier sind Ventile und Sicherheitsvorrichtungen eingebaut.

Zwischen diesen beiden Hauptabschnitten ist ein Wasserschloß als Stahlrohr von 2,5 m ∅ und 70 m Höhe eingebaut, das in einem in den Felsen gehauenen Schacht steht.

Der untere Teil der Druckrohrleitung kreuzt vor dem Kraftwerk die Mont-Cenis-Bahn (Frankreich—Italien) und endet dann in einem Verteilrohr mit drei Abzweigungen, deren jede zu einer Turbine mit einer Leistung von 34 700 PS führt.

Die Bauarbeiten waren wegen der starken Neigungen und der Schwere der Rohre, von denen einzelne bis zu 15 t wogen, recht schwierig. Die Rohrleistung wird bestimmt durch HD^2 (H = Fallhöhe, D = mittlerer maßgeblicher Rohr-

Durchmesser). Die Druckrohrleitung von „La Bissorte" ist wegen der Rekordzahl von $HD^2 = 2360$ beachtenswert. Sie wurde berechnet einerseits um dem Vacuum zu widerstehen, anderseits für einen statischen Druck entsprechend dem höchsten Stauspiegel; im einen Falle erhöht um einen linearen Zuschlag von 15 % infolge der Druckstöße beim Schließen der Turbinen, im andern Fall um eine 55 m höhere Wassersäule infolge der Druckschwankungen. In jedem Punkte wird der höhere Wert angenommen.

Die bei diesem Höchstdruck auftretenden Beanspruchungen betragen:

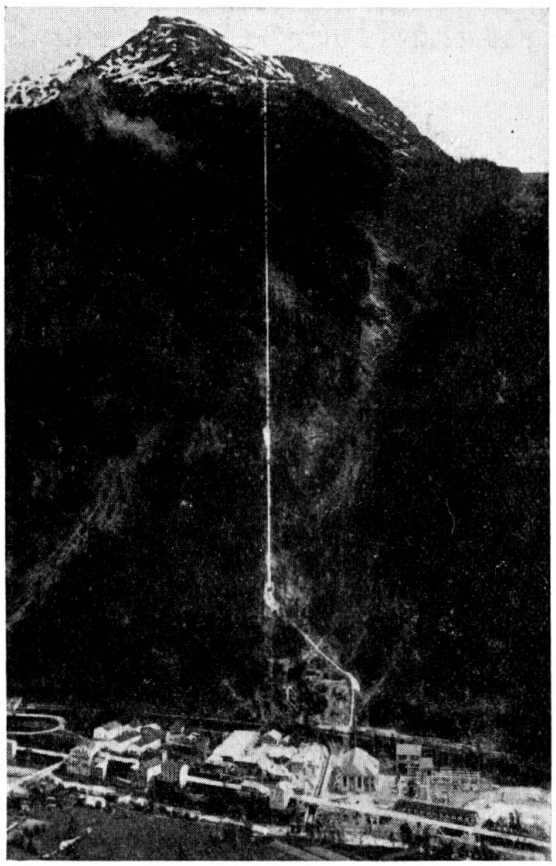


Fig. 1.
„La Bissorte", Gesamtansicht der Druckleitung.

8 kg/mm² für die Rohrwandungen,
24 kg/mm² für die Bandagen,
2 kg/cm² Bodendruck unter dem tragenden Mauerwerk.

Für die Herstellung der Stahlrohre fand besonders weicher Siemens-Martin-Stahl mit Höchstwerten der Zugfestigkeit von 35 kg/mm² und der Dehnung von 30 % Verwendung. Für die Bandagen wurde Spezial-Siemens-Martin-Stahl mit Mindestwerten für Zugfestigkeit, Elastizitätsgrenze und Dehnung von 90 kg/mm², 60 kg/mm² und 8 % verwendet.

Flache Strecke.

Dieser Teil umfaßt: ein Verankerungs- und Dichtungsstück von einem inneren ∅ von 1,8 m; Länge 80 m vom Zulaufstollen (Kote 2028,86) bis Apparaten-Kammer (Kote 2028,78), mit einer Neigung von 1 ‰. Die Rohre dieses Abschnittes sind lichtbogengeschweißt und haben 12 mm Wanddicke. Sie wurden

in Stücken von 9 m Länge zur Baustelle gebracht, dort ineinandergeschoben und mittels Lichtbogenschweißung verbunden.

Die Rohre sind völlig in den Stollen einbetoniert, um eine feste und dichte Verankerung zu erreichen. Nach dem Betonieren wurden auf der ganzen Strecke Injektionen durch die Rohrwände ausgeführt.

Eine Leitung (innerer ∅ 1,8 m) von 1000 m Länge erstreckt sich von der Apparatenkammer (Kote 2028,78) bis zum Kugelschieber am Anfang der starken Steigung auf Kote 2015,36 m. Sie liegt mit einem Gefälle von 13,4 ‰ ganz im Innern eines Stollens, der genügend weit ist, um Überwachung und Unterhalt zu ermöglichen. Die Leitung ist in lichtbogengeschweißten Rohren von 8—9 mm Wanddicke und 9 m Stücklänge ausgeführt, die an Ort und Stelle durch Nietung verbunden wurden.

Alle 3 m wurden Verstärkungsringe angebracht. Zwei zwischenliegende Fixpunkte gewährleisten eine gute Lagerung, die durch gemauerte Rohrsockel mit Stahlsattel in Abständen von 9 m ergänzt wird.

Die Leitung enthält keine Dehnungsstücke, obwohl die Krümmer verankert sind, denn die Wärmeschwankungen im Stollen sind gering.

Wasserschloß.

Das Wasserschloß von 2,5 m ∅ zweigt an der schwach geneigten Strecke ab und ist unmittelbar oberhalb des Übergangspunktes zur stark geneigten Strecke angeordnet. Es besteht aus einem waagerechten Teil im Innern eines Stollens von 62 m Länge, und einem Teil von 65 m in einem senkrechten Schacht.

Die Strecke besteht aus lichtbogengeschweißten Rohren von je 6 m Länge und 8—15 mm Wanddicke, die in der waagerechten Strecke aneinandergenietet, in der senkrechten geschweißt wurden. Die Rohre in der Waagerechten ruhen auf Rohrsockeln. Die senkrechten Rohre wurden zwischen Wand und Fels mit Beton vergossen.

Strecke im starken Gefälle. Sie umfaßt:

1. Einen Abschnitt von 522 m Länge aus wassergasgeschweißtem Rohre von 1,4 m Innendurchmesser, der bis zur Kote 1704 hinabreicht, und in einem waagrechten Stollen, in einem 849 ‰ geneigten Stollen und schließlich im Freien verläuft.

Dieser Teil enthält ebenfalls keine Dehnungsstücke. Die mit Wassergas geschweißten Rohre haben 11—39 mm dicke Wandungen; sie wurden auf der Baustelle vernietet.

Die Krümmer wurden mit den Rohren durch lose Flanschen und Bolzen verbunden.

Die Festpunkte sind auf die ganze Strecke verteilt und in den Geraden angeordnet, sodaß die Krümmer alle Längsbewegungen mitmachen können, die durch Wärmeschwankungen entstehen.

Zwischen den Festpunkten ruht die Leitung alle 12 m auf Rohrsockeln mit Gleitsätteln.

2. Einen Abschnitt aus *bandagiertem Rohr von 1,4 m Innen-∅* und 152 m Länge, welches bis zur Kote 1632 m geht. Dieses Stück ist offen verlegt. Die Wanddicke der Rohre ist 12 mm, die Bandagen sind 60 mm breit und 22 bis

26 mm dick. Die Rohre wurden auf der Baustelle vernietet. Alle Krümmer sind in Festpunkten verankert und mit den geraden Stücken durch Expansionsmuffen verbunden. Die geraden Stücke sind ebenfalls in Abständen von 19 m verankert. Dazwischen ruht die Leitung alle 6,40 m auf Rohrsockeln mit Gleitsätteln. Zwischen jedem Festpunkt wird die Dehnung der Leitung durch Dehnungsstücke mit geringem Spiel ermöglicht.

3. Ein *bandagiertes Rohrstück mit einem Innen-∅ von 1,3 m* mit Muffenstößen und mit einer Länge von 827 m, das bis zur Kote 1120 m geht. Dieses Stück ist abwechselnd in Stollen und im Freien verlegt. Seine Wanddicken betragen 12—20 mm, die Bandagen haben Abmessungen von 60 × 24 und 80 × 48 mm. Die Längen der Rohre, ihre Verbindung und Auflagerung entsprechen den vorgenannten Strecken.

4. *Ein bandagiertes Rohrstück mit 1,3 m Innen-∅* und von 451 m Länge, welches bis zum Verteilrohr (Kote 938,70 m) geht und auf einer Rohrbrücke über den Wildbach Bissorte geführt wird und zuletzt die Eisenbahn in einem Stahlschutzrohr unterfährt. Die Wanddicken dieses Rohres betragen 22—24 mm; seine Bandagen haben Abmessungen von 9 × 48 bis 100 × 54 mm. Wie bei den vorgenannten Strecken sind die Rohre an den Krümmern und alle 19 m auf den Geraden in Festpunkten gelagert; die Dehnungsfreiheit zwischen den Festpunkten wird durch Gleitmuffen gesichert. In Abständen von 6,40 m sind Rohrsockel mit Gleitsätteln angeordnet.

5. Ein horizontalliegendes Verteilerrohr (Innendurchmesser von 1,3, 1,1 und 0,8 m, 38 m Länge) mit drei Abzweigungen zu den Turbinen. Mit Ausnahme der Abzweigstücke ist es in Mauerwerk eingelassen, das mit dem Fundament des Kraftwerkes eine Einheit bildet. Es besteht aus bandagierten Rohren mit einer Wanddicke von 35 mm, die durch lose Flanschen verbunden sind; die Abzweigstücke bestehen aus Gußstahl.

Herstellung und Montage der Rohre.

Die für die Rohre benutzten Bleche wurden im Walzwerk einer genauen Kontrolle unterzogen. In der Stahlbauwerkstatt wurden sie mit Marken versehen, aus denen alle Einzelheiten über ihre Herstellung hervorgehen; damit war eine genaue Kontrolle bei der Weiterverarbeitung gewährleistet.

Elektrisch geschweißte Rohre.

Die Bearbeitung der Bleche geschah in der üblichen Reihenfolge: Hobeln, Abschrägen der Kanten, Biegen, Schweißen, hydraulische Prüfung, Nachbehandlung und Anstrich. Bei geringer Blechstärke wurde kalt auf senkrechter hydraulischer Presse gebogen. Die Lichtbogenschweißung erfolgte mit umhüllten Elektroden. Die Nähte sind V-Nähte mit Wurzelnachschweißung. Die Längsnähte wurden mit automatischer Schweißmaschine, die Quernähte mit der Hand geschweißt.

Mit Wassergas geschweißte Rohre.

Bei diesen Rohren erfolgten Hobelung, Abschrägen und Biegen wie bei der vorgenannten Art. Die Schweißung geschah mit Wassergas (das Gas entsteht beim Überleiten von Wasserdampf über glühenden Koks). Dieses Gas, das reich an

H und CO ist, reduziert stark beim Brennen. Die Schweißung erfolgt durch Verschmelzung des Blechwerkstoffes ohne fremden Metallzusatz. Die sich überlappenden Blechränder werden durch Brenner bis zur Weißglut erhitzt und durch Hämmerung verschweißt.

Die Schweißung verformt das Rohr, verursacht innere Spannungen und überhitzt den Werkstoff. Daher glüht man die Rohre bei 950° (pyrometrische Kontrollmessungen) aus und nutzt den Vorgang gleichzeitig dazu aus, das rotglühende Rohr in einer Maschine zu runden, was sehr schnell gehen muß, weil die Temperatur nicht unter 500° sinken darf. Hiernach werden die Rohrenden

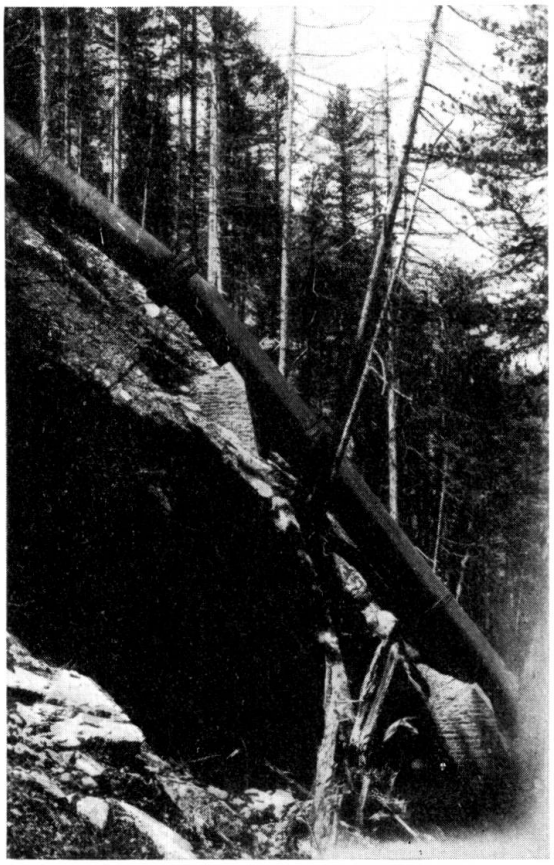


Fig. 2.

Mit Wassergas geschweißter Teil der Druckleitung auf der Kote 1810.

warm in einer Randbearbeitungsmaschine muffenartig geformt, damit sie ineinanderpassen. Schließlich werden die Rohre mit Druckwasser geprüft, nachbehandelt und angestrichen.

Die Längsnähte wurden in einer Wassergasschweißtrasse hergestellt, mit der Rohre bis zu 3 m ∅ und 6,50 m Länge geschweißt werden können. Die Hämmerung erfolgte mit Preßlufthämmern. Die Quernähte wurden von Hand mit einer Vorrichtung gehämmert. Bei dicken Blechen arbeiteten manchmal bis drei Mann gleichzeitig. Das Nachglühen der Rohre erfolgte in einem Gasofen, in dem Rohre bis zu 3 m Durchmesser und 6,50 m Länge geglüht werden können. Eine ständige Überwachung der Temperatur erfolgt durch selbstschreibende Pyrometer im Büro des Werkmeisters.

Für die Nachrundung benutzte man Biegemaschinen mit vier Zylindern, die die Schweißnaht walzten.

Bandagierte Rohre.

Diese neue Methode wird seit 1925 angewandt. Bei der Herstellung von Geschützrohren wird das Verfahren ständig verwendet. Es soll im Folgenden näher erläutert werden.

Ein Geschützrohr sei aus einem Stück hergestellt, besitze aber zunächst noch nicht die erforderliche Festigkeit, um die beim Schießen auftretenden Beanspruchungen auszuhalten. Die erforderliche Festigkeit erhält das Rohr erst durch die Bandagierung. Das Innere des Rohres wird an eine starke hydraulische Presse angeschlossen und nachdem die Rohrenden dicht verschlossen sind, wird der Druck stetig erhöht bis zu einem bestimmten Betrage, der die Elastizitätsgrenze des Rohres etwas überschreitet, aber erheblich unter der Bruchgrenze liegt. Dieser Druck wird eine ausreichende Zeit lang aufrechterhalten, bis man ihn stetig auf den Luftdruck abfallen läßt.

Das über die Elastizitätsgrenze gedehnte Rohr behält eine bleibende Verformung bei; die Außenzone steht unter Zug, die Innenzone unter Druck. Dieser Vorgang wird Bandagierung oder „Selbst-Umschnürung" genannt, weil man versucht wird, zu sagen, das Rohr umschnüre sich selbst.

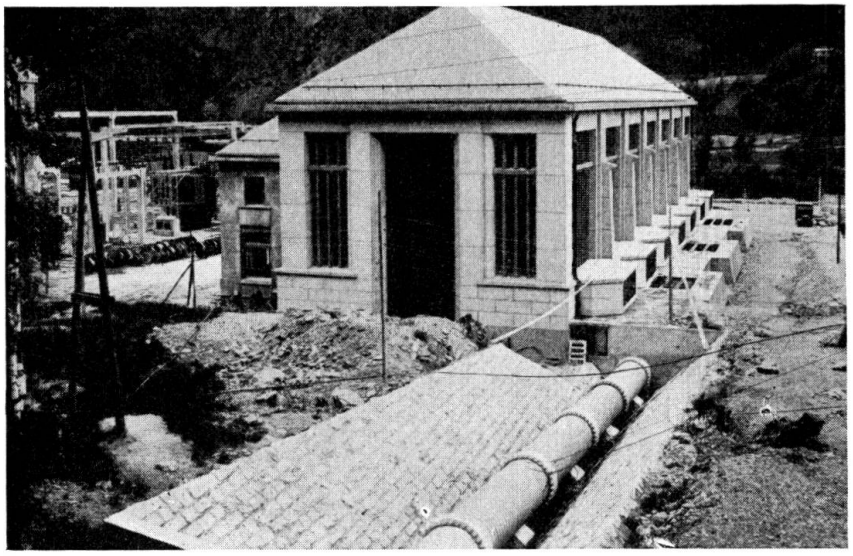


Fig. 3.
Druckleitung am Eintritt in das Maschinenhaus.

Verlassen wir nun die Geschütztechnik und wenden wir uns den Anwendungen dieses Verfahrens für andere Zwecke zu. Es sind zwei wichtige Punkte zu beachten:

I. Die Tatsache, daß das Rohr unter bekanntem Druck eine über die Elastizitätsgrenze hinausgehende Beanspruchung und eine bleibende Verformung, aber ohne Bruch, erlitt, gibt ihm die Fähigkeit, den gleichen Druck erneut aufzunehmen, ohne daß eine nochmalige bleibende Verformung eintritt. Die Elastizitätsgrenze ist also heraufgesetzt worden, d. h. es liegt eine Änderung der mechanischen Eigenschaften vor.

Durch eine derartige Behandlung eines Rohres kann die Elastizitätsgrenze des

Rohrwerkstoffes um ein Drittel des ursprünglichen Wertes erhöht und seine Zugfestigkeit um 8 % gesteigert werden.

Das Verfahren bietet also die Möglichkeit, ein Stahlrohr aus einem neuen Werkstoff zu fertigen, dessen Eigenschaften man vorher den erwarteten Beanspruchungen anpassen kann.

II. Das Verfahren weist noch eine sehr interessante Besonderheit auf: der erzeugte Vorspannungsdruck stellt gleichzeitig die schärfste und genaueste Festigkeitsprüfung dar, da die Betriebsbeanspruchung um einen genau bestimmten Mehrwert überschritten wird.

Das Erzeugnis wird also gleichzeitig gefertigt und geprüft, ein Vorgang, der besonders wirtschaftlich ist und wirkliche wissenschaftliche Garantien für die Festigkeit des Rohres bietet.

Die Betriebsbedingungen für Druckleitungen gleichen zwar nicht denen für Geschützrohre, aber das angestrebte Ziel bleibt das gleiche: man will für die vorliegenden Betriebsbedingungen einen Bestwert des Verhältnisses der Festigkeit zum Gewicht unter wissenschaftlich einwandfreier Kontrolle erzielen.

Ein bandagiertes Rohr für Druckleitungen besteht aus einem inneren geschweißten Stahlrohr, dessen Wanddicke ein Bruchteil der Wanddicke eines gewöhnlichen Rohres gleicher Festigkeit ist, sowie aus Verstärkungsringen, die in gleichen Abständen auf der Außenseite aufgebracht werden.

Die Mantelringe haben Rechteckquerschnitt, sind nahtlos gewalzt und aus einem Stahl gefertigt, dessen Elastizitätsgrenze weit höher als die des Rohrwerkstoffes ist, eine wichtige Vorbedingung für das Bandagierungsverfahren. Der Außendurchmesser der Rohre ist etwas geringer als der Innendurchmesser der Verstärkungsringe, die also kalt aufgezogen werden können.

Die Enden des Rohres werden nun dicht verschlossen und das Innere des Rohres mit einer starken hydraulischen Presse verbunden. Der Druck wird stetig gesteigert, bis wenigstens das Doppelte des höchstmöglichen Betriebsdruckes erreicht ist (statischer Druck + Überdruck).

Dieser Höchstdruck wird Bandagierungsdruck genannt.

Der Bandagierungsdruck wird eine Minute lang aufrechterhalten und dann auf den Betriebsdruck abgesenkt. Dann werden Rohr und Ringe gehämmert und durchgeprüft, insbesondere daraufhin, ob die Wandung die Verformung gut überstand. Man steigert dann den Druck wieder bis zum Bandagierungsdruck und erhält diesen mindestens fünf Minuten lang aufrecht. Auf diese Art und Weise sind gleichzeitig die Bandagierung und die Druckprobe vollzogen.

Diesem Überblick sind noch einige Erläuterungen des Herstellungsganges anzuschließen:

1. Unter dem steigenden Druck dehnt sich die Rohrwand und preßt sich an die Ringe. Während der Druck steigt, sucht das Rohr die Mantelringe zu weiten, die nun unter Spannung stehen.

Nach dem endgültigen Druckabfall hat die Rohrwand ihre Elastizitätsgrenze überschritten und zeigt eine dauernde Verformung. Es wurde eine neue Elastizitätsgrenze geschaffen, die höher als die frühere ist. Andererseits erleiden die Mantelringe dank ihrer eigenen Materialfestigkeit nur eine elastische Verformung; auf die Außenwand des Rohres wird ein ebensolcher Druck ausgeübt wie es bei heiß aufgezogenen Ringen der Fall wäre.

2. Ein derart bandagiertes Rohr hat bei gleicher Betriebssicherheit ein halb so großes Gewicht als ein gewöhnlich geschweißtes Rohr.

3. Ein besonderer Vorteil des Verfahrens ist die Möglichkeit, während des ganzen Herstellungsganges mittels geeigneter Apparate das Verhalten des Werkstoffes zu überwachen und die theoretischen Bedingungen genau zu erfüllen.

4. Die Herstellungsart bietet in sich selbst alle erforderlichen und hinreichenden Kontrollmöglichkeiten. Ein nach diesem Verfahren hergestelltes Rohr hat eine Festigkeit, die mindestens dem doppelten Wert des Betriebsdruckes entspricht. Die Druckproben nach dem Einbau können auf die Dichtigkeit der Verbindungsstellen beschränkt werden.

5. Die bandagierten Rohre entsprechen ungeschweißten Rohren, d. h. sie sind sehr widerstandsfähig. Infolgedessen ist ihre Verwendung für Druckrohrleitungen viel günstiger, da ihr Durchmesser größer als der für ungeschweißte Rohre sein kann. In manchen Fällen würden gewöhnliche, geschweißte Rohre keine ausreichende Festigkeit besitzen oder sie würden übertriebene Wanddicken erfordern, die ein zu großes Gewicht zur Folge hätten oder könnten gar nicht hergestellt werden.

Neben der Bandagierung wird gleichzeitig eine hydraulische Druckprüfung für mindestens doppelt so hohe Drücke erzielt, wie sie im Betrieb erwartet werden können (d. h. statischer Druck + Überdruck).

Die für die Herstellung der Rohre wichtigste Maschine ist die hydraulische Presse für hohe Drücke, wie sie für Druckleitungen, wie die an der Bissorte, erforderlich sind.

Die Kontrolle der Materialbeanspruchungen wird folgendermaßen durchgeführt.

Vor dem Pressen wird auf den Mantelringen eine Anzahl von Zugmessern befestigt, die man über die ganze Rohrlänge gleichmäßig verteilt. Während des Vorganges registriert man zuerst den erforderlichen Druck zur Erreichung der Berührung zwischen Rohr und Ringen, dann die Spannungszustände der Ringe unter den wachsenden Drücken bis zum Bandagierungsdruck, und unter dem bis zum Betriebsdruck abnehmenden Druck, sodann unter dem erneut bis zum Bandagierungsdruck gesteigerten und nachher wieder auf den Betriebsdruck abgelassenen Druck; endlich wird der Druck abgelassen, um das Maß der Umschnürung zu prüfen. Während des Vorganges vermag man den Innendruck rechtzeitig einzuregeln, um die theoretischen Spannungen zu erreichen.

Die bei der Herstellung und den Prüfungen gemachten Feststellungen zeigten befriedigende Übereinstimmung der errechneten und gemessenen Beanspruchungen und erlaubten, die wichtige Spanne zwischen der Elastizitätsgrenze der Ringe und ihrer Maximalspannung beim größten Preßdruck nachzuprüfen.

