

Abteilung I — Binnenschifffahrt

Thema 3

Schleusen:

- a) Schleusentore: Berechnung und Vergleichsstudie der verschiedenen Typen;
- b) neue Methoden der Füllung und Entleerung;
- c) Schützen;
- d) obere und untere Vorhäfen.

von

Dipl.-Ing. Helmut Hampel, Oberregierungsbaurat, Wasser- und Schifffahrtsdirektion Stuttgart; Dr.-Ing. Franz Jambor, Präsident der Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe; Dipl.-Ing. Franz Köhler, Oberingenieur i.R., Rhein-Main-Donau AG., München.

Zusammenfassung

a) und c):

Die beurteilten Schleusenverschlüsse werden hinsichtlich Eignung und Verwendungsmöglichkeit verglichen. Hierfür konnten nur solche Verschlusstypen in Frage kommen, über die bereits hinreichende Betriebserfahrungen vorliegen oder die sich im bisherigen Betrieb bewährt haben. Alle übrigen sonst noch bekannten Verschluszbauarten, wie beispielsweise das Klapptor, Hakenklapptor, Drehtor, Senktor, Schwenktor und Walzentor müssen als unbefriedigende und überholte Lösungen bezeichnet werden. Für einen Vergleich schieden sie daher aus. Dabei war vor allem maßgebend, daß gegen Oberwasser umzulegende Verschlüsse, ferner solche, deren leichter jederzeit möglicher Ausbau zum Zweck der Auswechslung und Instandsetzung nicht voll gewährleistet ist, für künftige Neubauten nicht mehr zur Wahl gestellt werden sollten.

In einem weiteren Abschnitt werden Fragen des Verschuß-Antriebes behandelt, wobei eine vergleichende Betrachtung angestellt wird zwischen elektro-mechanischen und ölhydraulischem Antrieb.

Auf Grund der vorliegenden Erfahrungen werden in einem abschließenden Vergleichsergebnis in Abhängigkeit vom Schleusen-Gefälle Empfehlungen für eine optimale Anordnung der Verschlüsse gegeben, unter Berücksichtigung der Füllart sowie der Hochwasser- und Eisabfuhr.

b):

In der vorliegenden Abhandlung wird nach einfachen konstruktiven Möglichkeiten gesucht, die Füll- und Entleerungsgeschwindigkeiten von langen Schifffahrtsschleusen zu erhöhen. Anhand von Modelluntersuchungen im Maßstab 1:25 werden für eine Schleuse von $L = 235$ m, $B = 12$ m, $\triangle H = 10$ m und Schleusen- und Drempeltiefe = 3,50 m drei Varianten einer einseitigen umlauflosen Füllung aufgezeigt. Für die ersten