Die bandagierte Rohrwandung besteht allgemein entweder aus besonders weichem Stahl:

Zugfestigkeit	$\geqslant$ 34 kg/mm²
Elastizitätsgrenze	$\geqslant$ 19 kg/mm²
Dehnung	$\geqslant$ 30 %
Kerbzähigkeit (Mesnager-Wert)	$\geqslant$ 7 kgm/cm²
Zulässige Höchstbeanspruchung	8 kg/mm²

oder aus Spezialstahl mit hoher Elastizitätsgrenze:

Zugfestigkeit	$\geqslant$ 54 kg/mm²
Elastizitätsgrenze	$\geqslant$ 36 kg/mm²
Dehnung	$\geqslant$ 20 %
Kerbzähigkeit (Mesnager-Wert)	$\geqslant$ 7 kgm/cm²
Zulässige Höchstbeanspruchung	12 kg/mm²

Im ersten Fall sind die Mantelringe aus kohlenstoffreichem Stahl:

Zugfestigkeit	$\geqslant$ 90 kg/cm²
Elastizitätsgrenze	$\geqslant$ 60 kg/cm²
Dehnung	$\geqslant$ 8 %
Kerbzähigkeit (Mesnager-Wert)	$\geqslant$ 4 kgm/cm²
Zulässige Höchstbeanspruchung	24 kg/mm²

Im zweiten Fall, wird ein Spezialstahl gewählt:

Zugfestigkeit	$\geqslant$ 115 kg/mm²
Elastizitätsgrenze	$\geqslant$ 95 kg/mm²
Dehnung	$\geqslant$ 6 %
Kerbzähigkeit (Mesnager-Wert)	$\geqslant$ 5 kgm/cm²
Zulässige Höchstbeanspruchung	36 kg/mm²

Die mittlere Beanspruchung eines bandagierten Rohres in Bezug auf Wand- und Ringquerschnitt beträgt 16 kg/mm² im ersten Fall, 24 kg/mm² im zweiten. Ein solches Rohr ist halb so schwer wie ein gewöhnliches Rohr für die Höchstbelastungen von 8 und 12 kg/mm².

Die Verwendung bandagierter Rohre ist nicht allein auf Druckleitungen großer Fallhöhe beschränkt, sondern Versuche haben gezeigt,, daß man sie vorteilhaft und wirtschaftlich bei Höchstdrücken über 320 m verwenden kann. Ihr Verwendungsbereich ist in manchen Fällen sehr weit, besonders wenn die Sicherheitsfrage wichtig wird.

Neben der Wirtschaftlichkeit bei der Verlegung haben bandagierte Rohre wegen der großen Sicherheit für Wasserkraftwerke besondere Bedeutung.

Diese Rohrleitung vermag nämlich wegen der großen Elastizität in radialer Richtung infolge des Innendruckes die Druckstöße abzuschwächen, so daß das Material weniger beansprucht wird. Die Druckstöße sind eine Funktion der Geschwindigkeit der Wellenfortpflanzung, und nehmen mit den letzteren ab. Die Geschwindigkeit ist bei Stahlrohren:

$$a = \frac{9{,}900}{\sqrt{48{,}3 + 0{,}5\,\frac{D}{e}}} \quad \text{oder} \quad \frac{D}{e} = \frac{2\,R}{p}, \quad \text{d. h.} \quad a = \frac{9{,}900}{\sqrt{48{,}3 + \frac{R}{p}}}$$

z. B. Innendruck $p = 1000$ m Wasser, also 1 kg/mm²
Beanspruchung $R = 8$ kg/mm² für gewöhnliche Rohre,
$R = 16$ kg/mm² für bandagierte Rohre.

Im ersten Fall ist $a = 1320$ m, im zweiten Fall $a = 1230$ m.

Die Rohre, die den größten Teil der Druckleitung an der Bissorte ausmachen, sind mit wassergasgeschweißten Rohren hergestellt. Um größtmögliche Gleichmäßigkeit bei der Bandagierung zu erzielen, wurde vorsichtshalber Wert darauf gelegt, Bleche aus dem gleichen Produktionsgang zu nehmen.

Während der Bandagierung wurden Ringe und Schweißstellen stark gehämmert. Ferner wurden bei einer Anzahl Rohre Messungen vom Luftdruck bis zum Bandagierungsdruck und umgekehrt mittels der Huggenberger-Dehnungsmesser ausgeführt. Man konnte somit die errechneten Beanspruchungen mit den wirklichen vergleichen.

Rohre von 1,3 m ∅, die den größten Druck auszuhalten haben, wurden mit einem Druck von 264 kg/cm² geprüft.

Bei der Bandagierung wurden auf die Rohrenden starke Ringe aufgesetzt, um genau gerundete Körper zu erhalten, so daß die fertigen Rohre keiner Nachbe-

Fig. 4.
Teil der Druckleitung beim Eintritt in den Stollen auf der Kote 1220.

handlung der Ringe und Muffen an den Enden bedürfen. Die Ringe wurden auf eine Anzahl Rohre elektrisch festgeschweißt; zusätzliche Druckprüfungen zeigten Dichtigkeit und Festigkeit dieser Schweißstellen.

Anstrich in der Werkstatt.

Vor der Versendung wurden alle Rohre gebürstet, gereinigt, sowie innen und außen heiß geteert.

Zur Teerung wurden die Rohre mit großen Gasbrennern auf 80° erhitzt, dann in einen Teerbehälter getaucht, dessen Inhalt die gleiche Temperatur besaß. Nach dem Abtropfen besaßen die Rohre eine fest haftende Teerschutzschicht.

Überwachung.

Die Überwachung der Herstellung geschah durch einen ständigen Kontrolldienst des Konstrukteurs, der besonders bei der Entnahme der Proben, den

Prüfungen der Schweißstellen, den Druckversuchen und Maßkontrollen in Tätigkeit tritt; andererseits wird ab und zu auch durch die Betriebsleitung kontrolliert. Jedes Rohr wird gestempelt und protokolliert, besonders betreffs der hydraulischen Druckversuche.

Druckversuche.

Der hydraulische Druckversuch ist bei der Herstellung der bandagierten Rohre von größter Bedeutung. Für Druckrohrleitungen stellt er die wichtigste Kontrolle dar.

Alle Leitungsrohre der „Bissorte" sind auf den doppelten im Betrieb vorkommenden Höchstdruck (statischer Druck + Überdruck) geprüft.

Man benutzte hierzu eine Druckpresse von 3500 t. Mit dieser Presse können Rohre bis zu 3 m ∅ und 13 m Länge geprüft werden.

Bei den bandagierten Rohren stellt die Bandagierung gleichzeitig die Prüfung dar. Bei den elektrisch oder mit Wassergas geschweißten Rohren wurde der Druck zuerst für eine Minute doppelt so hoch gehalten wie der höchste Betriebsdruck, dann wurde er abgesenkt, währenddessen die Schweißstellen stark gehämmert wurden; schließlich steigerte man den Druck auf den Versuchswert und hielt diesen Druck 5 Minuten lang aufrecht. Nach Fertigstellung wurden die Rohre nach Bedarf mit Lastkraftwagen zur Baustelle geschafft.

Montage.

Die Montage, besonders die Beförderung der Rohre, war wegen des ungünstigen Geländes, des starken Gefälles und der großen Gewichte der Einheiten recht schwierig. Man ging hierbei folgendermaßen vor:

Alle Einheiten zwischen Höhe 1030 und 2015 wurden vermittels Luftseilbahn befördert. Für jedes Stollenstück in diesem Abschnitt wurde eine besondere Vorrichtung für das Herablassen der Rohre aufgestellt.

Zwischen Höhe 945 und 1030 wurden die Einheiten auf einer schiefen Ebene befördert.

Der Einbau des folgenden talseitigen Stückes bot wegen der geringen Neigung und des leichten Zuganges keine besonderen Schwierigkeiten.

Der Arbeitsplan wurde bestimmt durch

die Leistungsfähigkeit der Luftseilbahn,
die Notwendigkeit, Montage und Bauarbeiten gleichzeitig vorzunehmen,
die Unmöglichkeit, die Arbeitsgruppen mit Rücksicht auf mögliche Unfälle zu erweitern.

Die Montage wurde in zwei Hauptabschnitten durchgeführt. Während des ersten verlegte man die Leitung zwischen Höhe 1030 und 1650, sowie das Stück von der Zentrale bis zum dritten Fixpunkt; im zweiten Teil den Anschluß an die schwachgeneigte Strecke und an die drei Turbinen. Man hatte vier Baustrecken, arbeitete aber nur auf zweien gleichzeitig. Die andern dienten als Aushilfsplätze für den Fall, daß die Arbeiten auf den ersten verzögert oder verhindert wurden. Diese Methode drängte sich besonders dann auf, wenn Monteure und Maurer in einem Stollen abwechselnd arbeiten mußten.

Bereits bei Beginn der Montage wurde ein Druckversuch bei dem ersten Leitungsdrang erforderlich, um die Dichtigkeit der ersten Baustellen-Nietungen zu prüfen, die einen normalen Arbeitsdruck von 100 kg/cm² auszuhalten hatten.

Ein zweiter, wohl wichtigerer Versuch wurde nach Einbau aller bandagierten Rohre (einschließlich Verteilrohr) vorgenommen, also zwischen Höhe 936,70 und 1715. Diese Versuche sollten das Verhalten der Dichtungen der Verbindungen und die Stabilität der Leitung und der Abstützungen unter Höchstdruck zeigen. Nach der Füllung der Leitung wurde der Druck mittels einer Elektropumpe erreicht, die im Generatorenraum stand und unmittelbar auf das Verteilrohr wirkte. Zwei Druckmesser waren an jedem Ende der Leitung angebracht.

Am ersten Tage wurde der Druck auf 115 kg/cm² am Verteilrohr gesteigert, am zweiten Tag auf 124 kg/cm² und am dritten auf 132 kg/cm². Zu diesem Zeitpunkt zeigte der obere Druckmesser 54 kg/cm².

Im Verhältnis zum statischen Druck waren die Überdrücke bei diesem Versuch 15 % am Verteilrohr, 50 % am oberen Ende.

Diese, besonders für die oberen Teile harte Prüfung ergab keine Beanstandung. Alle Verbindungen waren dicht, die Abstützungen waren gegenüber beträchtlichen Beanspruchungen unbedingt standfest.

Gleich nach Beendigung der Verlegung wurde die Leitung mit einem bituminösen Anstrich versehen.

Im Innern wurden die in der Werkstatt hergestellten Anstriche, die durch die Montage gelitten hatten, ausgebessert; außen wurde an den Teilen, die der Luft ausgesetzt waren, ein einfacher, an den Teilen, die in den Stollen lagen, ein doppelter Anstrich vorgenommen.

Der dem Generatorenraum benachbarte untere Teil wurde außen noch mit einem Aluminiumanstrich versehen.

Die Druckleitung wurde im Oktober 1934 fertiggestellt und im Mai 1935 vom Kraftwerk in Betrieb genommen. Seitdem arbeitet sie zufriedenstellend und mit regelmäßiger Leistung.

Zusammenfassung.

Das Kraftwerk von Bissorte mit 3 Turbinen von 34 700 PS (7,5 m³ mit 1150 m Gefälle) wird durch eine einzige Druckleitung mit Durchmessern von 1,800 m (oberer Teil) bis zu 1,300 m (unterer Teil) und einer Länge von 3037 m gespiesen. Ihr Gewicht ist 3800 t.

Dank der bandagierten Rohre System *G. Ferrand* brauchte eine einzige Leitung erstellt zu werden. In ihrem untersten Teil arbeitet sie im normalen Betrieb unter einem größten Druck von 132 kg/cm².

Die bandagierten Rohre setzen sich aus dem Kreisrohr und den Bandagen zusammen, deren innerer Durchmesser wenig größer als der äußere des Rohres ist. Die Bandagen wurden nicht warm auf das Rohr aufgezogen, was die Möglichkeit

der Anwendung von Stahl hoher Festigkeit ausgeschlossen hätte. Der Zusammenschluß wurde vielmehr kalt durch innere Anwendung eines sogenannten Bandagierungsdruckes hergestellt. Diese bleibende Verformung verschlechtert die Eigenschaften des Rohres nicht, sondern gibt ihm im Gegenteil neue; der Bandagierungsdruck stellt zu gleicher Zeit eine strenge Festigkeitsprüfung dar, da er mindestens dem doppelten Arbeitsdruck entspricht.

Die Prüfung der Stahlbeanspruchung läßt sich leicht vornehmen und die Wasserschläge werden mit diesem Rohrtyp merklich vermindert, der wegen Verwendung hochwertigen Stahles kleine Anlagekosten erfordert.

Leere Seite
Blank page
Page vide

VIIb 3

Anwendung des Stahles im Wasserbau, bewegliche Anlagen.

Application de l'acier en construction hydraulique, installations mobiles.

Use of Steel in Hydraulic Structures, Movable Plants.

Ministerialrat K. Burkowitz VDI,
Reichs- und Preußisches Verkehrsministerium, Berlin.

Der Baustoff „Stahl".

Während ich mich im allgemeinen auf den Beitrag des Herrn Professors Dr. Ing. *Agatz* beziehen kann, möchte ich noch einiges zu dem Sonderabschnitt „bewegliche Anlagen" bemerken.

Die beweglichen Anlagen sind mehr als die „festen Anlagen" allen äußeren Angriffen ausgesetzt. Das oft mit großer Geschwindigkeit und Gewalt an ihnen vorbeiströmende Wasser, der Wechsel zwischen naß und trocken, zwischen Kälte und Hitze, die ungünstige Angriffsweise äußerer Kräfte beanspruchen den Baustoff in sehr vielen, vielleicht sogar in den meisten Fällen ungünstiger, als bei festen Anlagen. Die aus rein statischen Erwägungen durchgeführten Berechnungen reichen in vielen Fällen nicht aus, um den dynamischen Kräften Rechnung zu tragen, und man wird aus mancherlei unangenehmen Erfahrungen wohl erst noch lernen müssen, neue Berechnungsverfahren zu entwickeln.

Was die Festigkeitsverhältnisse anlangt, so stehen genügend viele und gute Stahlarten vom gewöhnlichen Baustahl St 37 angefangen über St 48, St Si bis St 52 für die verschiedenen Bedürfnisse zur Verfügung; aber nicht immer ist der festere Stahl für die hier vorliegenden Verhältnisse zugleich der bessere, wenn man Widerstandsfähigkeit gegen Abzehrungen (Korrosionen), Neigung zu Schwingungen, Bearbeitbarkeit usw. mit in Rechnung zieht. Der „Stahl" ist ein vorzüglicher Baustoff für den beweglichen Eisenwasserbau, aber seine hohe Spannkraft (Elastizität) und das damit zusammenhängende Formänderungsvermögen verlangen besondere Rücksicht auf seine Eigenart bei der Formgebung und Bearbeitung. *Niet*verbindungen der Stahlbauteile sind gerade bei beweglichen Wasserbauwerken eigentlich nur Notbehelf gewesen, bis man Besseres gelernt hatte; die Schweißtechnik ist auch hier auf dem Marsche und versteht es, den Baustoff jeweils nur dorthin zu bringen, wo er benötigt wird; sie vermeidet die Schwächung von Querschnitten durch Nietlöcher; sie vermeidet Anhäufung von Baustoffen an unzugänglichen Stellen; sie wird den Forderungen der Dichtigkeit viel besser gerecht. Es wäre nur zu wünschen, daß die Walztechnik auch bald

den Forderungen der Schweißtechnik folgen möge, damit nicht mit Stahlprofilen geschweißt werden muß, die eigentlich für die Niettechnik erdacht worden sind. Gute Anläufe dazu sind bereits erkennbar.

Von den vielen Feinden des Stahles seien außer dem Rost auch die „Seepocken" im Seebezirke erwähnt. Den Rostangriff bekämpft man mit Anstrichen (siehe Beitrag *Agatz!*), doch ist man heute noch nicht so weit, eindeutige und allgemein gültige Anweisungen für Unterwasseranstriche von Stahlbauteilen geben zu können; man verfährt wohl nach gewissen „Richtlinien", doch lassen diese der weiteren Forschung und Erfahrung noch einen weiten Spielraum. Am umfassendsten ist diese Angelegenheit von Herrn Regierungs- und Baurat *Wedler*[1] behandelt worden.

Die „Seepocken" durchdringen die Anstrichhaut und geben das darunter freiwerdende Eisen dem verheerenden Angriff des Seewassers preis. Mit Giftfarben ist man dieser Lebewesen nicht Herr geworden; neuerdings scheint man in einem zementmilchartigen Anstrich, der eine harte glasige Haut auf dem Eisen als Grundanstrich bildet (Dunker & Co., Hamburg), an den Schiebetoren der Schleuse Holtenau des Kaiser-Wilhelm-Kanals ein wirksames Mittel gegen die Seepocken gefunden zu haben. Über den Wert oder Unwert eines Mennigegrundanstrichs für Stahlbauten im Wasser gehen die Ansichten heute noch auseinander. Die auf bituminöser Grundlage beruhenden und heiß in ziemlich dicker Lage aufgetragenen Anstriche scheinen sich für Unterwasser-Stahlbauten am besten zu bewähren.

Art der beweglichen Anlagen.

Zu einem sehr großen Teile dienen die beweglichen Stahlbauten dazu, dem Wasser bestimmte Wege zu versperren oder freizugeben; sie sind „Verschlüsse" oder „Ventile", wie man sie in kleinerer, aber ähnlicher Form auch im Maschinenbau verwendet.

Drosselklappen sollen einen Wasserstrom abdrosseln und werden in Rohrleitungen als Notverschlüsse oft verwendet; sie sind aber nur für die Grenzstellung „auf" und „zu" verwendbar, da sie in allen Zwischenstellungen zu ungünstige Strömungsverhältnisse im Rohr zur Folge haben; sie verengen aber auch in ganz geöffneter Stellung den Querschnitt und sind dann der Strömung so stark ausgesetzt, daß sie meist eines besonderen Schutzes bedürfen.

Schieber nach Art der üblichen Absperrschieber werden bis zu sehr ansehnlichen Abmessungen ausgeführt und verwendet. Sie geben in geöffnetem Zustande den Rohrquerschnitt ganz frei, sind aber unter hohem und vollem Wasserdruck nur schwer zu bewegen. Bei Teilöffnung werden die Strömungsverhältnisse an den Schieberkanten recht ungünstig; es besteht Kavitationsgefahr.

Ventile in zylindrischer Form werden gern und oft verwendet. Entweder nahm man ihrer Einfachheit wegen lange, oben offene Zylinder, die senkrecht gehoben wurden und mit ihrer Unterkante dichteten (so besonders oft an Schleusen mit Sparbecken), oder neuerdings die vom Krupp-Grusonwerk entwickelte ge-

[1] *Wedler:* Unterwasseranstriche für Stahlbauteile im Wasserbau, besonders von Schleusen und Wehren. Bautechnik, Heft 17 (1934), S. 232.

schlossene Form, bei der der verschiebbare zylindrische Teil in eine oben geschlossene, glockenartige Haube, die an einem Tragekreuz im Ventilschacht aufgehängt ist, hineingezogen wird (Fig. 1). Man vermeidet durch die geschlossene Bauart das Mitreißen von Luft, die im weiteren Verlaufe des Wasserweges Ungelegenheiten bereiten kann (Schleuse Fürstenberg a. O.).

Eine eigenartige und in ihren Abmessungen ungewöhnliche Zylinderventilbauart (Stahlguß) ist die der Grundablässe im Staudamm bei Ottmachau (Fig. 2 nach ZdVdI. Nr. 31 [1933], Seite 858), die nach Plänen des Regierungs- und Baurats *Chop*-Breslau von den Vereinigten Oberschlesischen Hüttenwerken, Donnersmarckhütte in Hindenburg/O.S. ausgeführt worden sind. Diese Ventile (zusammen sechs Stück!) sollen bei 12,5 m Gefälle zusammen 500 m^3/s Wasser

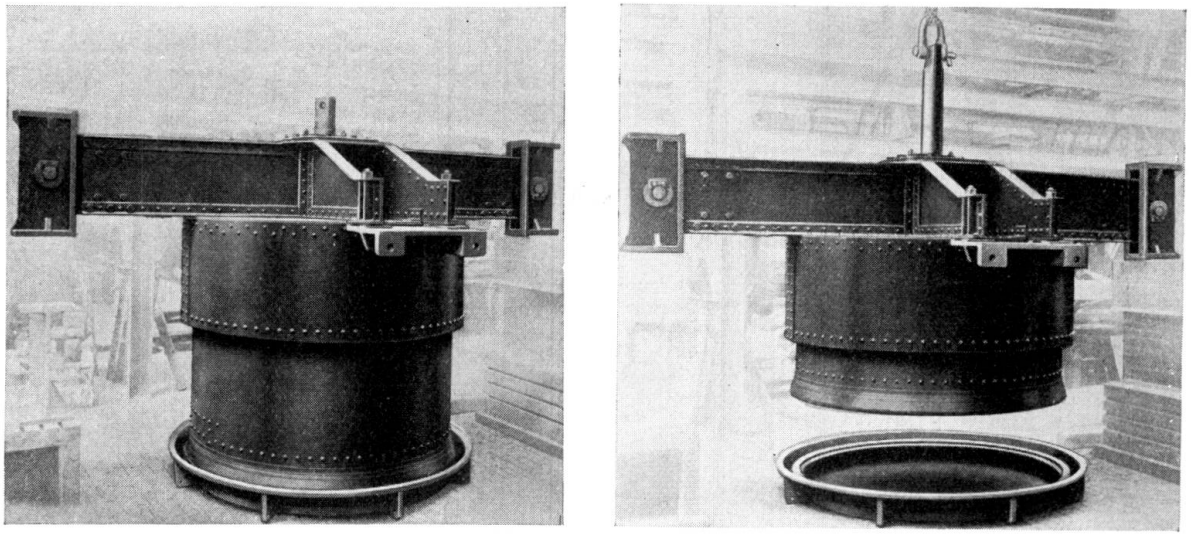
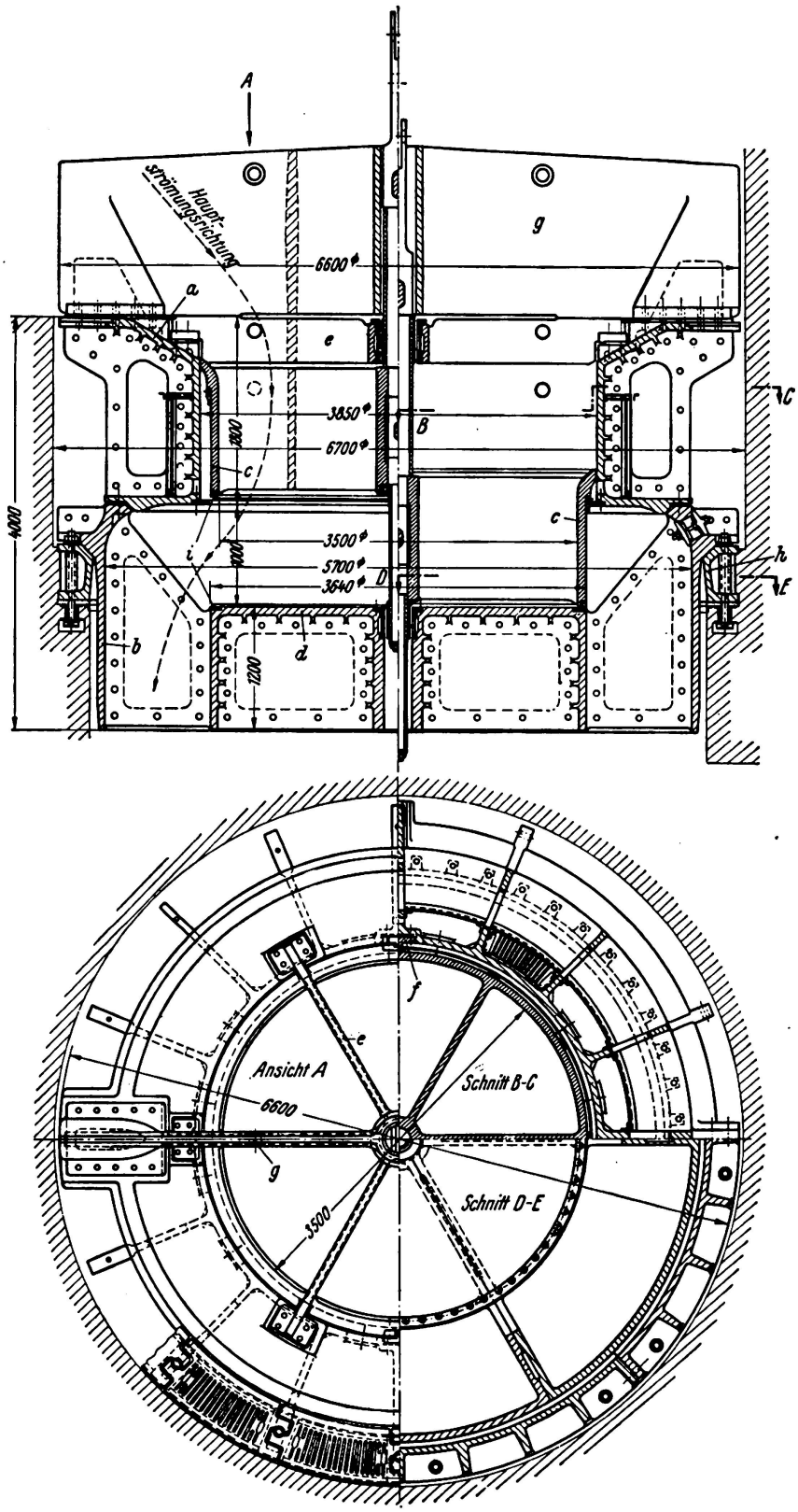


Fig. 1.

Zylinderventil in geschlossener Bauart der Friedr. Krupp Grusonwerk A.-G., Magdeburg-Buckau, (ges. gesch.).

abführen können. Durch die besondere Umlenkung des Wassers soll eine weitgehende Energievernichtung des strömenden Wassers im Ventil erreicht werden, ohne daß Kavitationen zu befürchten sind. Eingehende Modellversuche sind dem Bau vorausgegangen und durch den bisherigen Betrieb bestätigt worden. Diese Ventile werden auch in Zwischenstellung zwischen „auf" und „zu" zur Feinregelung mit Erfolg benutzt. Fig. 3 gibt einen Begriff von der Größe dieser „Ventile"; sie haben beim Guß und bei der Bearbeitung an das Lieferwerk besonders hohe Ansprüche gestellt.

Larner-Johnson-Ventile sind am Platze, wenn man die Ventile nicht stehend, sondern liegend anordnen muß; sie sind „Ringschieber" mit waagerechter Achse und können nach beiden Richtungen sperrend gebaut werden. Dabei kann der Wasserdruck weitgehend zur Entlastung des beweglichen Ventilteils herangezogen werden, sodaß die Kräfte zum Öffnen und Schließen des Ventils nur klein zu sein brauchen; man kann es sogar erreichen, daß das Ventil sich gegen den Wasserdruck selbst schließt. Beiderseits kehrende Ringschieberventile der Maschinenfabrik Gebr. Ardelt-Eberswalde sind als Ausgleichsventile zwischen den



a Einlauftrichter des Gehäuse-Oberteils

b Auslauf im Gehäuse-Unterteil

c Ringschieber

d Prallboden

e Führungsstern

f Schlittenführung für den Schieber

g Wasserteiler

h Sitzring für das Ringschieberventil

i Metall-Dichtungsringe mit Gummi-Einlage

Fig. 2.

Grundablaß-Zylinderventile (Chop) am Staubecken Ottmachau-Oberschlesien.
(Im Aufriß links Ventil offen, rechts geschlossen gezeichnet.)
Hersteller: Vereinigte Oberschlesische Hüttenwerke, Werk Donnersmarckhütte in Hindenburg O.-S.

beiden Schachtschleusen der Zwillingsschleuse Fürstenberg a. O. eingebaut worden. Das Krupp-Grusonwerk in Magdeburg baut Grundablaßventile nach *Larner-Johnson,* bei denen der Gefälledruck selbst zum Öffnen und Schließen des Ventils herangezogen wird (Fig. 4 nach ZdVdI. Nr. 22 [1934]). Nur das kleine Nadelventil i braucht durch einen schwachen Antrieb betätigt zu werden, um den in den Kammern a, b, d herrschenden Wasserdruck zum Öffnen oder Schließen dienstbar zu machen. Solche Ventile sind z. B. an der Sösetalsperre und an der Odertalsperre im Harz eingebaut worden, hier für eine Höchstwassermenge von 30 m^3/s bei einer Stauhöhe von 55 m mit einem Lichtdurchmesser von 1,27 m.

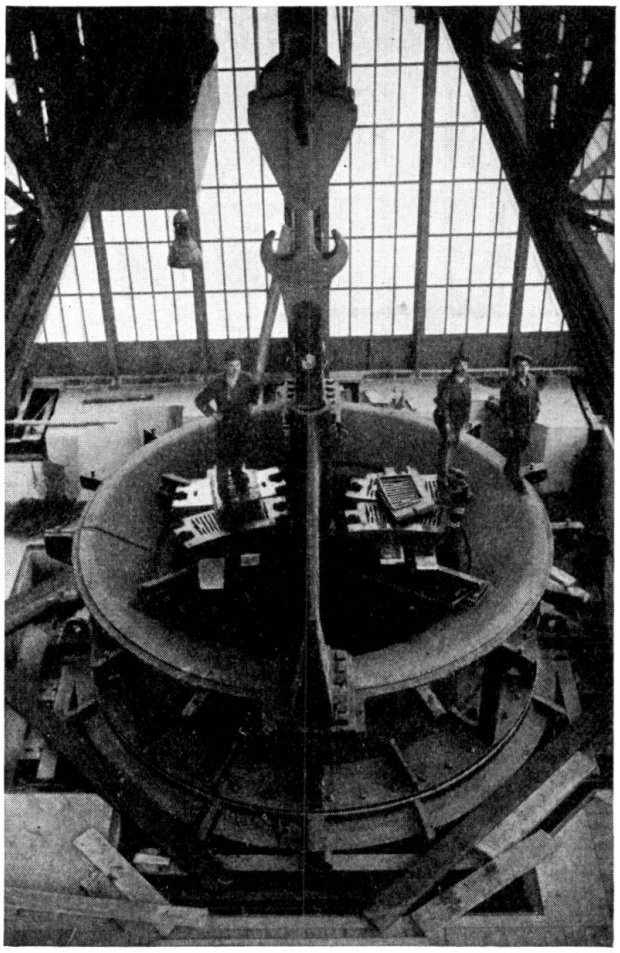


Fig. 3.

Ein Zylinderventil nach Fig. 2 beim Einbau in den Ventilschacht.

Die *Walzenschieber* können ähnlich wie die *Larner-Johnson*-Ventile in waagerechte Leitungen eingebaut werden; ihre Wirkungsweise ist in Fig. 5 dem Wesen nach dargestellt. Im geöffneten Zustand gibt der Schieber den Rohrquerschnitt völlig frei und fügt sich dabei der Rohrwandkrümmung völlig ein; geschlossen bildet er gewissermaßen ein Stemmtor gegen den Wasserdurchlauf, kann aber gegen beide Stromrichtungen sperren. Die Endstellungen sind einwandfrei; in den Zwischenstellungen aber bilden sich Hohlräume, die zu harten Wasserschlägen führen können (Schleuse Fürstenberg a. d. O.); länger dauernde Zwischenstellungen sind daher nicht anzuraten.

Gleitschützen zählen zu den ältesten Verschlußeinrichtungen an Schleusen, Deichen, Wehren usw. Sie sind ungemein einfach und billig, auch genügend

dicht, geben aber bei zu großen Abmessungen und Wasserdrücken zu große Bewegungswiederstände.

Rollschützen treten dann an ihre Stelle; Führung und Dichtung müssen getrennt werden; jene wird von Tragrädern auf Fahrschienen übernommen, diese von besonderen Einrichtungen. Meist dichtet die Schütztafel unten — und

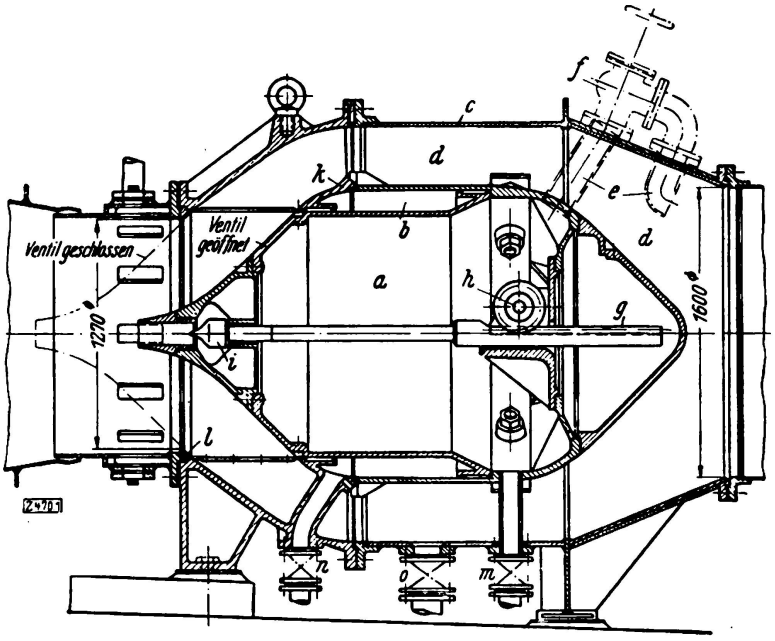
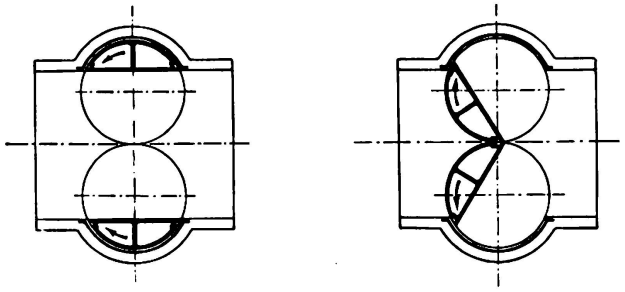


Fig. 4.
Grundablaßventil nach Larner-Johnson in der Bauart des Krupp-Grusonwerks-Magdeburg.

wenn nötig auch oben — durch Aufsetzen auf eine Dichtungsleiste ab, die aus Holz oder bearbeitetem Stahl oder Metall bestehen kann; zur oberen Abdichtung nimmt man meist ein etwas elastisches Mittel (z. B. Gummi oder Federleisten) zu Hilfe, weil harte Flächen in zwei Ebenen zugleich auf die Dauer nicht dicht zu



Schieber geöffnet Schieber geschlossen

Fig. 5.
Walzenschieber, allgemeiner Umriß

bekommen sind. Seitlich dichtet man meist mit Federleisten, wobei der Wasserdruck zu helfen hat. Den Seitendichtungen gibt man gern keilförmigen Anlauf, damit die Dichtungen gut in ihre Endstellungen einfahren können. Ein Festklemmen der Keildichtungen muß durch eine gewisse elastische Nachgiebigkeit

der Dichtungsleisten vermieden werden. Rollkeilschützen werden heute bis zu sehr ansehnlichen Abmessungen gebaut; sie haben den großen Vorzug der guten Zugänglichkeit, nötigenfalls nach völligem Herausheben. Eine große Keilschütze der Firma Krupp-Grusonwerk ist in Fig. 6 dargestellt. (Schleuse Fürstenberg a. d. O., Unterhaupt 7,2 m² Durchlaßöffnung, Gefällhöhe 15,8 m.)

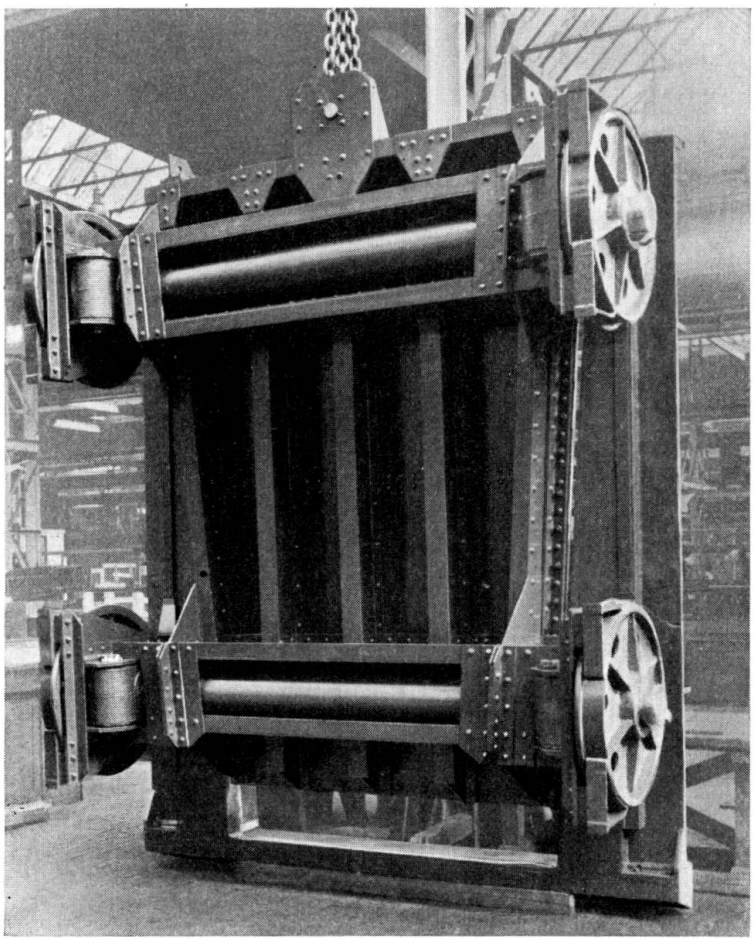


Fig. 6.
Zwillingsschachtschleuse Fürstenberg a. O., Unterhaupt, Rollkeilschütz des Krupp-Grusonwerks.

Die *Schleusen* bieten wohl am häufigsten und sinnfälligsten den Anlaß zur Verwendung von „Verschlüssen" der verschiedensten Art. Ursprünglich dienten wohl fast immer *Stemmtore* zum Abschluß der Schleusenkammern; sie sind an Einfachheit und Betriebssicherheit kaum zu übertreffen und daher auch heute noch bis zu sehr großen Abmessungen gebräuchlich; bei den Binnenschiffahrts-Schleusen beherrschen sie das Feld; aber sie sind nur dann sicher, wenn Bewegungen der Häupter ausgeschlossen sind, und sie werden unbequem, wenn die Stemmdrücke zu groß werden oder wenn das Höhen-Breitenverhältnis der Torflügel zu ungünstig wird. Im Bergsenkungsgebiet wird man von Stemmtoren im allgemeinen absehen müssen (siehe Hubtore!). Eine gewisse Unbequemlichkeit der Stemmtore liegt darin, daß die Torflügel je einen Antrieb für sich erfordern, und daß daher beiderseits maschinelle Einrichtungen nötig werden.

Klapptore vermeiden diesen Nachteil; denn sie können einseitig angetrieben werden, wenn sie nur genügend drehfest sind und nicht gegen zu hohen Wasserüberdruck bewegt zu werden brauchen; ihr Gewicht kann durch Wasserauftrieb weitgehend ausgeglichen werden. Im Oberhaupt von Schleusen mit hochliegendem Drempel können Klapptore daher sehr wohl am Platze sein (siehe Fig. 7: Klapptor der Schleuse Fürstenberg, Oberhaupt; im Hintergrunde ein Zylinderventil; beides vom Krupp-Grusonwerk Magdeburg). In der Abbildung ist zugleich bemerkenswert, daß die sonst schwer zugänglichen unteren Lager des Klapptores gegen eine federnde Druckstange abgestützt sind, sodaß das Lager beim Zwischenklemmen von Fremdkörpern ausweichen kann; jene Lager hängen zu-

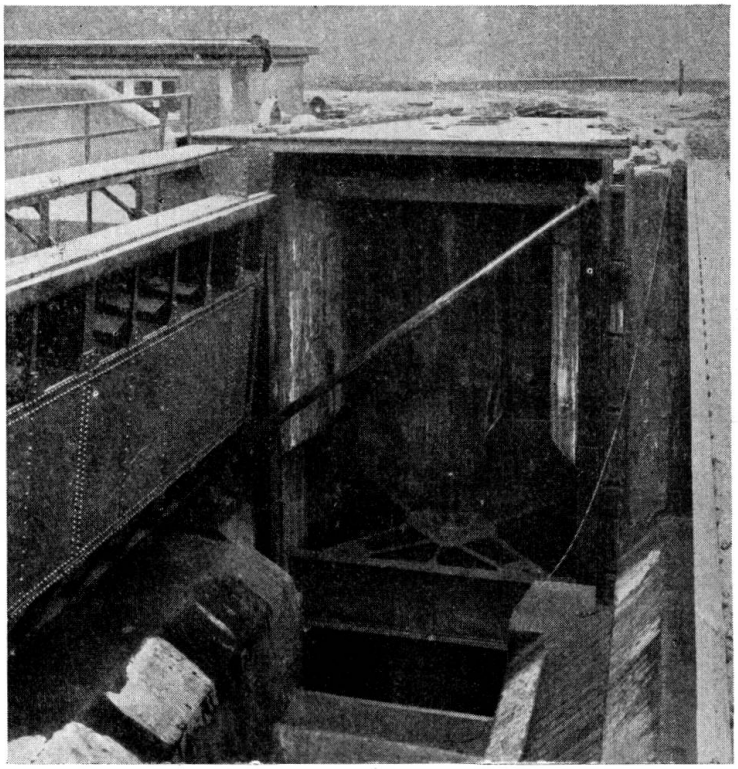


Fig. 7.
Zwillingsschachtschleuse Fürstenberg a. O., Oberhaupt, Klapptor und Zylinder-Glockenventil des Krupp-Grusonwerks.

gleich noch an senkrechten Hängebändern, sodaß es möglich ist, das Tor vollkommen aufschwimmen zu lassen und die Lager oben an der Wasseroberfläche nachzusehen.

Im Bergsenkungsgebiet Deutschlands wird heute *Hubtoren* der Vorzug vor anderen Bauarten gegeben, weil Hubtore auch starken Verschiebungen der Häupter noch zu folgen vermögen; so sind die Schleusen am Kanal Wesel—Datteln mit Hubtoren ausgerüstet worden. Hubtore sind auch am Platze für die Haltungs- und Trogabschlüsse an Schiffshebewerken (Henrichenburg, Niederfinow), an Unterhäuptern von Schachtschleusen und überall dort, wo genügend Hubhöhe für die Tore leicht geschaffen werden kann und Hubgerüste nicht stören. Die Hubtore haben den großen Vorzug der guten Zugänglichkeit zu allen Unterwasserteilen, aber auch den Nachteil großer Kosten; sie sind von

allen Schleusenverschlüssen wohl die teuersten. Eins der neuesten Hubtore für Schleusen ist in Fig. 8 dargestellt; die Anlage wurde wie andere Anlagen vorher von der M.A.N. (Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg, Werk Gustavsburg bei Mainz) für die Schleuse Herbrum im Dortmund-Ems-Kanal im Jahre 1934 geliefert.

Die Hubtore sind gewissermaßen weiter nichts, als eine große Rollschütze. Der Gedanke lag daher nahe, das Tor selbst als Schütze zu benutzen; zum mindesten von dem Augenblick an, wo bereits eine gewisse Entlastung des Tores von seiner Wasserauflast eingetreten ist. Es entstand die Frage: „*Umläufe oder nicht?*" Man war mit zunehmenden Kammerlängen und Gefällshöhen zwangsläufig zu der Erkenntnis gekommen, daß es mit den ursprünglichen Schützen in den

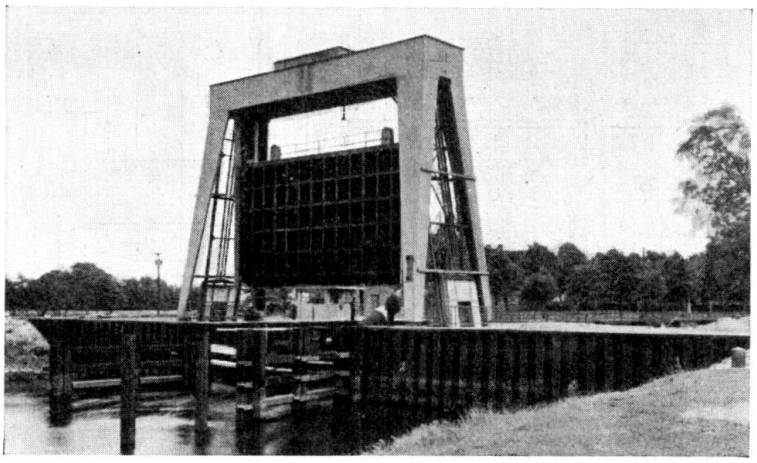


Fig. 8.
Schleuse Herbrum im Dortmund-Ems-Kanal, Hubtor mit Gelenkzahnstangenantrieb, ausgeführt von der M.A.N.

Schleusentoren nicht weitergehen konnte, weil die zu schleusenden Fahrzeuge zu stark beunruhigt wurden, wenn man ihnen vom Tore her die zur wirtschaftlichen Schleusung erforderlichen Wassermengen entgegenwarf. Man schuf die Umläufe und sah sie für lange und tiefe Schleusen, besonders für Schleppzugschleusen, als unentbehrlich an, obwohl die Umläufe mit ihren Verschlüssen und Durchbrechungen der Kammerwände alles andere, als einfach und erwünscht waren. Besonders im Bergsenkungsgebiet waren die Schwächungen der Häupter und Kammerwände sehr unwillkommen. Eingehende Modellversuche ergaben, daß man bei richtiger Wasserführung und richtiger Wasserbremsung sehr wohl *ohne Umläufe* auskommen kann.[2] [3]

Zwar kann man die schweren Hubtore gegen die Wasserauflast nicht lüften und Stemmtore noch weniger; man baut aber in die Tore Schützen ein (gewissermaßen zurückkehrend zu der ursprünglichen Bauart der friderizianischen Zeit!) und füllt oder entleert durch die Tore hindurch; man sorgt aber dafür, daß der

[2] Regierungsbaurat Dr. Ing. *Burkhardt* über Modellversuche mit Schleusen ohne Umläufe in „Die Bautechnik" (1927), Heft 3.

[3] Derselbe ebenda (1928), Heft 31, über Beobachtungen und Erfahrungen an der umlauflosen Doppelschleuse Ladenburg des Neckarkanals.

hervorschießende Wasserstrom nicht gegen die Schiffe geleitet wird, sondern seine Gewalt in mehrfachen Umlenkungen soweit verliert, daß er den Fahrzeugen nicht mehr gefährlich werden kann. Man strebt hinter dem Tor ein Spiegelgefälle an, dessen höchster Punkt dicht hinter dem Tore liegt, sodaß die in der Kammer liegenden Schiffe nur eine mäßige, aber immer in gleicher Richtung laufende Strömung zu spüren bekommen. Als Schützen in den Toren sind Segmentschützen besonders geeignet, da sie leicht zu bewegen sind und günstige Abströmung ergeben. Für die Schleuse „Hirschhorn" ist ein solch

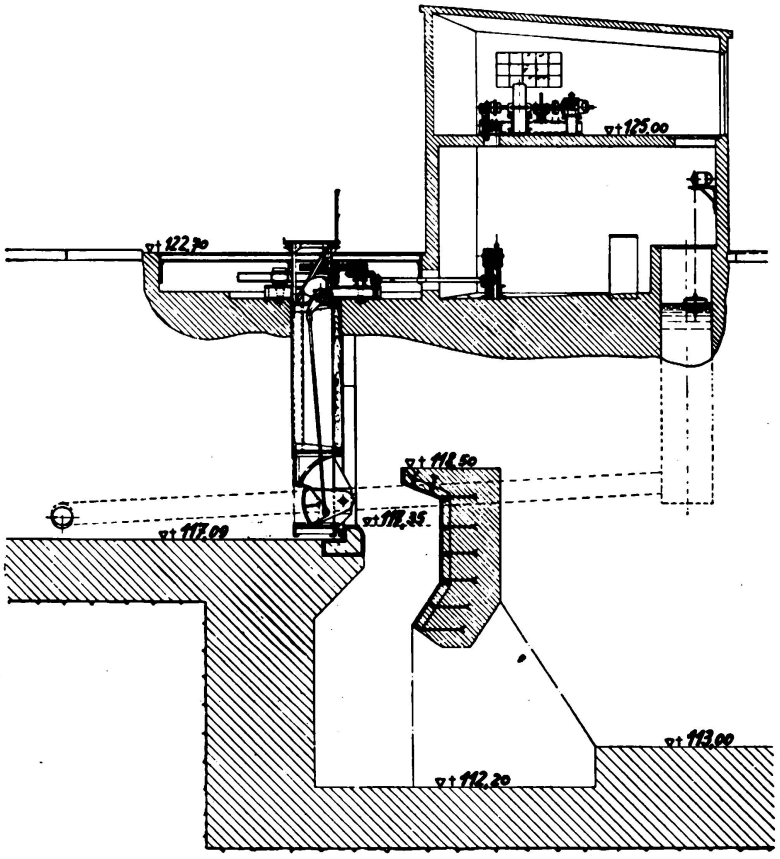


Fig. 9.

Schleuse Hirschhorn im Neckarkanal, Oberhaupt, Stemmtor mit Segmentschützen, keine Umläufe, Vernichtung der Wasserenergie durch Bremskammer.

umlaufloser Abschluß durch ein Stemmtor mit Segmentschütz in Fig. 9 dargestellt (Krupp-Grusonwerk Magdeburg). Der „Bremsbalken" ist stark eisenbewehrt und zeigt auch hier eine sehr vorteilhafte Verwendung des Stahles im Wasserbau. Es hat den Anschein, als ob die umlauflosen Schleusen in der Zukunft die Regel bilden werden, da die bisherigen Betriebserfahrungen günstig lauten.

Für sehr große Abmessungen an Seeschleusen, besonders für solche im Ebbe- und Flutgebiet, wo das Tor nach beiden Richtungen dichten können muß, sind Stemmtore oft nicht mehr angebracht. Dort werden dann *Schiebetore* verwendet, die auch gegen Wellenschlag sehr unempfindlich sind. Bei großen neuen Schiebetoren läuft das Vorderende auf einem Unterwagen, von dem es abhebbar ist, das

Hinterende auf einem Oberwagen (Fig. 10: Schiebetor in Bremerhaven, ausgeführt von Klönne, Wagen und Antrieb von der M.A.N., Kammer 372 m lang, 50 m breit). Den Schiebetoren zuzurechnen sind die *Schwimmtore,* die besonders zum Abschluß von Trockendocks verwendet werden. Sie müssen durch Schwimmkästen so ausgeglichen werden, daß sie in die Tornische eingeflößt und in ihr auf den Drempel abgesenkt werden können. Sie bilden schon den Übergang vom Wasserbau zum Schiffbau.

Das Füllen einer Schleusenkammer ohne Umläufe will man neuerdings auch wehrähnlich durch Überfall über ein senkbares Tor versuchen (Obertor der Schleuse Sersno-Oberschlesien, in Ausführung begriffen durch die Oberschlesischen Hüttenwerke, Werk Donnersmarckhütte in Hindenburg/O.S.). Hierzu eignet

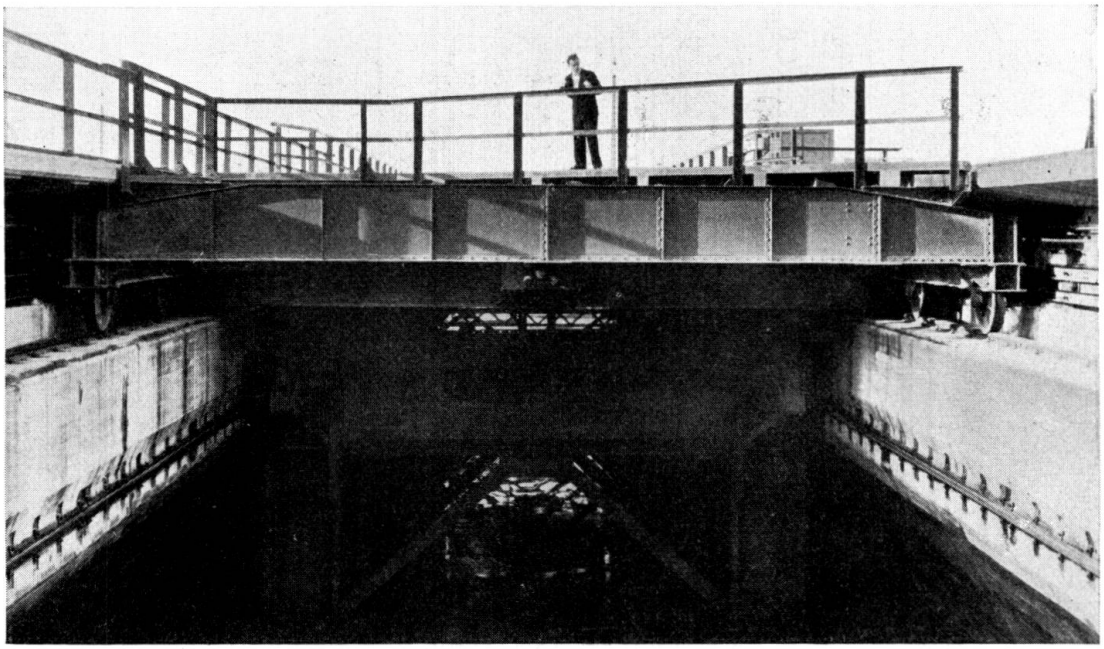


Fig. 10.

Bremerhaven, großes Schiebetor, Oberwagen, ausgeführt von der M.A.N.

sich das gegen das Oberwasser kehrende *Segmenttor* am besten, da es schon durch den Wasserdruck vom Drempel abgedrückt wird. Um unnötiges Gleiten unter Last zu vermeiden, wird man dort die Hub- und Senkbewegung von der Anpreßbewegung zum Dichten trennen und immer nur im Ruhezustande des Tores für das Anpressen sorgen. Die Überfallverhältnisse sind durch Vorversuche befriedigend geklärt worden; über die Bewährung im übrigen müssen Erfahrungen abgewartet werden.

Was die Schleusentore im kleineren Maßstabe sind, sind die *Sicherheitstore* im großen. Sie sollen hochliegende Kanalstrecken gegen Leerlauf bei Dammbruch oder dergl. schützen und gehören auch in die Nähe der oberen Haltungsabschlüsse von Schiffshebewerken. Meist verwendet man Hubtore großer Breite, da sie den ganzen Kanalquerschnitt sperren und freigeben müssen; sie müssen jederzeit — oft durch Fernauslösung von einem Beobachtungspunkte aus — in ziemlich kurzer Zeit abgesenkt werden können, während für das Wiederanheben mehr

Zeit gelassen werden kann. Eins der neuesten Sicherheits-Hubtore ist das von der M.A.N. für Duisburg-Meiderich gelieferte für 11,5 m Hub bei 100 t Hubkraft, Fig. 11.

Die *Wehre* sollen, soweit sie beweglich sind, den Wasserspiegel nicht nur anstauen, sondern auch in gewünschter Weise regeln. Das alte und auch heute noch verwendete Nadelwehr erfüllt diese Forderung nur unvollkommen und mit einer nicht unbedeutenden Gefahr für die Bedienung. Die Nadellehnen und Wehrböcke sind immerhin schon beachtlich als Verwendungsart des Stahles im Wasserbau der früheren Zeit. Die neueren Wehre sind — vom Mauerwerk oder

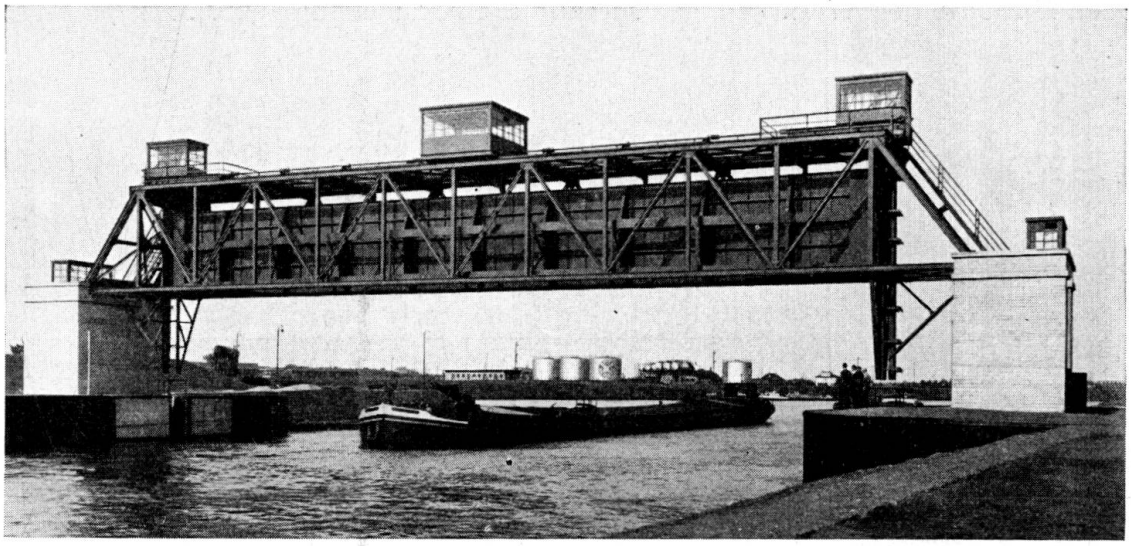


Fig. 11.

Duisburg-Meiderich, Sicherheits-Hubtor, 1935 erbaut von der M.A.N.

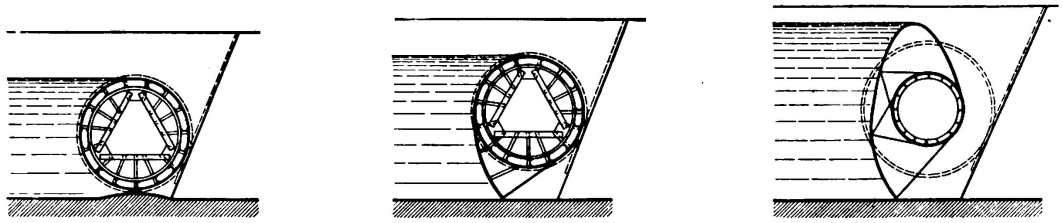
Beton des Wehrkörpers abgesehen — fast reine Stahlbauwerke im Wasserbau geworden.

Schon die *Schützenwehre,* die anfangs sich noch vielfach des Holzes, wenn auch auf Eisengerippe, bedienten, wurden mehr und mehr zu reinen Stahlbauwerken. Damit wuchsen auch die erreichbaren Spannweiten, heute bis zu 40 m und für Stauhöhen bis zu 12,5 m. Während man aber früher bei den kleineren Wehren und Stauhöhen meist durch Lüften der Schützunterkante regelte, fand man es bald für vorteilhafter, die Feinregelung durch Absenken der Oberkante vorzunehmen, d. h. die Schütze mindestens zweiteilig zu machen und einen niedrigeren Oberteil hinter (im Sinne der Wasserbewegung) einer nach oben versteiften Blechwand des Unterteils abzusenken. Die M.A.N. hat hierfür besonders beliebte Ausführungen mit gemeinsamer Laufbahn für Ober- und Unterschütz entwickelt. In Bedarfsfällen kann die Oberschütze so hoch gemacht werden, daß auch größere Mengen von Überschußwasser *über* das Wehr hinweg, statt drunter durch, abgeführt werden können. Durch Aufsetzen einer umlegbaren Klappe statt eines Oberteils auf die Unterschütze entstanden *Klappenschützen,* bei denen durch gemeinsamen Antrieb meist zuerst die Klappe gelegt und dann die ganze Schütze gehoben wurde.

Ähnlich den Klapptoren für Schleusenverschlüsse sind auch *Klappenwehre* gebaut worden, die mit dem Wasserdruck gesenkt und gegen ihn aufgerichtet werden. Um mit einseitigem Kraftangriff auskommen zu können, mußte die Klappe eine drehungsfeste Achse haben und selbst drehungsfest gemacht werden. Das führte neuerdings zur *Fischbauchform* der Klappe; so die von der M.A.N. gelieferten Entlastungswehre am Ausgleichbecken der Bleilochsperre.

Im Wesen des Klappenwehres liegt es, daß die Klappe mit der Wehrschwelle gelenkig fest verbunden sein muß und nur durch Überlauf wirken kann. Sollen Sinkstoffe, die sich vor der Klappe angesammelt haben, abgelassen werden, dann muß die Klappe ganz gelegt werden. Das reine Klappenwehr wird daher nur in bestimmten geeigneten Fällen am Platze sein.

Sehr vielseitiger verwendbar und weit verbreitet ist das *Walzenwehr*. Es ist sehr widerstandsfähig und unempfindlich, kann große Spannweiten überbrücken und kommt seiner Steifigkeit wegen mit einseitigem Antrieb aus, während Schützenwehre immer zweiseitig gefaßt und gehoben werden müssen. Eis und



Walze mit reiner Zylinderform für eine im Verhältnis zur Lichtweite geringe Stauhöhe. | Walze mit Schnabelansatz für eine im Verhältnis zur Lichtweite größere Stauhöhe. | Walze mit aufgelöstem Schild für eine im Verhältnis zur Lichtweite sehr große Stauhöhe.

Fig. 12. Drei grundsätzliche Formen von Walzen der M.A.N. für Walzenwehre.

Geschiebe können ihm nichts antun; die Überlaufverhältnisse sind schon ohne Hilfsmittel gut. Besonders die M.A.N. hat diese Wehrbauart in mehr als dreißigjähriger Arbeit entwickelt. Bei passenden Verhältnissen wird der Durchmesser der Walze gleich der Stauhöhe gewählt und das Wasser über die Walze ablaufen gelassen. Bei geringen Spannweiten, aber größeren Stauhöhen würde der Walzendurchmesser zu groß werden; man setzt dann ein besonderes Schild vor die angemessen gewählte Walze oder verlängert die Walze nach unten hin durch einen *Schnabel* (Fig. 12 aus einem Werbeheft der M.A.N.). Der Schnabel oder das Schild setzen sich zur Dichtung unten so auf, daß sie beim Abrollen der Walze ohne Reibung frei von allen etwaigen Ablagerungen vor ihr kommen. Die Walzen werden auf stark aufwärts geneigter Bahn meist mit Gelenkketten hochgezogen, wobei Zahnstangen an den Führungsschienen dafür sorgen, daß die Walze auf beiden Enden gleichmäßig aufläuft. Besonders bemerkenswert ist, daß die Walze unter allen Wehrarten wohl am unempfindlichsten gegen Vereisung ist. Man hat in Deutschland Walzenwehre bisher nicht zu heizen brauchen, um sie gegen Anfrieren zu schützen; nur in nordischen Ländern ist das nötig geworden.

Auch Walzenwehre kann man ähnlich wie Schützenwehre mit Aufsetzklappen (Fischbauchform) versehen, wenn besondere Umstände, z. B. Eisabfuhr über die Walze hinweg, das nötig machen. Solche Klappen werden meist durch das Hauptwindwerk für die Walze zugleich bedient. Größere Wehranlagen werden

jetzt meist so aufgeteilt, daß zwischen zwei Öffnungen mit Normalwalzen *eine* Öffnung mit einer Klappenwalze (statt dessen bisweilen auch eine *Versenk*walze) kommt.

Der Stahl im Wasserbau bei *beweglichen* Anlagen findet sich auch in zahlreichen Baugeräten, wie Baggern, Spülern, Schleppern, Prähmen usw. Es fiele aber aus dem Rahmen dieses Aufsatzes, darüber weiteres zu berichten. Ebenso sei davon abgesehen, auf *Rohrleitungen* für Spülbetriebe, Heberentlaster, Kraftwerke einzugehen, weil diese nicht mehr zu *beweglichen* Wasserbauwerken zu rechnen sind.

Dagegen sei noch kurz auf *Triebwerke* für bewegliche Wasserbauwerke eingegangen. Jedes bewegliche Bauwerk bedarf eines Triebwerks, das ihm die gewollte Bewegung über alle äußeren Widerstände hinweg aufzwingt. Meist genügt Menschenkraft nicht mehr, um die erforderlichen Hebe- oder Verschiebearbeiten zu verrichten. In den weitaus meisten Fällen wird der elektrische Strom einspringen können und müssen, da er jetzt wohl nahezu überall zu haben ist. Ob als Gleichstrom oder als Wechselstrom spielt für die hier vorliegenden Zwecke kaum eine entscheidende Rolle; nur dort, wo große und schwere Massen zuverlässig beherrscht werden müssen, wird die Leonard-Schaltung mit Gleichstrom vorzuziehen sein. Unsere großen Elektrofirmen haben auch zuverlässige Verfahren entwickelt, mit denen es gelingt, den Gleichlauf von Antrieben an verschiedenen Stellen *elektrisch* zu erzwingen, wenn es Schwierigkeiten bieten sollte, eine mechanische Welle für denselben Zweck durchzulegen.

Die Triebwerke bestehen fast durchweg aus „Stahl", sofern man Stahlguß und hier im weiteren Sinne auch Gußeisen dazu rechnen will. Alle Haupttragteile, wie Walzstahl, Seile, Ketten usw. sind „Stahl" und deshalb auch hier als Stahl im Wasserbau zu nennen. Die von der M.A.N. herausgebrachten „Gelenkzahnstangen" stellen ein besonders bemerkenswertes Triebwerkteil der Neuzeit dar, denn sie verbinden die Vorteile der *Gallschen* Ketten mit denen der starren Zahnstangen; sie können Zugkräfte ebensogut aufnehmen wie Druckkräfte und haben dazu noch die Vorteile der reibungslosen Umlenkung am Triebritzel. Auch für größte und stark belastete Triebe, wie bei den Schiebetoren in Bremerhaven, sind sie mit Erfolg verwendbar.

Besondere Erscheinungen.

Die hohe Festigkeit des Stahles, verbunden mit seiner großen Spannkraft (Elastizität), machen die Stahlbauwerke zu schwingungsfähigen Gebilden, die wie jedes solches eine bestimmte Eigenschwingungszahl haben. Werden solche Gebilde durch regelmäßig und in bestimmter Folge einfallende Anstöße zu *Schwingungen* angeregt, dann geraten sie in solche; die Schwingungen können gefährlich werden, wenn die anregenden Anstöße im Gleichlauf mit den Eigenschwingungen einfallen (Gleichklang, Resonanz); dann können sie sich zu Werten aufschaukeln, die bei längerer Dauer zu den gefürchteten „Dauerbrüchen" führen; ist der schwingende Körper gar aus ungleichartigen Teilen zusammengesetzt, die je für sich nach anderem Zeitmaß schwingen möchten, dann können in die verbindenden Glieder (Schrauben, Niete, Laschen usw.) Kräfte kommen, die den aus ruhender Last ermittelten vielfach überlegen sind. Besonders gefähr-

det sind Bindeglieder, die bei Schwingungs-Formänderungen verhältnismäßig große Dehnungsarbeiten aufnehmen sollen, ohne es zu können. Es sind Fälle bekannt geworden, in denen lange und dünne Schrauben gehalten haben, wo kurze und dicke nach kurzer Zeit gebrochen sind.

Zu solchen Schwingungen neigen z. B. Schützen von großer Spannweite an Wehren. Sie stehen durch den Wasserdruck unter Spannung und werden von dem fließenden Wasser zu Schwingungen angeregt, ähnlich fast, wie eine Geigensaite von dem quer darüber hinwegstreichenden Geigenbogen. So sind an den Allerwehren bei Oldau und Marklendorf solche bedrohlichen Schwingungen beobachtet worden: bei überströmtem Wehr gerieten die Stauklappen, bei unterströmtem Wehr der ganze Wehrkörper in heftige Schwingungen; und immer bei bestimmten Überfallhöhen oder Spaltöffnungen wurden die Schwingungen am stärksten. Die genannten Wehre mit Schützen von 15 m Breite und 3,70 m Höhe schwangen zwischen 10 und 25 cm Spaltöffnung, am stärksten bei 15 cm (oberhalb von 25 cm wurde alles wieder ruhig!); Niete wurden abgeschert; in den Hauptträgern entstanden Risse! Feinmessungen zeigten, daß die Stauwand sich anders bewegte als die unterwasserseitige Fachwerktragkonstruktion, wobei große Scherkräfte frei werden mußten. Man hat die Schwingungen und die damit verbundenen Gefahren schrittweise dadurch beseitigen können, daß man durch besondere Gestaltung des unteren Dichtungsbalkens (Profiländerung von Meter zu Meter!) die bis dahin einheitlichen und geschlossenen Wasserfäden des durch den Spalt schießenden Wassers verwirrte und ihnen dadurch die Möglichkeit nahm, eine eindeutige Schwingung des Wehrkörpers einzuleiten. Modellversuche zur weiteren Klärung der Frage von Schwingungen an Wehren sind eingeleitet worden. Hier erschließt sich ein neues, aber ungemein wichtiges und Aufschluß heischendes Gebiet der Forschung.

Auch Ventile, Rohrleitungen u. dgl. mehr können unter ungünstigen Umständen durch das strömende Wasser zu Schwingungen angeregt werden, die dem Baustoff verhängnisvoll werden können. Es wäre sehr zu empfehlen, daß auf diesem Gebiete die Erfahrungen aller Länder ausgetauscht würden.

Manche Teile beweglicher Bauwerke sind in hohem Maße frostempfindlich: Schützenwehre können festfrieren, Hubtore unbeweglich werden noch ehe die Schiffahrt in Winterrast zu gehen brauchte. Man kann dann zu einer zwar wirksamen, aber in Anschaffung und Betrieb nicht ganz billigen Heizung der empfindlichen Teile mit elektrischem Strome greifen (1 kWh gibt als theoretischen Gleichwert nur 860 WE her!), wie beim Weserwehr in Dörverden oder beim Schiffshebewerk in Niederfinow.

Sonstige kurze Hinweise.

Zu den „beweglichen" Bauwerken im Wasserbau gehören auch die Schiffshebewerke, von denen Deutschland die in Henrichenburg und Niederfinow bereits im Betriebe hat; sie sind wohl die größten Stahlbauwerke im Wasserbau Deutschlands, sollen hier aber nicht behandelt werden, weil das Schiffshebewerk Niederfinow Inhalt eines besonderen Vortrages ist.

Bemerkenswert ist die Betriebshalle über dem Grundablaßbauwerk und Kraftwerk im Staudamm Ottmachau; dort hat man einen Stahlskelettbau errichtet

und ihn allseitig in großen Flächen verglast (Eisenkonstruktion: Vereinigte Oberschlesische Hüttenwerke A.G.) (Fig. 13).

Daß auch *Pumpwerke* und *Kraftwerke* vom Stahl weitgehend Gebrauch machen, sei nur kurz erwähnt; sie können aber nicht zu den „beweglichen" Bauwerken des Wasserbaus gerechnet werden.

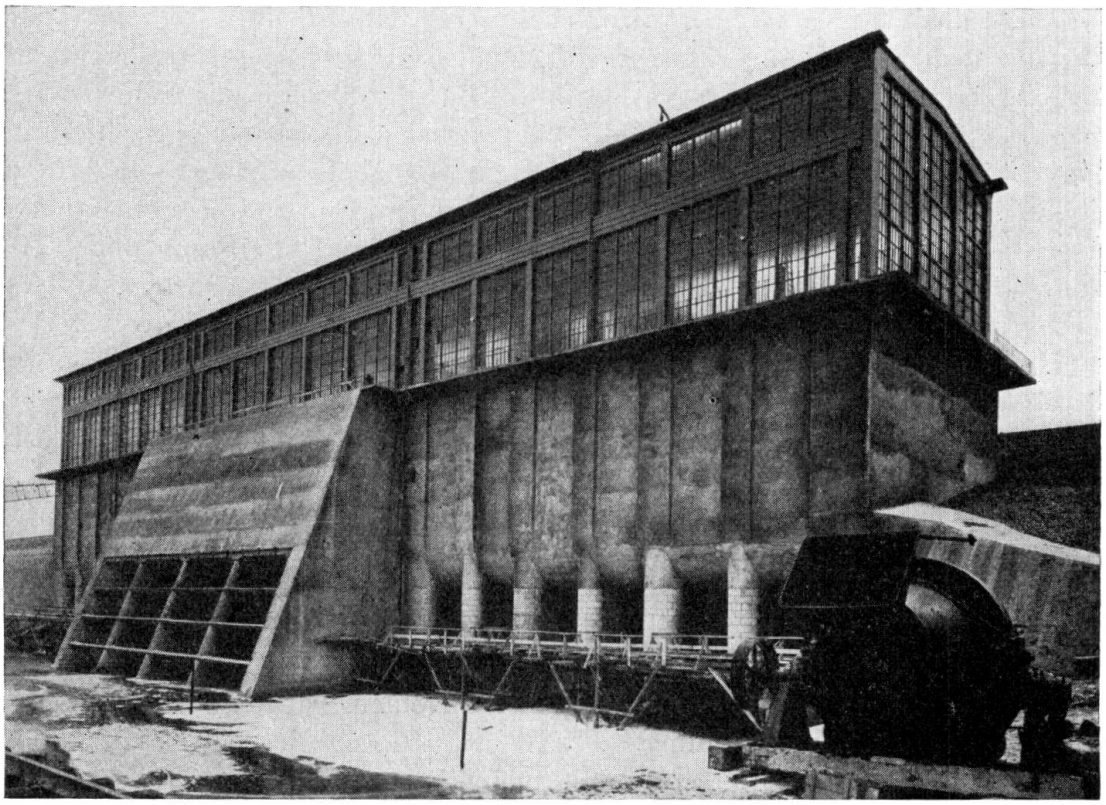


Fig. 13.

Die große Halle (Stahlbau) über dem Grundablaß- und Wasserkraftwerk im Staudamm bei Ottmachau.

Zusammenfassung.

Es ist versucht worden, in möglichst gedrängter Übersicht die Verwendung des „Stahls" in beweglichen Wasserbauwerken darzulegen und an neueren Ausführungsbeispielen aus Deutschland zu erläutern.

VII b 4

Geschweißte Wehre und Schleusentore in Belgien.

Barrages et portes d'écluses soudés en Belgique.

Welded Weirs and Sluice Gates in Belgium.

A. Spoliansky,
Ingénieur des Constructions Civiles et Electricien A. I. Lg.

Vorwort.

Der Bau des Albert-Kanals und die Flußkorrektionen haben die Errichtung von sehr vielen Wehren und Schleusen in Belgien im Verlaufe der letzten fünf Jahre erfordert.

Beinahe sämtliche bei diesen Arbeiten vorkommenden Stahlbauten wurden geschweißt.

In einer Reihe von Artikeln, von denen einige auch hier veröffentlicht wurden, haben wir den beträchtlichen Aufschwung der Schweißausführung gezeigt, den sie infolge des Baues der ersten geschweißten Brücke in Belgien nahm, nämlich der Brücke von Lanaye über den Albert-Kanal.

Die Schweißung bekam nicht nur ihr Recht, sondern auch die allgemeine Aufmerksamkeit richtete sich darauf.

Bei der Erstellung von festen Bauten hatte sich die Schweißung als besonders wirtschaftlich und angenehm erwiesen; sie mußte es zum vornherein auf dem Gebiete der beweglichen Bauten wie Laufkrane, bewegliche Brücken, Eisenbahnwagen usw. wegen der erreichbaren Gewichtsersparnis sein; auf dem Gebiete des Wasserbaues hat sie wegen ihrer sicheren Abdichtung große Vorteile. Wenn beim gegenwärtigen Stand der Schweißausführung und im Hinblick auf den einzigen Prüfstein des Totalpreises ein Wettbewerb zwischen der Nietung und der Schweißung in gewissen Arbeiten zu verstehen ist, so gibt es aber zweifellos Ausführungen, bei denen sich die Schweißung unabhängig vom Preis wegen ihrer wesentlichen Eigenschaften aufdrängt.

So bei den Stauwehren und Schleusentoren:

1. Die Gewichtsverminderung der Stahlteile wird eine merkliche Verkleinerung der mechanischen Einrichtungen gestatten und eine Ersparnis an Betriebskosten, trotz der großen Steifheit der Ausführung.
2. Eine vollkommene Wasserdichtigkeit kann ohne Schwierigkeit sehr billig erreicht werden.
3. Der leichte Unterhalt jeder Schweißkonstruktion verlängert ihr Leben.

Steifheit, Leichtigkeit, Wasserdichtigkeit und leichter Unterhalt stellen die Haupteigenschaften dar, die gut entworfene Schleusentore haben müssen.

Es ist darum nicht zu verwundern, wenn nach den ersten geschweißten Ausführungen von Schleusentoren und Stauwehren, die durch die Anregung eines einzigen Konstrukteurs erstellt worden sind, die Administration des Ponts et Chaussées die Schweißung zu verlangen beginnt.

Bestandteile.

Ein Schleusentor ist nichts anderes als eine Brückentafel mit Blechbelag und Auflagergebälk.

Die Blechstärken werden im allgemeinen so klein als nur zulässig erstellt. Wenn es möglich wird, durch die Anordnung der Versteifungen diese Mindeststärke nirgends zu überschreiten, würde nichts hindern, die Tore mit einer einzigen Blechstärke auszuführen.

Ferner gestattet die zusammenhängende Ausführung, das Blech in einem gewissen Maße als Bestandteil der Nebenträger mitwirken zu lassen und sie dadurch leichter zu gestalten, ähnlich wie bei einer Rippendecke in Eisenbeton.

Diese Nebenträger, Hauptquerträger und die Pfosten können aus Profilen bestehen oder aus geschweißten Balken. Beide Arten wurden beim Bau der Schleusentore in Belgien je nach ihrer Zweckmäßigkeit verwendet.

Die aus einem Stück bestehende geschweißte Ausführung sichert schon von selbst eine genügende Steifigkeit. Dennoch wurden im allgemeinen Windverbände in Form von Andreaskreuzen vorgesehen.

Neben diesen Besonderheiten bleiben die leitenden Grundsätze eines guten Entwurfes für ein genietetes oder geschweißtes Bauwerk dieselben.

Die Hauptschwierigkeit, wenn nicht die einzige, beim Bau eines geschweißten Schleusentores sind die durch unsymmetrische Einzelteile vergrößerten Wärmespannungen (ein einziges Blech z. B.).

Der Verlauf der Schweißausführung muß besonders untersucht werden, und Verformungen müssen mit allen Mitteln verhindert werden, um schwere Mißerfolge zu vermeiden.

Wir beschreiben in der Folge kurz einige neuere Ausführungen in Belgien.

Das Schleusenwehr in Marcinelle.

Dieses große Bauwerk muß die Sambre in Charleroi verbessern, die verheerenden Überschwemmungen verhindern und die Schiffahrt erleichtern. Es wurde nach einem allgemeinen Projekt von Herrn *Caulier,* Ingénieur Principal des Ponts et Chaussées, im Jahre 1931 ausgeschrieben. Für die Stahlteile wurde ein Wettbewerb veranstaltet. Dabei wurde das geschweißte Projekt der Sté Métallurgique d'Enghien St. Eloi angenommen.

Eine vollständige Beschreibung dieses Bauwerkes würde nicht in den Rahmen dieses Artikels passen.

Wir werden uns auf die eigentlichen Stahlteile beschränken.

Schleusentore. Die Tore dieser Schleuse von 130 m Länge sind Schiebetore. Sie verschieben sich in einer senkrechten Ebene zur Achse der Schleuse. Jedes derselben (Fig. 1) ist mit Stahlkabeln an einem Wagen aufgehängt, der sich auf einem Steg über Betonpfeilern bewegt. Die Aufhängung der Tore an diesem Steg ist so geplant, daß die Tore leicht mittels Flaschenzügen aus dem Wasser gehoben werden können (Fig. 2).

Die Öffnung jedes Tores geschieht mit einem Stahlseil und mit Hilfe einer Zahnradwinde, die für das obere Tor auf der Uferseite und das untere auf der Flußseite steht.

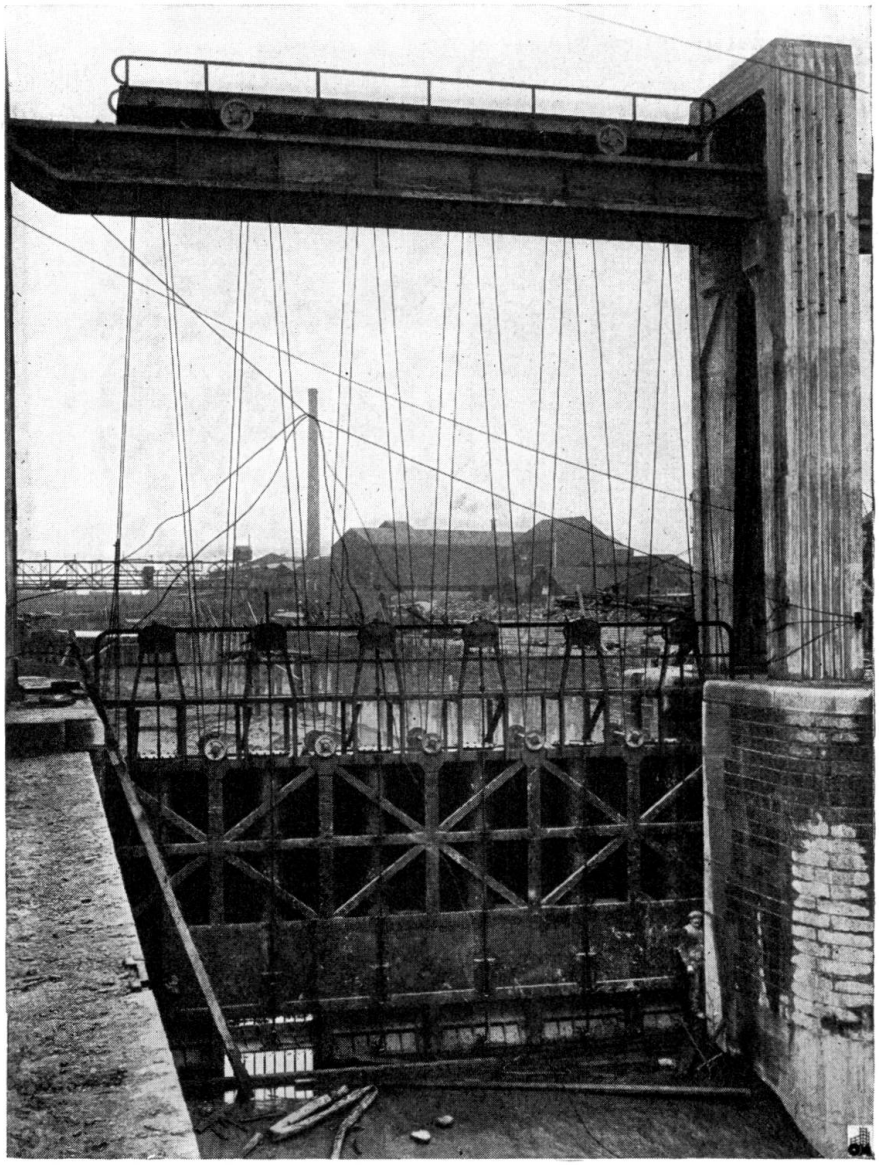


Fig. 1.
Schleusentor bei Marcinelle.

Das Schließen des Tores erfolgt ebenfalls mit derselben Winde. Die Umlaufschieber werden durch Winden vom Steg der Tore aus bedient.

Unteres Tor.

Breite des Tores . . .	12,900 m,
Höhe des Tores . . .	7,100 m,
Stärke des Tores . . .	0,700 m.

Das Tor wird mit den zwei folgenden Annahmen berechnet:

1. Voller Wasserdruck im Oberwasser, kein Wasser unten, zulässige Spannung 12 kg/mm²;
2. im normalen Betrieb, mit Wasserspiegeldifferenz von 2,35 m und Beanspruchung 10 kg/mm².

Das Gewicht eines Tores beträgt genietet . . . 25384 kg,
geschweißt . . 20234 kg,
also eine Gewichtsersparnis von ungefähr 20 %.

Die Tore besitzen eine doppelte Blechhaut von 10 mm Stärke und ergeben so die Möglichkeit eines Gewichtsausgleiches.

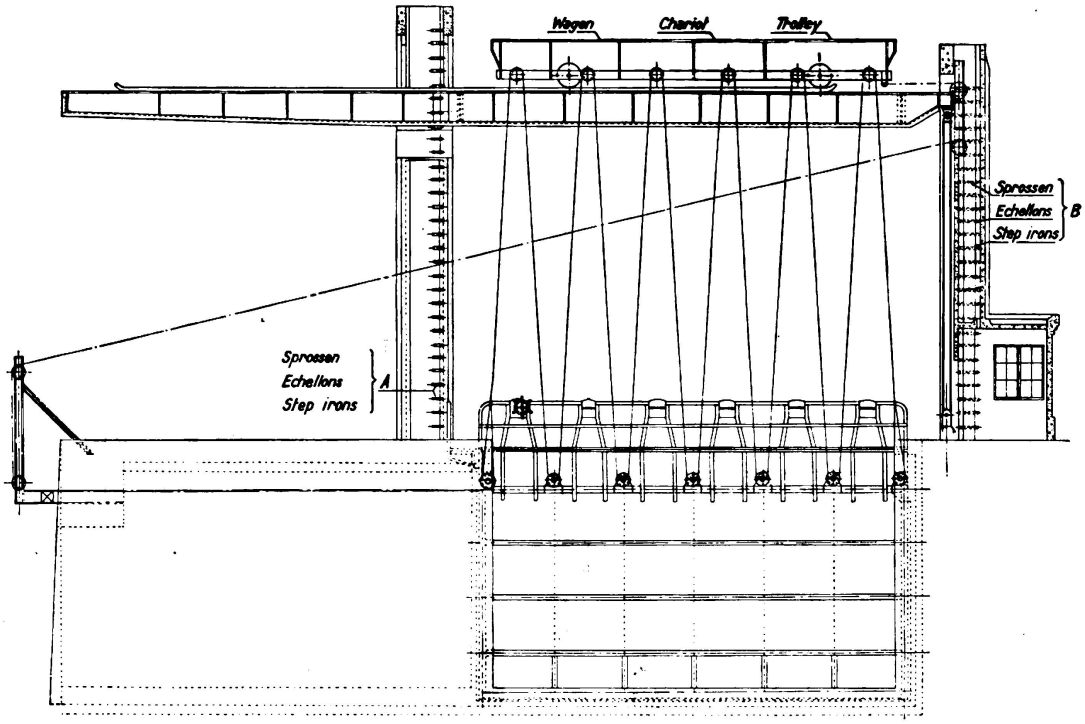


Fig. 2.
Übersicht des oberen Schleusentores bei Marcinelle.

Wasserdichte Zugangskamine gestatten einen leichten Unterhalt im Innern.

Das Tor besteht aus sechs Trägern mit einem Steg von 750 × 10 mm und geschweißten Flanschen von veränderlicher Stärke und Breite.

Die beiden äußersten Pfosten haben genau die gleiche Zusammensetzung.

Die Stegbleche der Zwischenpfosten sind 750 × 10 mm groß, die Flanschen werden durch die Blechhaut gebildet.

Man hat außerdem eine gewisse Zahl von Nebenaussteifungen mit leichten Normalprofilen vorgesehen.

Wegen der doppelten Haut mußten die Bleche bei den Querträgern unterbrochen und dort stumpf geschweißt werden.

Das ganze ist wie aus einem Stück und vollkommen steif; trotzdem wurden Windverbände darin vorgesehen (Fig. 3).

Das Tor ohne Steg und Randpfosten wurde in zwei Teilen zu je drei Trägern transportiert. Auf dem Bau wurden diese beiden Stücke durch die Schweißung des mittleren Bleches verbunden, worauf die Randpfosten und der Steg angeschweißt wurden.

Oberes Tor.

Breite . . . 9,400 m,
Höhe . . . 4,550 m.

Aus dem gleichen Grund wie beim unteren Tor wurde eine doppelte Haut vorgesehen. Die Zusammensetzung ist genau dieselbe, besteht aber aus fünf Trägern.

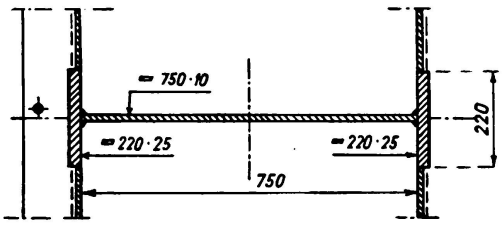


Fig. 3.
Querträger, Befestigung der Dichtungshaut,

Das Gewicht des obern Tores ist 20 200 kg bei Nietung und 15 780 kg bei Schweißung, was ebenfalls eine Ersparnis von ungefähr 22 % ergibt.

Wehr. Das eigentliche Wehr besitzt einen genügend großen Durchfluß-Querschnitt, um die Anwendung des Systems *Stoney* zu rechtfertigen (Fig. 4).

Es stützt sich auf zwei horizontale Hauptbalken System *Vierendeel* ab. Diese Bauart wurde nicht wegen einem vermeintlichen Gewichtsgewinn gewählt, sondern um im Wasser große Eisenteile zu haben, anstatt kleiner Stücke. Auf der Oberwasserseite dienen die Hauptträger als Auflager für die U-Eisen mit der Blechhaut, auf der Unterwasserseite sind sie durch Verbände versteift (Fig. 5).

Diese zwei Hauptträger sind mit den äußersten senkrechten Trägern verbunden und tragen die Rollenwagen.

Jede Schütze hat einen Abflußquerschnitt von 10,39 m Breite, der durch Bedienung einer um eine horizontale Achse drehbaren kleinen Schütze vermindert werden kann.

Die Führungsrollen der *Stoney*-Schütze stützen sich auf Stahlschienen ab, die in den Nuten des Mauerwerks befestigt sind.

Die seitliche Wasserdichtigkeit wird durch hängende Stahlstäbe erreicht, die mit Kautschuk verkleidet sind.

Diese Stäbe ruhen auf der Schützentafel und einem Gußstück in der Wehrnut.

Der wasserdichte Abschluß zwischen unterer und oberer Schütze erfolgt durch Chromleder.

Die Schützen sind mit Drahtseilen an den Bedienungswinden aufgehängt, die auf einem Dienststeg aus Beton aufgestellt sind. Der Gewichtsausgleich geschieht durch Gußgegengewichte in den Pfeilern.

Die Abmessungen der Schützen ließen den Transport nach vollständiger Fertigstellung nicht zu. Die beiden Randpfosten neben der kleinen Schütze mußten zerlegt auf den Bauplatz gesandt und dort zusammengeschweißt werden. Die große Schwierigkeit dieser Montage bestand darin, daß das Spiel zwischen den Teilen auf ein Mindestmaß beschränkt werden mußte, das eine gute Dichtung und Bedienung der kleinen Schütze erlaubte.

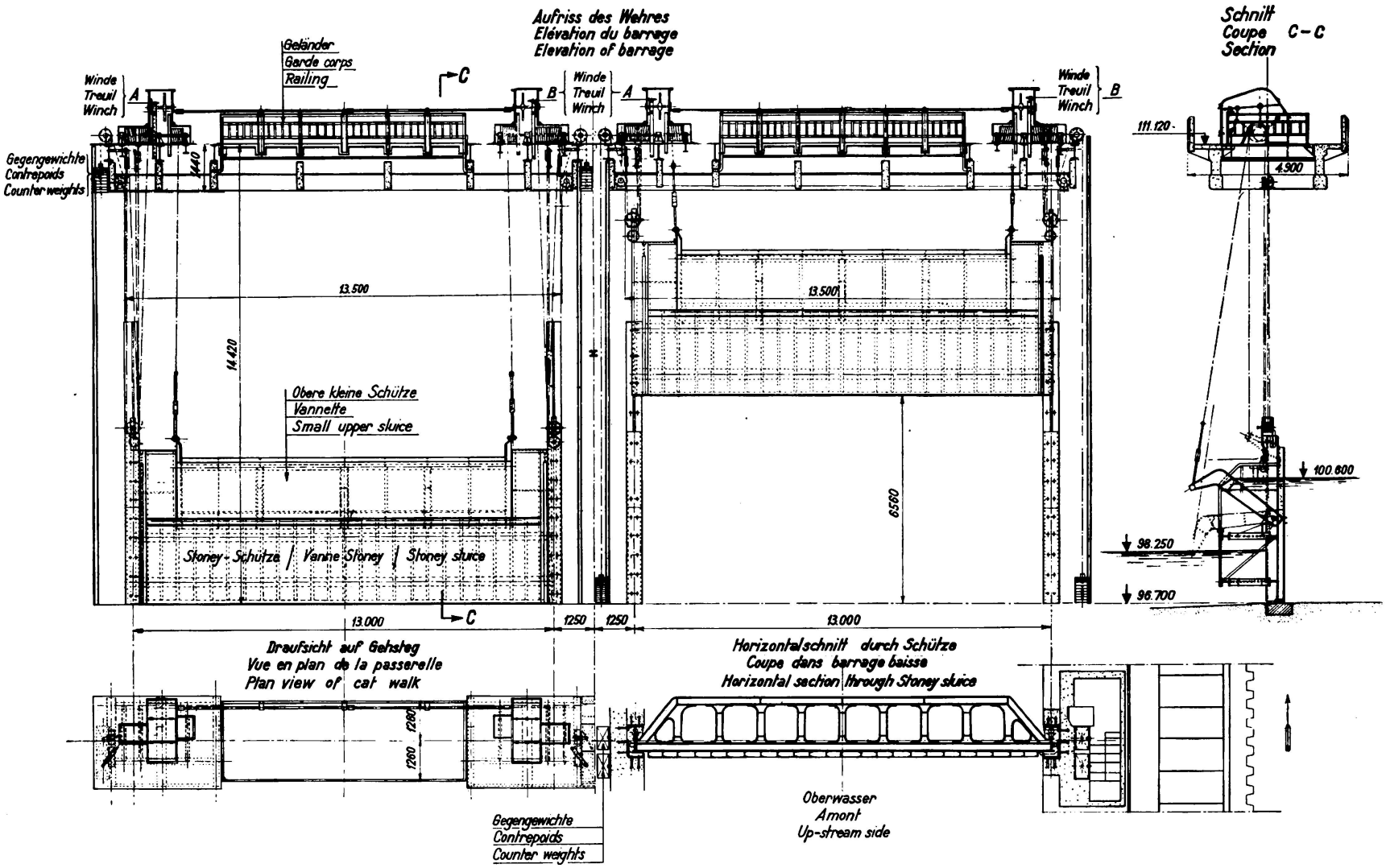


Fig. 4.
Übersicht der Schleuse bei Marcinelle.

Die Wehrbreite beträgt 13 m.

Die Höhe des Wehres mit gesenkter oberer Schütze mißt 2,680 m.

Die größte Höhe ohne Senkung beträgt 4,600 m.

Das Gesamtgewicht bei genieteter Ausführung wäre 43 000 kg gewesen, mit der Schweißung benötigte man 35 864 kg gleich 16,8 % Ersparnis.

Obere kleine Schütze. Sie besteht ebenfalls aus zwei horizontalen Hauptträgern, auf die die einfache Blechhaut von 10 mm Stärke mit Versteifungen aus Flacheisen und leichten Normalprofilen aufgeschweißt ist.

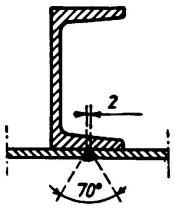


Fig. 5.
Stoneyschütze, Blechstoß auf [-Eisenzwischenträgern.

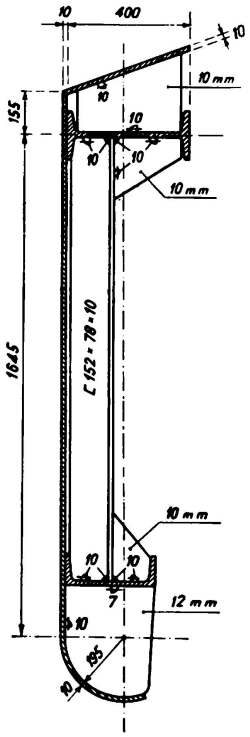


Fig. 6.
Kleine Schütze der Schleuse bei Marcinelle.

Diese Balken lagern auf zwei äußeren Pfosten, die das Heben des Teiles gestatten.

Infolge seiner besondern Form (Fig. 6) und einer vollkommen unsymmetrischen Anordnung der Teile, mußten besondere Vorsichtsmaßnahmen ergriffen werden, um das Schiefwerden der Drehachsen zu vermeiden und so eine gute Beweglichkeit und vollständige Wasserdichtheit zu erhalten. Diese Schütze ist geschweißt und wiegt 10 t, während sie mit Nietung 11 t erreicht hätte.

Einige Einzelheiten. Man könnte manche interessante Beispiele erwähnen, wo die Schweißung eine große Vereinfachung der Ausführung oder eine Materialersparnis erlaubt hat. Der Zufall hat es gewollt, daß die erste geschweißte Wehrausführung das Wehr von Marcinelle war, wo die Verschiedenheit der Formen und Einzelteile sehr groß war. Damit dieser Artikel nicht zu lang wird, erwähnen wir nur das Beispiel des Ersatzes eines Gußstahlstückes durch Schweißung bei einer Aufhängungsanordnung (Fig. 7).

Schleuse von Wyneghem (1933—1934).

Sie ist eine der sechs Schleusen zwischen Antwerpen und Lüttich. Für eine Unabhängigkeit bei jeder Beschädigung und bei Bauarbeiten sind zwei Schleusen ausgeführt worden; jede Kammer mißt 136 m in der Länge bei 16 m Breite und erlaubt, einen Höhenunterschied von 5,700 m zu überwinden.

Die Schleuse wurde nach neuen Grundsätzen bei der Füllung und Leerung der Kammer erstellt: Die Umlaufleitungen in den Schleusenhäuptern sind weggelassen und das Füll- oder Entleerungswasser fließt durch Gußstahl-Segmentschützen in den Toren selbst. Die zwei Öffnungen in jedem Tor haben eine Lichtweite von 2200 × 800 mm.

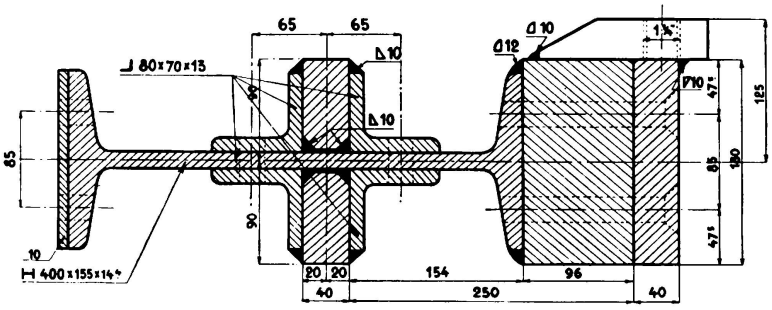


Fig. 7.
Marcinelle, Einzelheit der Aufhängung der Stoney-Schütze.

Die seitliche Dichtung dieser Schieber wird mittels beweglicher Lamellen aus nichtrostendem Stahl hergestellt, die mit Kreisausschnitten aus Bronze verkleidet sind und sich auf Gußstahlstücken an den Wänden der Toröffnungen bewegen. Im untern Teile ruhen diese Schieber ebenfalls auf Bronze-Lamellen; die Dichtheit des obern Teiles wird durch Kautschuk erreicht, der auf eine Gußstahlführung durch bewegliche Lamellen aus nichtrostendem Stahl gepreßt wird.

Die lebendige Kraft des Wassers wird in den Wirbelkammern mit Gußstahlverkleidung zerstört, die im oberen Haupt angeordnet sind; auf diese Weise wird die Ruhe des Wasserspiegels in der Kammer beim Füllen nicht gestört. Es befinden sich in den untern Schleusenhäuptern ebenfalls Energievernichter, um das Wasser beim Austritt zu beruhigen. Die Schleuse als Werk von Herrn *A. Braeckmann,* Ingénieur Principal aux Ponts et Chaussées, wurde direkt im Modell untersucht, was die Bestimmung der Kammerform der Schiebergrößen und der Betriebsart erlaubte.

Die Verbindung der zwei Kammern ist durch vier ähnliche Segmentschützen vorgesehen, die in der mittleren Schleusenwand angeordnet und zu je zweien zusammengefaßt sind; jede Gruppe dient zur Entleerung einer Kammer in die andere. Auf diese Art kann eine Schleuse als Sparbecken für die andere dienen im Falle von Wassermangel.

Der Unterschied der Verbindungsschieber gegenüber denjenigen in den Toren zeigt sich nur in den seitlichen Dichtungsfugen, die für eine Dichtung auf beide Richtungen zu erstellen waren.

In der Tat wird bei den Toren der Druck auf die Schieber immer von oben nach unten ausgeübt, während er in der Mittelwand sowohl in der einen als auch

der andern Richtung wirken kann, je nachdem sich die eine Kammer auf dem untern oder obern Wasserspiegel befindet.

Die Bedienungseinrichtungen sind unter der Erdoberfläche angeordnet und der ganze wichtige Bau besitzt so einen eigenartigen Charakter.

Die Tore sind als Stemmtore ausgebildet.

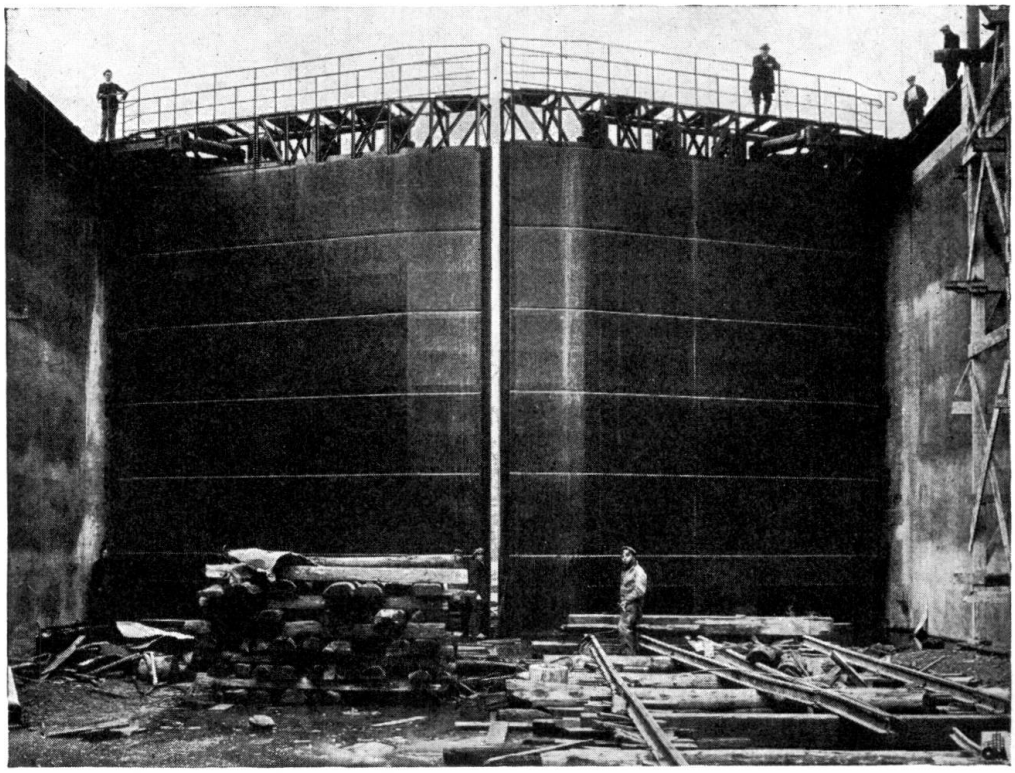


Fig. 8.
Oberwasserseitige Ansicht des unteren Schleusentores bei Wyneghem.

Unteres Tor (Fig. 8).

Breite eines Tores . . .	8,839 m,
Pfeilhöhe	3,000 m,
Gesamthöhe	9,950 m.

Das Tor besteht aus sieben gleich weit entfernten Querträgern auf den zwei Randpfosten. Um eine Biegung derselben zu vermeiden, haben die Träger getrennte Auflager in Gußstahl am Hauptpfosten. Diese Träger bestehen aus einem Stegblech 890 × 10 mm und geschweißten Flanschen von veränderlicher Breite und Stärke. Die einfache Blechhaut von 10 und 11 mm Stärke ist auf den Flanschen der Querträger durch zwei Schweißnähte verbunden und bewirkt so eine gute Dichtung (Fig. 9). Die Pfosten setzen sich aus einem Steg von 940 × 8 mm und zwei Flanschen zusammen, von denen der eine ein Flacheisen 120 × 8 mm und der andere die Blechhaut ist. Die Randpfosten haben einen Steg von 568 × 10 mm und Flanschen von 280 × 10 mm.

Die Blechhaut ist außerdem waagerecht durch leichte Profile ausgesteift.

Das Gewicht eines geschweißten Tores beträgt 23,5 t, mit Nietung hätte es 27 t, oder 13 % mehr, gebraucht.

Trotz der großen Steifheit des Ganzen wurden Andreas-Kreuze als Windverbände angeordnet.

Das obere Tor (Fig. 10 und 11) mit einer theoretischen Höhe von 5,750 m ist ähnlich gebaut wie das untere.

Es hat vier Querträger mit einem Steg von 868 × 10 mm; die Randpfosten besitzen ein Stegblech von 568 × 10 mm und Flanschen von verschiedener

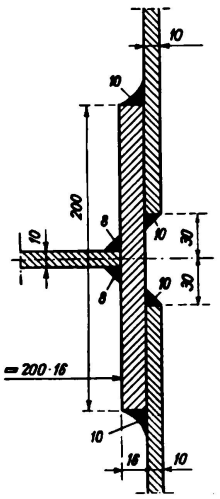


Fig. 9.
Schleuse bei Wyneghem.
Stoß der Dichtungshaut.

Stärke, die Zwischenpfosten einen Steg von 840 × 8 mm, einfache Blechhaut von 10 mm Stärke, Aussteifungen mit Flacheisen.

Das Gewicht eines geschweißten Tores ist 11 100 kg; mit Nietung war es mit 14 423 kg vorgesehen; es ist also eine Ersparnis von 23 % erreicht worden.

Die Schleuse von Herenthals.

Sie befindet sich im Verbindungskanal des großen Wendebeckens von Hérenthals mit dem Albert-Kanal. Der erstere ist für Kähne von 600 t gebaut.

Die Schleuse hat bei einem Gefälle von 7,30 m eine Kammer von 55 m Länge und eine Breite von 7,500 m.

Die Schleusenwände enthalten im untern Teil eine große Längsleitung mit drei Ausflußöffnungen gegen die Kammer. In ihrem untern Teil enthalten sie eine kleine unabhängige Wasserleitung, die die untere Wasserhaltung speist. Die Füllung geschieht durch Zylinderschützen im oberen Teil und durch Räderschützen im unteren Teil.

Die Zylinderschützen haben eine große Nutzwirkung, sie werden aber als untere Schützen einer Schleuse mit großem Gefälle zu groß.

Die Schleuse ist das Werk von Herrn *A. Bijls*, Ingénieur en Chef, Directeur des Ponts et Chaussées.

Die Stemmtore sind nach dem System «aiguille centrale» gebaut.

Unteres Tor (Fig. 12).

Breite eines Tores . . .	4,120 m,
Pfeilhöhe	1,650 m,
Gesamthöhe	10,975 m.

Eine Blechhaut von 10 mm Stärke.

Das Tor besteht aus drei Pfosten, auf die sich die vier Querträgerreihen abstützen.

Die Querträger und Pfosten sind Profile 65 DIN. Die Aussteifungen sind leichte Normalprofile, und die Verbände als Andreas-Kreuze sind U 200 PN.

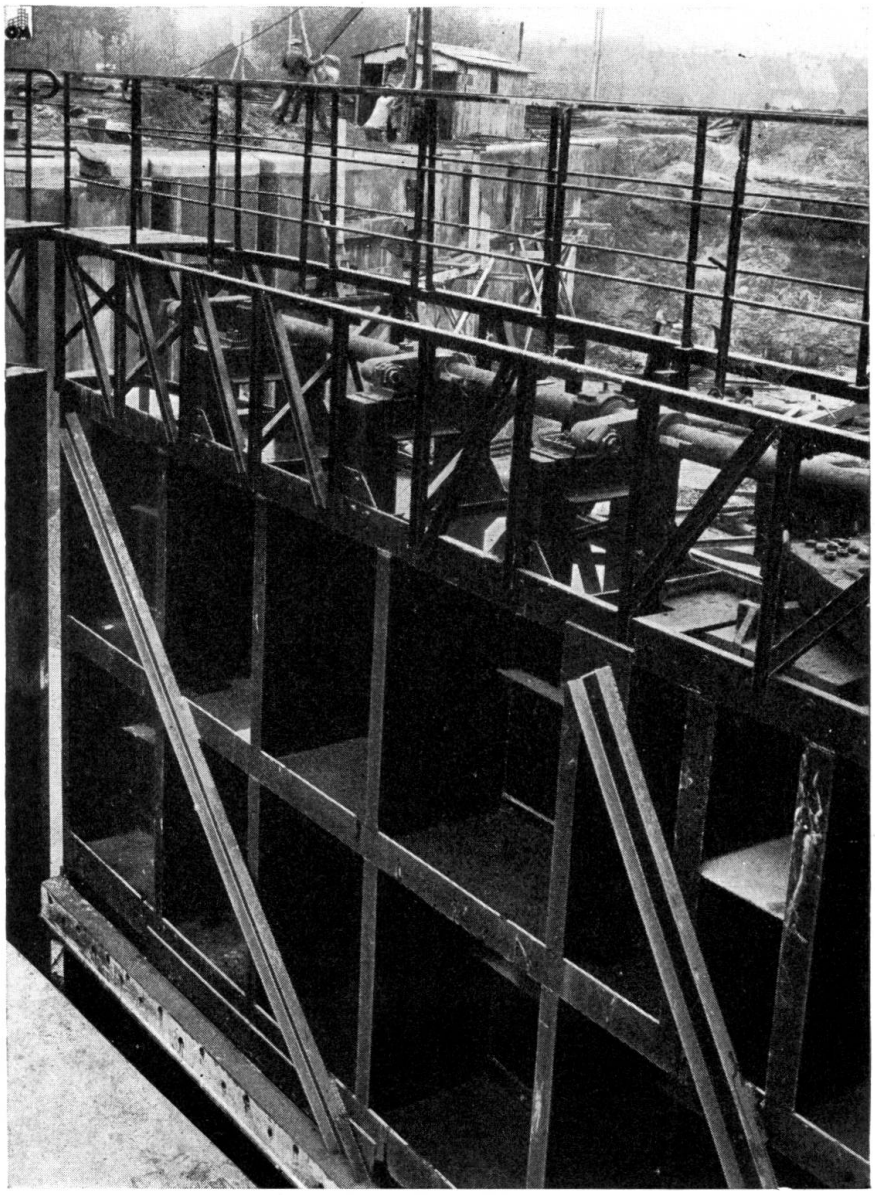


Fig. 10.
Oberer Torflügel der Schleuse bei Wyneghem.

Das Tor ist von sehr kräftiger und einfacher Gestalt; es wiegt 18412 kg.
Das obere Tor hat eine Höhe von 3,525 m und eine Blechhaut von 10 mm.
Pfosten und Querträger sind Profile 45 DIN.
Es ist gleich gebaut wie das untere Tor.
Sein Gewicht beträgt 3980 kg.
Die Zylinderschützen und die Räderschützen sind beide gänzlich geschweißt.

Die Zylinderschützen besitzen einen Blechzylinder von 10 mm Stärke, auf dessen unterm Teil die Klappe aus Schmiedstahl aufgeschweißt ist; diese ruht auf einem Sitz in Gußstahl, der im Beton verankert ist.

Der Zylinder ist innerlich stark versteift durch Diagonalen und Querstreben in Profileisen und wird im Schlitz mit Rollen geführt. Die Räderschützen mit Trapezform bestehen aus *Grey*-Profilen und einem einzigen Blech; sie rollen auf vertikalen Schienen, die im Beton verankert sind. Sie dichten ab, indem sie

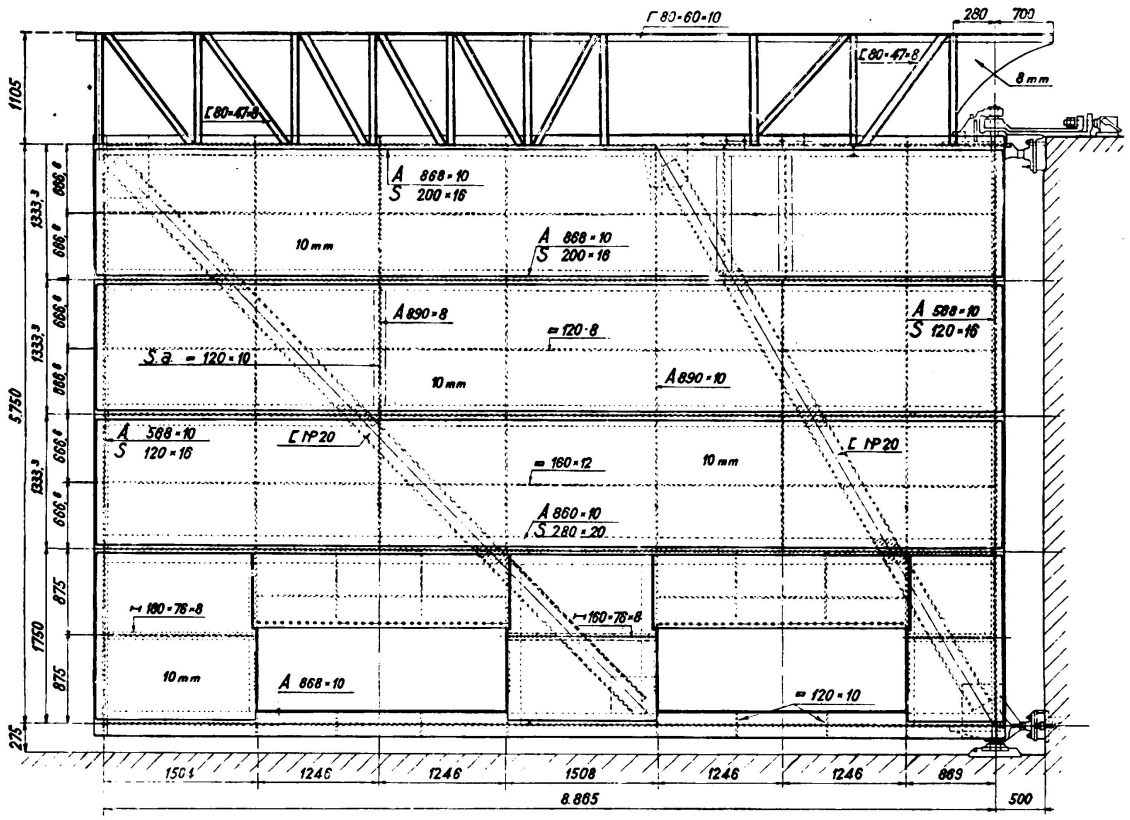


Fig. 11.
Wyneghem. Übersicht des oberen Schleusentores.

sich gegen Gußstahlrahmen legen, die in das Mauerwerk eingebettet sind. Der Antrieb der Tore und Schützen geschieht elektromechanisch und durch Zahnstangen.

Schleuse in der Nèhte. Werk von Herrn *Claudot,* Ingénieur en Chef.

Dieses Bauwerk liegt an der Kleinen Nèthe und stellt die Verbindung mit dem Albert-Kanal her; es ist normalerweise für Kähne von 600 t berechnet, muß aber dennoch die Durchfahrt mit Schiffen von 1350 t ermöglichen.

Die Schleuse besitzt eine Kammer von 82 m Länge, 12,500 m Breite und ein Gefälle von 5 m.

Die allgemeine Anordnung dieser Schleuse ist wie in Wyneghem mit Segmentschützen aus Gußstahl in den Toren. Die Stemmtore sind wie in Hérenthals vom System „aiguilles centrales".

Dennoch ist ihre Form nicht so einfach, da die Größe der Schützen im untern Teile der Tore eine größere Stärke notwendig machte (Fig. 13).

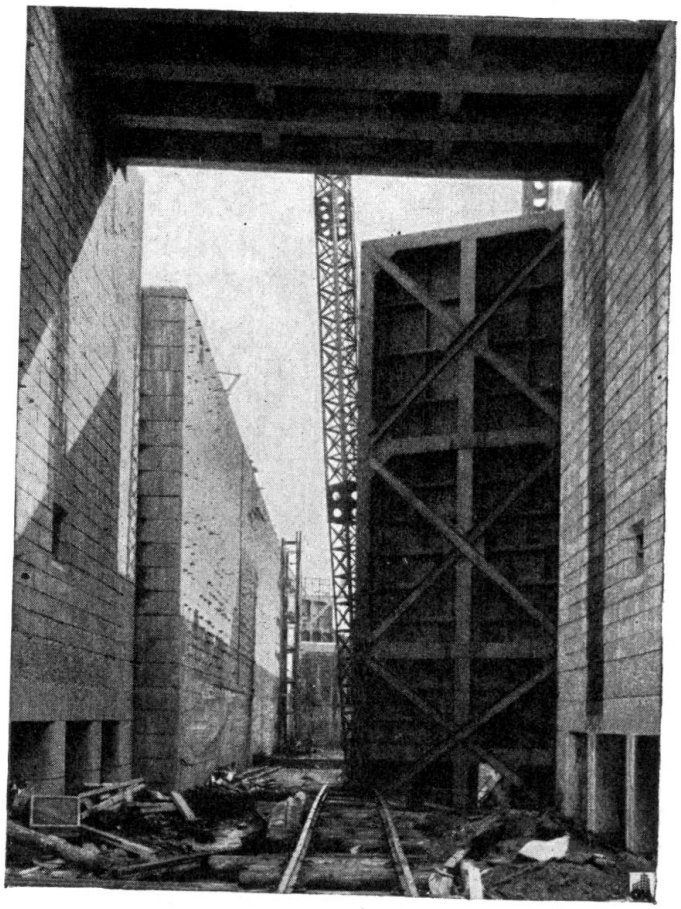


Fig. 12.
Montage des unteren Tores der Schleuse bei Herenthals.

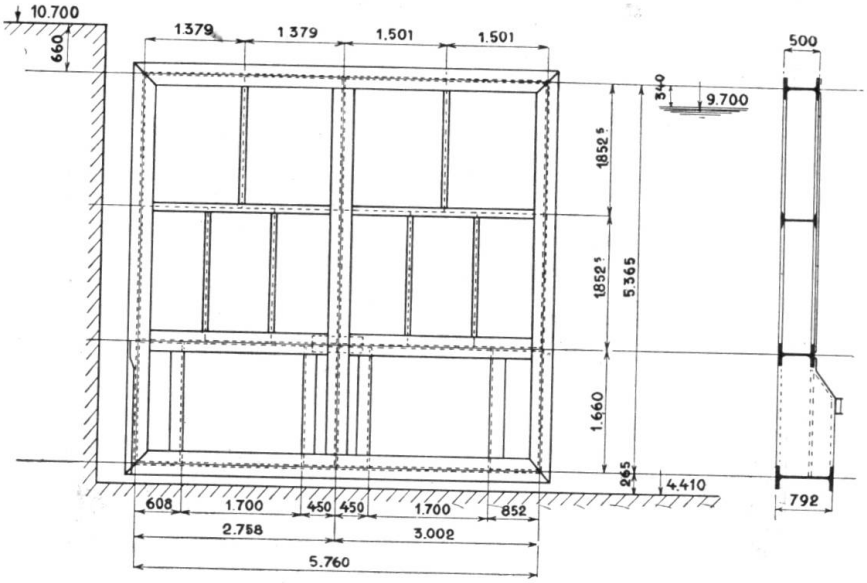


Fig. 13.
Schleuse der Nèthe.

Die Hauptmerkmale der Tore sind die folgenden:

Unteres Tor

Breite eines Tores . . .	5,760 m
Pfeilhöhe	1,900 m
Theoretische Höhe . . .	9,490 m

Eine Blechhaut von 10 und 10,5 mm Stärke.

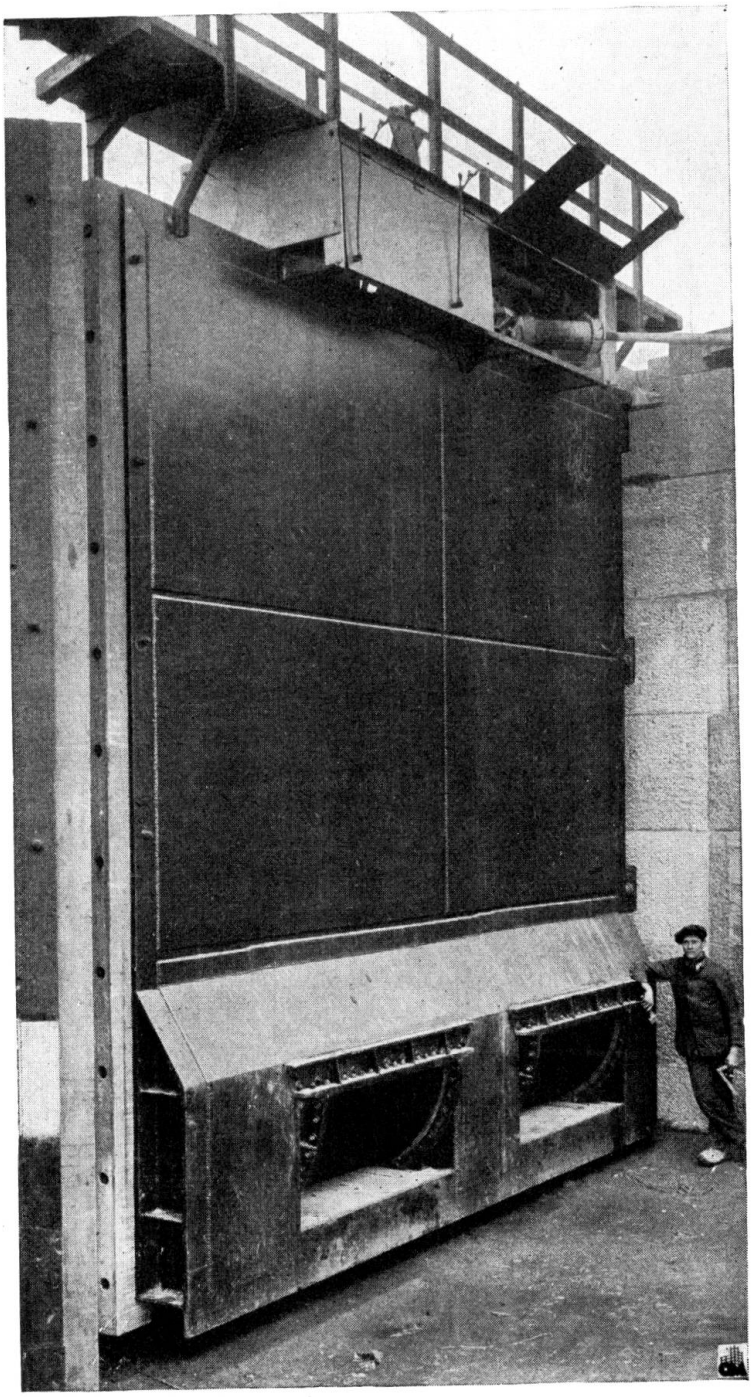


Fig. 14.
Oberer Torflügel der Schleuse bei Nèthe.

Der Rahmen und der Mittelpfosten sind I DIL 50.

Die Querträger außer dem untersten sind PN 500, die Aussteifungen PN 120, 200 und 280. Die Andreas-Kreuze sind U 240 PN.

Das Gewicht eines Tores ist 19,524 kg.

Oberes Tor (Fig. 14). Es hat dieselbe Zusammensetzung wie das untere Tor, eine Höhe von 5,365 m und wiegt 12 t.

Das Dichtungssystem der Schützen wurde in Hérenthals gegenüber Wyneghem vollständig abgeändert.

Die Lamellen aus nichtrostendem Stahl mit Kreisausschnitten aus Bronze wurden weggelassen und an den seitlichen und oberen Wänden durch eine Kautschukfuge in einem Stück ersetzt. Für den unteren Teil wurde die Bronze-Lamelle beibehalten.

Die Kautschukdichtung ruht auf Stahlgußführungen, die am Tor angeschweißt sind, mittels einer hohlen Walze, die sich unter dem Wasserdruck abflachen kann; das ergibt eine vollkommene Abdichtung.

Die Antriebseinrichtungen der Tore sind vom sogenannten Typ „Panama". Die Segmentschützen werden vom Steg aus mit einer Stange und einem Hebel bedient. Die beiden Schützen jedes Tores werden miteinander angetrieben. Der Antrieb geschieht gegenwärtig von Hand, kann aber auf elektrischen Betrieb umgestellt werden.

Zusammenfassung.

Im Laufe der letzten 5 Jahre wurden in Belgien zahlreiche Schleusen und Wehre erstellt, sowohl für den neuen Albert-Kanal als auch bei der Ausführung von großen Verbesserungsarbeiten an Wasserläufen.

Die meisten dieser Bauten wurden mit Schweißung ausgeführt, was

1. eine beträchtliche Gewichtsersparnis,
2. vollkommene Abdichtung, und
3. einen leichten Unterhalt

erlaubt hat.

Als Beispiele dieser Ausführungen sind beschrieben:

1. Das Schleusenwehr von Marcinelle in der Sambre in Charlroi.
   Das Werk ist vom System *Stoney*.
   Die Schleusentore sind Schiebetore.
2. Die Schleuse von Wyneghem mit Stemmtoren.
3. Die Schleuse von Hérenthals mit Stemmtoren.
4. Die Schleuse in der Nèthe mit Stemmtoren.

Die belgische Industrie hat das Problem der Schweißung von Schleusentoren vollkommen gelöst.

Leere Seite
Blank page
Page vide

VII b 5

Die Stahlkonstruktionen des Limmatwerkes Wettingen.

Les constructions métalliques de l'usine hydro-électrique de Wettingen.

The Steel Structures of the Hydro-Electric Plant at Wettingen.

P. Sturzenegger,
Direktor der Eisenbaugesellschaft, Zürich.

1. *Bauliche Anlage.*

Das Limmatwerk in Wettingen, 20 km unterhalb der Ausmündung der Limmat aus dem Zürichsee, dient der Kraftausnützung für die Stadt Zürich. Es ist eine der neuesten schweizerischen Anlagen und wurde 1933 in Betrieb gesetzt. Die Ausnützung des Gefälles der Limmat erfolgt durch künstliche Stauhaltung mit einem festen Wehrkörper und anschließendem Kraftwerk in der Limmat selbst. Wie die Fig. 1 und 2 zeigen, sind in den festen Wehrkörper bewegliche Wehrverschlüsse zum Durchlaß der Hochwassermengen auf- und eingebaut. Die durch innere Hohlräume gegliederte Staumauer enthält in 4 Öffnungen von je 11,0 m lichter Weite, unterteilt durch 5 m breite Pfeiler, doppelt verschlossene Grundablässe. Diese auf einen zulässigen Wasserverlust von 50 l/Sek. dichtenden Verschlüsse bestehen je Öffnung oberwasserseitig aus einer Gleitschütze von 2,8 m und unterwasserseitig aus einer Segmentschütze von 2,5 m lichter Höhe. Der max. statische Wasserdruck auf Sohlenhöhe beträgt 19,5 m Wassersäule. Die Feinregulierung des Stauspiegels wird durch 4 auf die Wehrkörperkrone aufgesetzte automatische Überfallklappen von 2,5 m Höhe besorgt. Im normalen Betrieb des Werkes kann etwa die mittlere Hochwassermenge durch die Turbinen und Überfallklappen zusammen abgeführt werden, sodaß die Grundschützen nur selten geöffnet werden müssen. Die oberwasserseitigen Gleitschützen bilden das eigentliche Dichtungselement, während die rückwärtigen Segmentschützen der Durchflußregulierung dienen. Infolgedessen bleiben die Gleitschützen im Betrieb entweder dauernd ganz geschlossen oder dauernd voll geöffnet. In letzterem Falle werden die Schützen um mindest 1,0 m über Oberkante der Durchflußöffnung hochgezogen, um sie aus hydrodynamischen Einwirkungen zu befreien.

Die Windwerke der beiden Verschlüsse sind getrennt. Für die Gleitschützen sind sie in Schutzhäusern auf der Wehrkörperkrone und für die Segmentschützen in den innern Hohlräumen des Wehrkörpers untergebracht. Während die Windwerke der Segmentschützen für deren Betätigung unter vollem einseitigem Was-

serdruck von 19,5 m bemessen sind, wurden die Windwerke der Gleitschützen nur für die Betätigung unter einem einseitigen Überdruck von 5 m Wassersäule gebaut. Die Reduktion des auf die geschlossenen Gleitschützen wirkenden statischen Druckes von 19,5 m Wassersäule auf den für die Bewegung der Gleit-

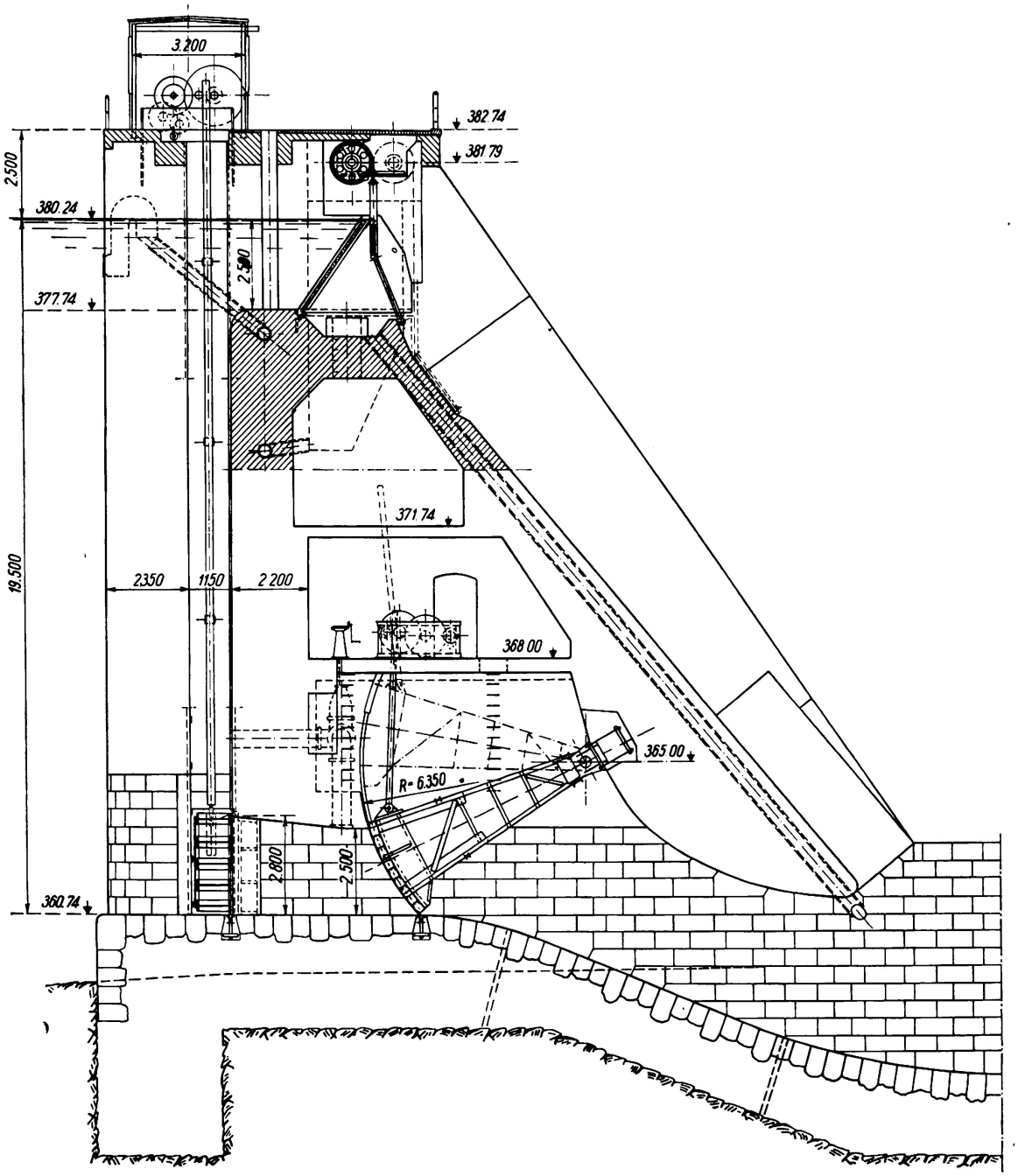


Fig. 1.
Querschnitt durch die Wehranlage.

schütze zugrunde liegenden Wasserdruck von 5,0 m Wassersäule wird durch in den Raum zwischen den beiden Schützen führende Entlastungsleitungen besorgt. Die Schieberverschlüsse derselben liegen im gleichen Hohlraum wie die Windwerke der Segmentschützen. Der Wasserstand in diesem Raum wird mittels eines

Piezometers vom Personal während der Bedienung der Windwerke dauernd überprüft. Ein vollständiger Druckausgleich wurde vermieden, damit die Gleitschützen sich nicht von ihren Dichtungen abheben und damit das Eintreiben von kleinen Schwemmkörpern zwischen Schützen und Gleitleisten verunmöglicht wird. Mit der Bemessung der Windwerke für 5 m Überdruck sind solche relativ kräftig gebaut. Die Hubgeschwindigkeit der Gleitschützen beträgt bei elektrischem Antrieb 0,2 m je Minute, bei Notantrieb (4 Mann je Schütze) 0,55 m je Stunde. Die in der Folge unter vollem einseitigen Wasserdruck von 19,5 m zu betätigenden Segmentschützen erhalten sehr kräftige Windwerke mit Hubgeschwindigkeiten bei elektrischem Antrieb von 0,5 m je Minute und bei Notantrieb (2 Mann je Schütze) 0,7 m je Stunde.

Die Segmentschützen wie die unterwasserseitigen Flächen der geschlossenen Gleitschützen sind über Einstiegschächte vom Zwischenboden des Wehrkörpers aus zugänglich, sodaß das richtige Funktionieren aller Betriebsteile und insbesonders aller Dichtungen stets überwacht werden kann. Die der Feinregulierung dienenden Überfallklappen auf der Krone des Wehrkörpers erlauben eine automatische Regulierung des Stauspiegels auf + 2 cm und — 0 cm.

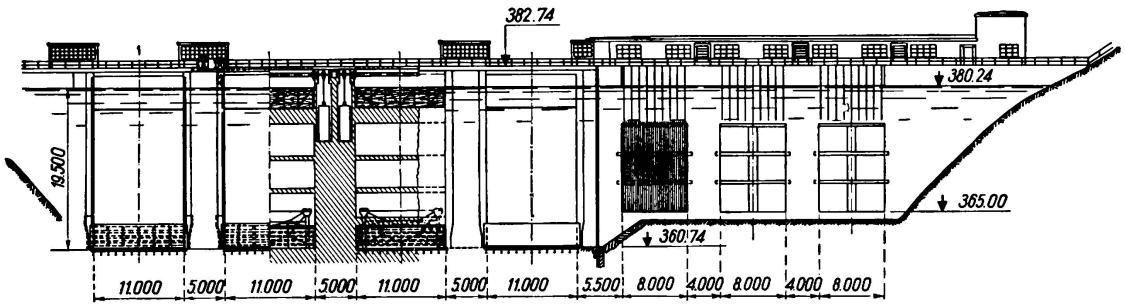


Fig. 2.
Ansicht und Längsschnitte der Wehranlage.

Im Nachfolgenden sollen von diesem nicht alltäglichen Bauwerk die Wehrverschlüsse behandelt werden, welche einige interessante Neukonstruktionen vorab in der Frage der Dichtungen aufweisen.

2. *Dichtungsschützen der Grundablässe.*

Die Gleitschützen, von denen Fig. 3 einen Querschnitt, die Schützenaufhängung und Lagerung in den Nischen, darstellt, greifen beidseitig in die Nischen der Trennpfeiler ein, wo die Konstruktionen zur Abstützung und zur Dichtung untergebracht sind. Der Schützenkörper von 11,4 m Spannweite besteht aus 5 gewalzten Breitflanschträgern, die oberwasserseitig eine Blechwand von 12,1 mm Stärke tragen und die durch vertikale eingepaßte vollwandige Querrahmen und seitlich durch die äußern Nischenträger zu einem steifen Gebilde zusammengefügt sind. Der Flansch des untersten Trägers liegt mit 12 cm über der Wehrschwelle genügend hoch, daß ein Verstopfen dieses Spaltes vom Oberwasser her und damit ein für die Bewegung der Schütze hinderlicher Unterdruck unter diesen Träger vermieden wird. Der oberste wie der unterste Hauptträger sind wegen der direkten vertikalen Wasserdruckbelastung zusätzlich durch zwischen den Querrahmen liegende eingeschweißte Rippen ausgesteift. Die beiden Nischen-

träger übertragen den Wasserdruck auf die Seitenführungen der Nischen durch an den Schützen auswechselbar befestigte Bronzeleisten, die auf gehobelten, ebenfalls auswechselbaren Stahlleisten der Nischenarmierungen gleiten. Gleicher Art der Ausbildung ist die Dichtung am obern Anschlag der Durchflußöffnung. Die Sohlendichtung geschieht durch eine mit der Schütze fest verbundene gehobelte Stahlleiste von 25 mm Auflagefläche, die auf der stahlarmierten Wehrschwelle gemäß Fig. 4 aufsitzt. Zur Erzielung satten Untergusses derselben erhält diese die erforderlichen Bohrungen zum Einpressen von Zementmörtel. Die Bohrungen werden in der Folge mit eingewindeten Zapfen verschlossen, wie auch alle Aussparungen für die Befestigungsschrauben nach Verlegen mit Blei vergossen werden, sodaß eine glatte Schwellenlagerfläche entsteht. Mit dem Anliegen des

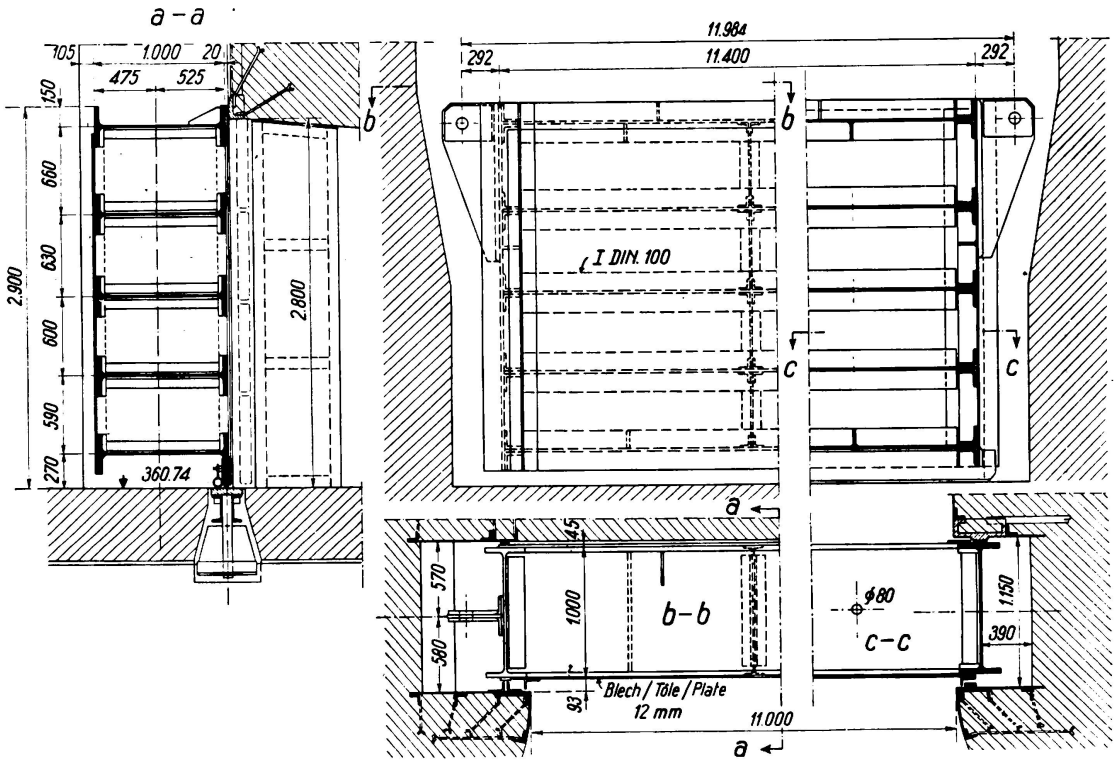


Fig. 3.
Gleitschütze.

obersten Hauptträgers an die Brustdichtung ist eine Verformung dieses Trägers vermieden und eine restlose Dichtung ermöglicht. Dagegen werden unter dem bedeutenden Wasserdruck die nach unten liegenden Hauptträger schrittweise verformt, sodaß bei der Sohlenleiste eine zusätzliche Dichtung mit einem auswechselbaren Rohrstab, wie Fig. 4 zeigt, notwendig wird. Dieser legt sich bei seiner losen Lagerung und Verformungsmöglichkeit satt schließend zwischen die Sohlenschneide und den Schwellenkörper und dichtet nach den gemachten Erfahrungen des bisherigen Betriebes vollkommen.

Die Aufhängung der Schütze erfolgt in der Schwerebene derselben über zwei voll in den Nischen liegenden Konsolen mittels Zahnstangen, die somit aus dem Bereich der durchströmten Durchflußöffnungen liegen. Die Zahnstangen sind in Teilelemente geteilt und im obern Maschinenhaus demontierbar bei einem zu

Revisionsmöglichkeiten vollständigen Hochziehen der Schütze. Die Nischenarmierungen bestehen im Bereich des Anliegens der geschlossenen Schütze unter vollem Wasserdruck aus Stahlgußschienen, während aufwärts bis unter die Wehrkrone die Fortsetzung aus stark verankerten ⊏-Schienen mit aufgesetzter gehobelter Stahlplatte leichter gehalten ist, da die Bewegung der Schütze in angenähertem Druckausgleich geschieht. Ähnlicher Ausbildungsart ist die oberwasserseitige Nischenführung, wo an Gleitleistenelemente der Gegenführungswinkel der Schütze sich anlegt. Diese gegen die Nischen leicht zurückliegenden Gegenführungswinkel bieten gleichzeitig Schutz gegen das Eintreiben von Geschwemmsel in die Nischen. Anschließend an die Nischen sind die Pfeiler ober- und unterwasserseitig mit 12 mm starken auswechselbaren Blechen gepanzert, während das Nischeninnere mit Granit verkleidet ist.

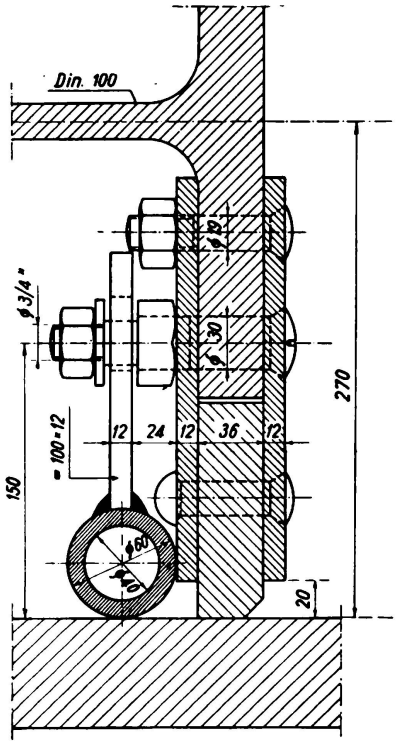


Fig. 4.
Sohlendichtung der Gleitschützen.

Die Dimensionierung der Gleitschützen erfolgte für einen statischen Druck von 20,0 m Wassersäule nach den eidg. Verordnungen betr. Stahlbauten.

Als Material wurde Baustahl St. 37 verwendet mit einer Streckgrenze von mindest 0,6 der Zugfestigkeit; für Führungen und Dichtungen Bronze, Stahlguß und Spezialguß. Die Berechnung der Aufzugskräfte geschah über das Gewicht der Gleitschützen abzüglich Auftrieb, das Gewicht der Zahnstangen, der Wasserauflast auf die Brustdichtungsleisten von 2 cm Breite bei 5 m Überdruck, der Wasserauflast auf die Sohlendichtung bei 2,5 cm Breite bei 19,5 m Überdruck, den Reibungswiderständen auf Basis eines Reibungskoeffizienten von 0,35, womit sich je Öffnung eine Aufzugskraft von 100 t ergab. Die Schließkraft der Schützen berechnete sich aus den Reibungswiderständen wie vorstehend, vermindert durch das Eigengewicht der Schütze und der Zahnstangen abzüglich Auftrieb. Dermaßen ergab sich eine Schließkraft je Öffnung von 30 t, wofür die Zahnstangen knickfest ausgebildet sind.

3. *Regulierschützen der Grundablässe.*

Die Regulierschützen der Grundablässe sind als Segmentschützen ausgebildet. Sie dichten oberwasserseitig auf gleicher Höhe und in ähnlicher Ausbildungsart wie bei den Gleitschützen. Ihre Drehachsen liegen auf Kote 365,0. Wie Fig. 5 über die konstruktive Gestaltung dieser Segmentschützen zeigt, bestehen solche aus 2 Zweigelenkträgern mit Zugband, die sich auf die Drehzapfenlager stützen. Die beiden Hebelwände als Bestandteile der Zweigelenkträger, sowie die zwischenliegenden innern Knotenpunkte dieser letztern, tragen vollwandige Querträger,

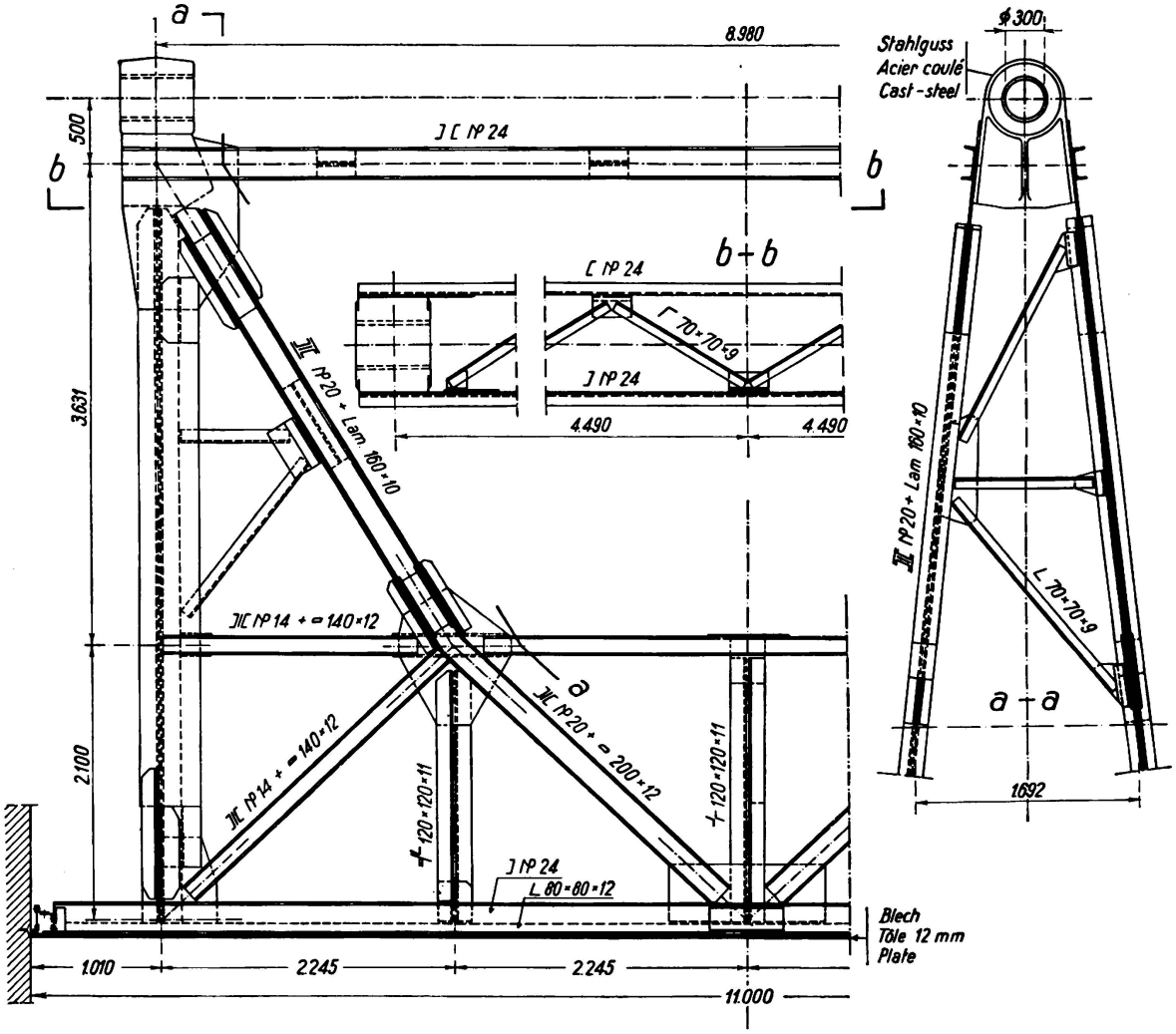


Fig. 5.

Stahlkonstruktion der Segmentschütze.

welche über einen Längsträgerrost die kreisbogengekrümmte Blechwand aufnehmen. Das Zugband entlastet die Drehzapfenlager vom Horizontalschub. Die Zugänglichkeit zu den Schützen und deren Dichtungen wird durch das Zurückstellen der äußern Hebelwände, je 1 m von der Durchlaßöffnung entfernt, ermöglicht. Mit Rücksicht auf den Wasserdurchgang unter dem Drucke einer 19,5 m hohen Wassersäule ist die Segmentschütze auf hydrodynamischen Druck berechnet. Alle Schrauben oder Muttern, welche gelöst oder ausgewechselt werden müssen, sind in Bronze ausgeführt. Die Aufhängung der Schütze erfolgt

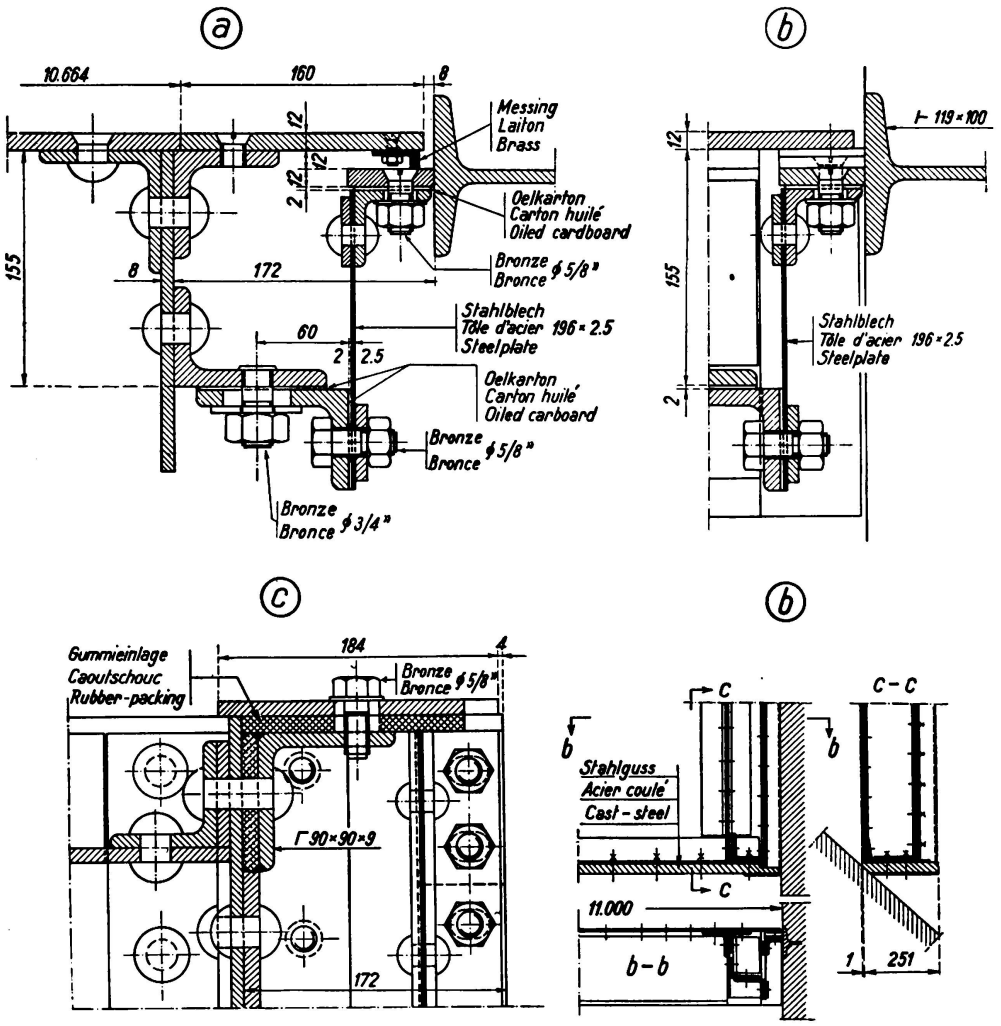


Fig. 6.

Dichtungseinzelheiten der Segmentschütze.
a) Normale Seitendichtung.
b) Übergang der Seitendichtung zur Sohlendichtung.
c) Übergang der Seitendichtung zur Brustdichtung.

an den konsolartig verlängerten Querträgern in Ebene der Hebelwände, wie Fig. 1 zeigt.

Die Sohlendichtung erfolgt auf der Wehrschwellenplatte mittels genau gehobelten Stahlgußleisten, die auf die Schützenkonstruktion eingepaßt sind. Die Lagerflächen werden auf 40 mm beschränkt, um einen allfälligen Wasserdruck von unten, welcher dem Schließen der Schütze entgegenwirkt, kleinstmöglich zu halten. Rechnungsmäßig darf solcher zu null gesetzt werden, da der Gesamtwasserdruck an dieser Schneide in der Stellung unmittelbar vor dem Schließen der Schütze ganz in Geschwindigkeit umgesetzt ist.

Die Seitendichtungen nach Fig. 6 bestehen aus Federstahlblech hoher Festigkeit von 3 mm Stärke, verschieblich auf Anschlagwinkeln der Schütze befestigt. Am freien Ende tragen sie eine Winkelverstärkung, die die abdichtenden Flachleisten trägt. Diese Leisten sind zwecks genauer Anpassung an die in den Pfeilerwandungen einbetonierten Dichtungsführungen, in Stücken von je 60 cm erstellt,

genau gehobelt. Sie liegen an entsprechend gehobelten Dichtungsführungen der Pfeilerwandungen an. Diese festen Führungen in den Pfeilerwandungen sind so hoch geführt, als es der Wasserdruck auf die Seitenwandungen erfordert. Vermöge des Oberwasserdruckes werden die Seitendichtungen an die Führungen gepreßt, wobei das Oberwasser im untern Teil der Seitendichtungen auf ungefähr 10 cm Länge in den Raum zwischen Federblech und äußerste Querträger tritt. Damit das Wasser oben nicht beliebig austreten kann, ist der genannte Raum mit einer zusammenpreßbaren Gummiplatte und darüber liegender Stahlplatte nach Fig. 6 geschlossen. Um ein Austreten des unter Oberwasserdruck stehenden Wassers im Raum zwischen den äußersten Querträgern und dem Dichtungsstahlblech auch seitlich über die Brustdichtung zu verunmöglichen, dient eine zwischen Blechhaut der Schütze und feste Dichtungsleiste eingepaßte winkel-

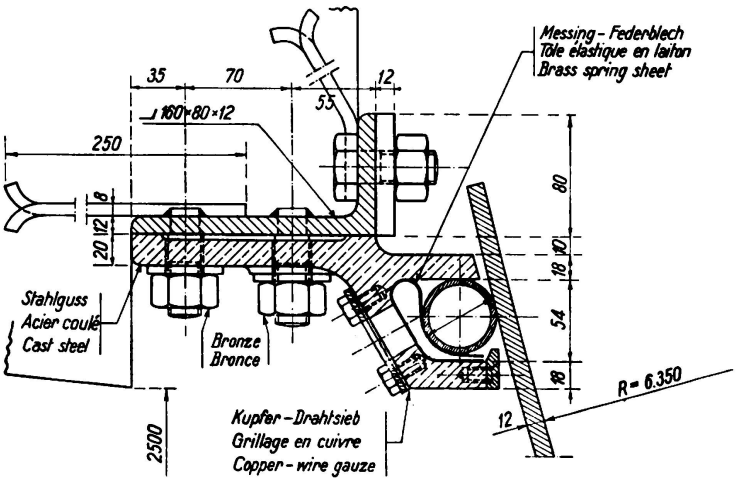


Fig. 7.
Brustdichtung zur Segmentschütze.

förmige Messingleiste. Die Brustdichtung nach Fig. 7 ist durch ein Rohr gebildet, welches durch den Wasserdruck in den Brustspalt hineingepreßt wird. Das das Rohr führende Stahlgußformstück wird an einem durchgehenden Verankerungswinkel des Kopfes der Durchgangsöffnung befestigt. Die Brustdichtung liegt so hoch, daß sie oberhalb der Oberkante der Durchflußöffnung liegend von der Wucht des durchschießenden Wasserstrahles nicht getroffen wird. Durch besondere auf der Oberwasserseite dieses Formstückes angeordnete, mit Kupferdrahtsieben vor Verunreinigung geschützte Öffnungen, ist für den Wassereintritt von der Oberwasserseite her gesorgt. Zudem ist das Rohr durch Messingfedern in seiner Lage fixiert. Diese Anordnung gewährleistet, daß solches mit Sicherheit in Richtung des Potentialgefälles in den abzudichtenden Spalt gezogen wird. Bei Erprobung der Segmentschütze wurde in der Folge bei diesen sorgfältigst ausgeführten Dichtungen der zulässige Wasserverlust von 50 l/Sek. nicht erreicht.

Durch die Zweigelenkträger und deren Anteile als Hebelwände wird der Wasserdruck auf die Segmentschütze auf zwei in 9 m Abstand liegende Drehzapfenlager von je 300 t Beanspruchung nach Fig. 5 abgegeben. Diese Stahlgußkörper mit Gelenkbolzen aus SM-Stahl, gegen Drehen mittels Arretierleisten gehalten, sind in Bronzebüchsen von 20 mm Wandstärke gelagert und mit Tecalemitfettpreßschmierung ausgerüstet. Die spezifische Pressung in den Lagern beträgt auf Grund langjähriger Erfahrungen für die vorliegende langsame Bewegung max. 165 kg/cm^2.

Bei der Montage der Segmentschütze wurde diese auf Gerüstungen zusammengestellt und verschraubt. Darauf wurden die Lager in deren endgültige Stellung gebracht und vergossen. Alsdann erfolgte die Vernietung der Schütze und gleichzeitig damit die Montage der Windwerke, um die Schütze in der Folge betätigen zu können. In Anpassung an die beweglich gemachte Segmentschütze erfolgte der Einbau der Dichtungen in der Reihenfolge: Sohlen-, Seiten- und Brustdichtungen. Zwecks genauen Einpassens der Seitendichtungen wurden die im Mauerwerk verankerte Führungen provisorisch an die Schützen angeschraubt

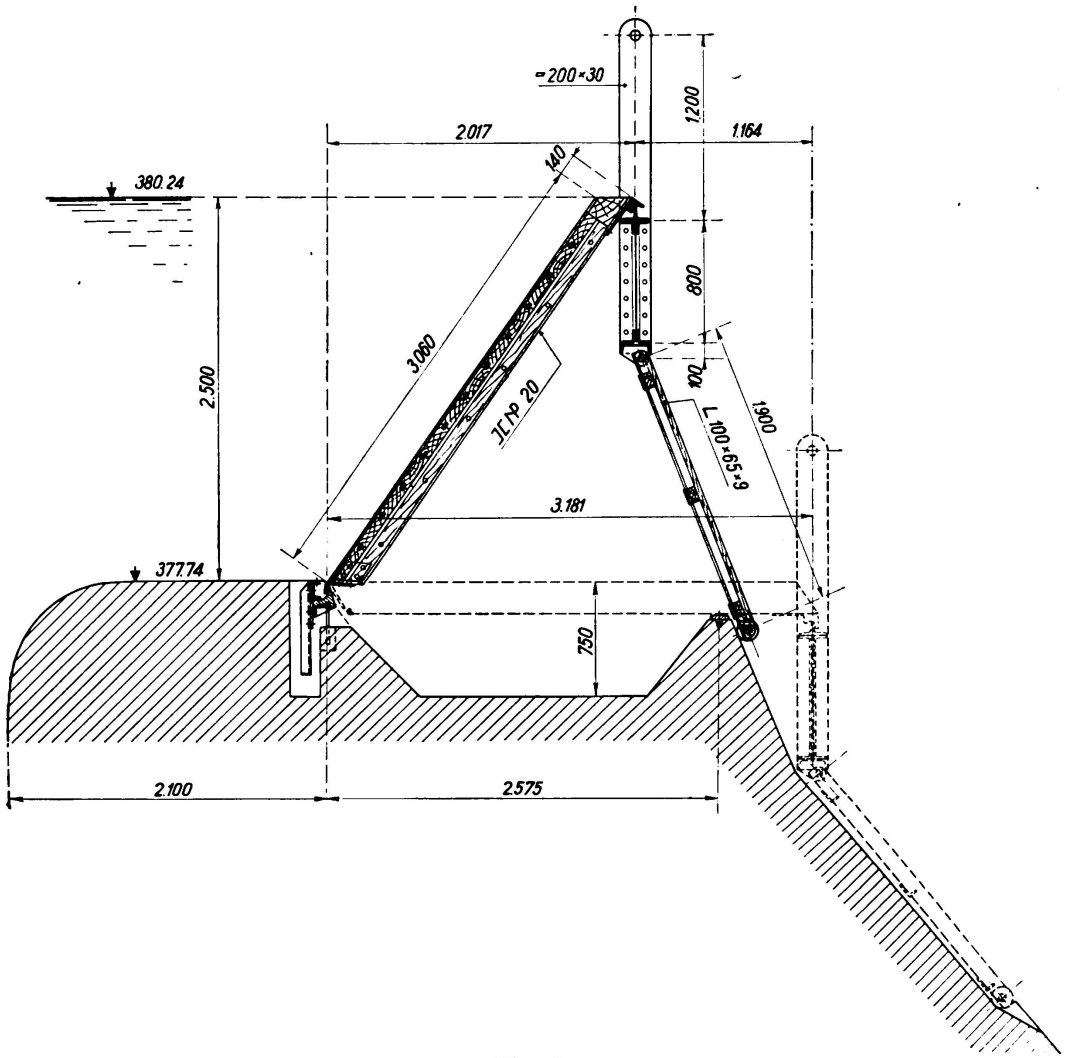


Fig. 8.
Querschnitt durch Überfallklappe.

und erst nach Prüfung der richtigen Lage vergossen. Die Brustdichtung wurde mit deren Stahlgußkonstruktion ebenfalls an die Schütze vorübergehend befestigt, worauf nach Vorbeifahren der Schütze das Passen in allen Teilen überprüft wurde und darauf erst das Vergießen der festen Elemente der Brustdichtung geschah.

Für die Berechnung der Eisenkonstruktionen waren die eidgenössischen Verordnungen maßgebend. Die Bestimmung der Aufzugskräfte geschah aus den Drehmomenten aus Eigengewicht, Reibung in den Lagern, in der Brustdichtung

und in den Seitendichtungen, welche Gesamt-Drehmomente gleich sind der Aufzugskraft mal dem Hebelarm des Zahnstangenangriffes. Dazu wurden für zufällige Widerstände 25 % vorsorglich zugeschlagen, worauf sich je Öffnung eine Aufzugskraft von 30 t ergab. Zur Bestimmung der notwendigen Kraft beim Schließen der Schütze gingen vom Drehmoment aus Eigengewicht, die dem Schließen entgegenwirkenden Drehmomente der Lagerreibung, der Reibungen der Brust- und Seitendichtungen und der Wasserdruck von unten mit 20 % seines vollen Wertes auf die Schwellendichtung wirkend ab. Aus Gleichsetzung der Schließkraft mal Hebelarm des Zahnstangenangriffes ergab sich eine abwärts wirkende Kraft von 4 t. Trotzdem somit die Zahnstange noch auf Zug beansprucht blieb, wurde sie knickfest ausgeführt. Die Brustdichtung ist für einen Wasserdruck von 17,0 m Wassersäule berechnet, während für die Seitendichtungsfederbleche bei 16 cm Breite ein Wasserdruck von 18,5 m mittlerer Höhe zugrunde gelegt wurde. Als Reibungskoeffizienten sind für die Brustdichtung 0,40, für die gehobelten Seitendichtungen 0,30 berücksichtigt, wie auch letzterer Wert unter Vernachlässigung der Schmierung für die Zapfenreibung eingeführt wurde.

4. *Automatische Überfallklappen der Feinregulierung.*

Die Überfallklappen Bauart Huber & Lutz, Zürich, sind unter hydrostatischem Druck auf die Stauwand automatisch wirkend. Die Klappenkonstruktion trägt sich in untern Schneidenlagern auf der Wehrkrone und stützt sich oben ebenfalls mittels Schneide auf einen Stützträger, der an seinen Enden über Aufhängebänder auf Gall'sche Ketten auf Seilscheiben lagert. Diese werden von einem über die Wehröffnungen durchgehenden Rohr getragen. Die Gegengewichte sind in Schächten der Pfeiler des Staukörpers untergebracht. Bei der Bewegung der Klappen rollen die Walzen auf Laufschienen ab, die auf den Wangenmauern gelagert und verankert sind. Ein Gleiten wird dabei durch eine Zahnstangenführung verhindert. Die Torsionsfestigkeit der Walzen sorgt für eine vollkommen gleichmäßige Bewegung der Klappe, auch wenn ungleichmäßige Belastung auf solche liegt. Bei dem in Fig. 8 dargestellten Tragsystem erhalten die Klappenträger oberwasserseitig eine Stauwand aus Holz, die ständig vom Wasser benetzt oder leicht überströmt wird und daher nicht austrocknet noch rissig wird. Am untern Ende des vollwandigen Stützträgers ist gelenkig eine Schürze aus eisernem Gerippe mit Holzbelag angehängt, deren freies Ende über Rollen auf der Niederwasserseite der Wehrkrone abrollt. Damit entsteht unter jeder Klappe ein gegen die Außentemperaturen abgeschlossener Raum, sodaß auch bei tiefen Temperaturen eine Vereisung der Klappenlager erfahrungsgemäß nicht zu befürchten ist. Im übrigen kann dieser Raum durch Zuleitung warmer Luft aus dem Maschinenhaus geheizt werden.

Die Schneidenlagerung der Stauklappe auf der Wehrkrone und auf dem Stützträger nach Fig. 9 ergibt ein Minimum an schädlichen Reibungswiderständen. Die Dichtung der Klappe längs der Drehachse und an den Wangen wird durch mit Eisenblech verstärkten Lederstreifen nahezu vollkommen wasserdicht. Das durchsickernde Wasser wird in einer Rinne unter der Klappe gesammelt und seitwärts in Ablaufrohre geleitet, sodaß die Luftseite der Wehrkrone bei geschlossener Klappe stets trocken bleibt. Die Wangen jeder Wehröffnung, hinter denen

die Gegengewichtsschächte sich befinden, sind als versteifte Blechwände abhebbar. Mit elektrischen Heizelementen werden sie wie der Luftraum in den Gegengewichtsschächten bei tiefen Außentemperaturen beheizt, sodaß ein Festfrieren der Dichtungen und der Gegengewichte ausgeschlossen ist.

Die Aufhängung der Klappe geht über seitliche Kettenrollen, die durch eine Stahlwalze über die Klappenführung hinweg miteinander verbunden sind und auf horizontaler Laufschiene abrollen, wie die Fig. 1 und 10 zeigen. Auf gleicher Welle sind die Kurvenscheiben aufgezogen, die die Gegengewichte tragen. Die Kurvenscheiben sind so berechnet, daß die Gegengewichte dem Wasserdruck und dem Eigengewicht der Klappe in jeder Klappenstellung das Gleichgewicht

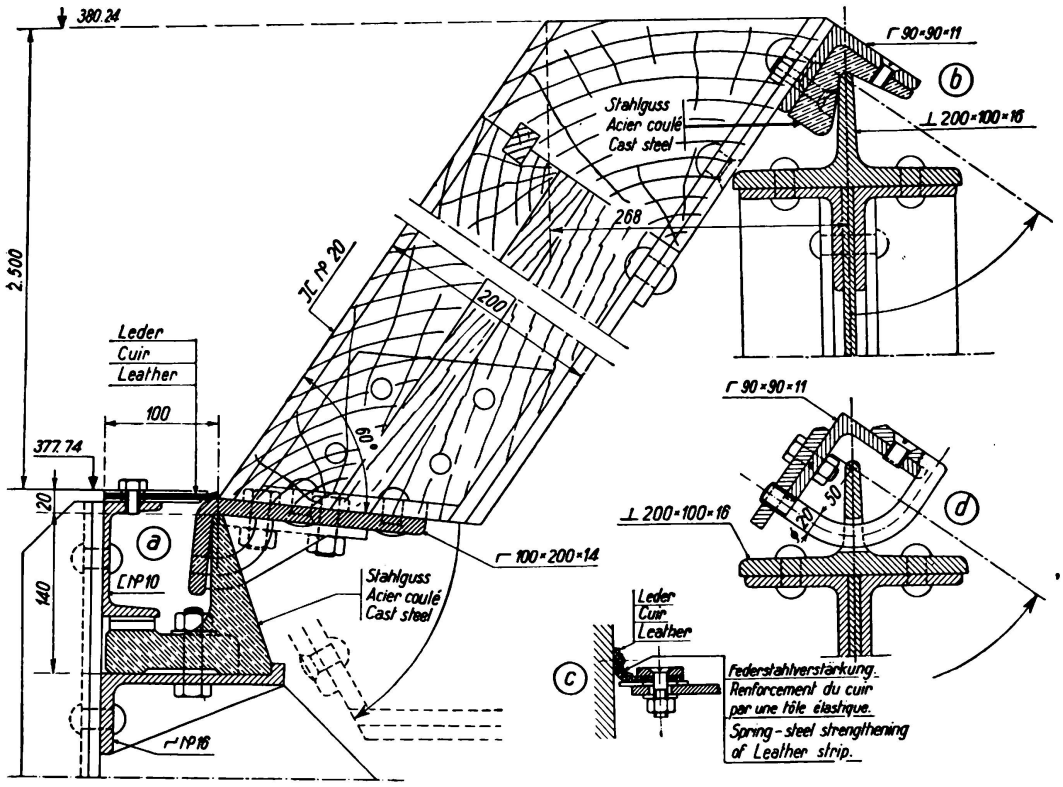


Fig. 9.

Dichtungseinzelheiten der Überfallklappe.

a) Unteres Schneidenlager.
b) Oberes Schneidenlager.
c) Seitendichtung gegen Pfeileraufbau.
d) Sicherung gegen Abheben.

halten, solange der Stauspiegel auf normaler Höhe Kote 380,24 steht. Steigt der Wasserspiegel, so wächst der Wasserdruck auf die Klappe und diese wird niedergedrückt; sinkt der Wasserspiegel unter den normalen Stand, so stellt sich die Klappe unter der Wirkung der Gegengewichte wieder auf. Diese letztern werden nun etwas schwerer als rechnungsmäßig gemacht und dafür eine hydraulische Hilfskraft beigezogen, indem in die Schächte der Gegengewichte miteinander durch eine Rohrverbindung als kommunizierende Gefäße wirkend mit Einlassen oder Ablassen von Wasser den Gewichten Auftrieb verschiedener Größe erteilt

wird. Beim Überschreiten des Stauspiegels wird über einen Überlauf Wasser zugeführt, das den Gewichten Auftrieb erteilt, wodurch das Übergewicht derselben überwunden wird und die Klappe niederzugehen beginnt. Mit dem damit verbundenen Austauchen der Gegengewichte aus dem Wasser in den Schächten wird die Bewegung wieder gebremst, wenn nicht das Oberwasser weiter über den Normalstand steigt und damit den Schächten weiter Wasser zufließt. Umgekehrt kann sich die Klappe nicht rascher wieder aufstellen, als das Wasser in den Schächten durch kleine Abläufe aus solchen abfließt. Die Bewegung der Klappe erfolgt damit vollkommen stoßfrei.

Die zwei Gegengewichte jeder Klappe sind so bemessen, daß bei 50 cm Eintauchtiefe die Klappen niedergelegt sind, wobei durch den Überfall die Wassermenge den Schächten zugeführt ist, wie sie einer Überströmungshöhe von 2 cm entspricht.

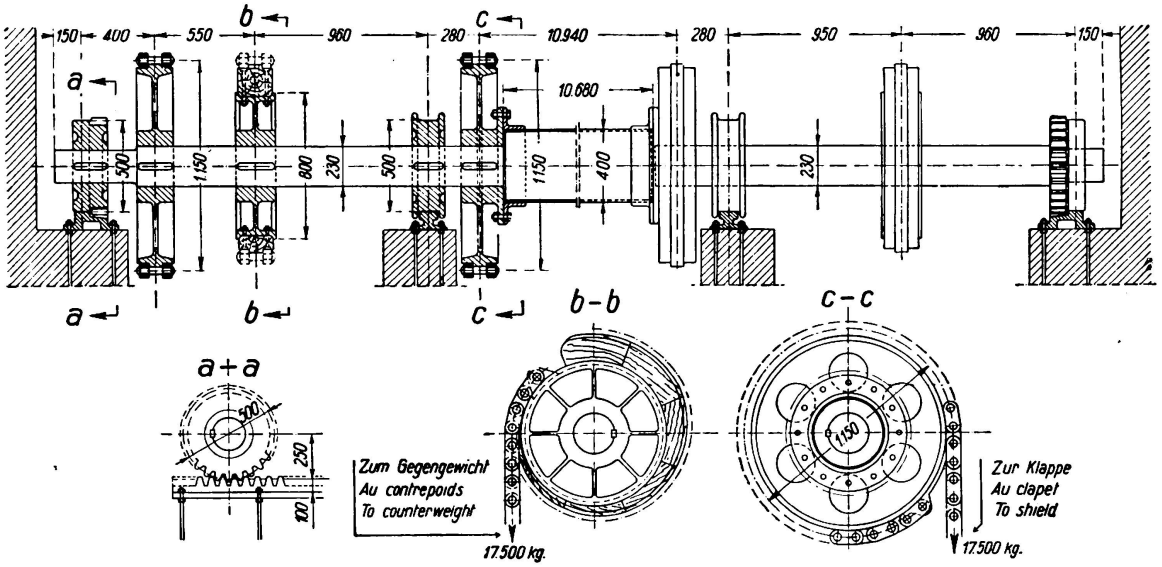


Fig. 10.

Obere Lagerung der Überfallsklappe und deren Gegengewichte.

Die Klappen können auch zwangsweise niedergelegt werden, indem durch einen unterhalb der Klappenschwelle liegenden Schieber künstlich Wasser in die Gewichtsschächte eingelassen wird, unter dessen Stand die gleiche Wirkungsweise entsteht, wie wenn das Wasser über den Überfall zugeführt wird. Die Klappen dienen ferner der Abführung der Wassermenge, wie sie bei plötzlichem Abstellen einer Turbine über das Wehr abzuführen ist, damit im Unterlauf keine Unterbrechung der Wasserführung eintritt. Da in diesem Fall das automatische Funktionieren nicht schnell genug geschieht, namentlich dann, wenn der Stauspiegel etwas abgesenkt ist, sind im Gewichtsschacht senkrecht verschiebbare Überlauftrichter angeordnet, sodaß nach Öffnen des Einlaufschiebers innert 2 Minuten die Klappen gesenkt werden können, um eine Wassermenge von 40 m^3/Sek. abfließen zu lassen.

Zusammenfassung.

Vorstehend ist eine neuzeitige Wehranlage beschrieben, bei der in einem den Flußlauf abschließenden Staukörper vier Grundablässe durch doppelte Organe abgeschlossen sind, von denen der oberwasserseitige Verschluß als Gleitschütze dichtende Funktion besitzt, während die unterwasserseitige Segmentschütze Regulieraufgabe hat. Die Feinregulierung des Werkes geschieht durch automatische Klappen auf der Wehrkrone, welche eine Wasserspiegelschwankung von + 2 cm gewährleisten und die gleichzeitig auch für die Abführung von Wassermengen dienen, wie sie für den Fall der Abstellung von Turbinen über das Wehr abzuleiten sind. Die Lagerung der Wehrverschlüsse und insbesonders deren Dichtungen und hydraulischen oder elektromechanischen Antriebe sind in ihrer konstruktiven Ausbildung auf Grund jahrelanger Erfahrungen sehr verfeinert und gewährleisten einen max. Wasserverlust von 50 l/Sek. für die Wehranlage.

Leere Seite
Blank page
Page vide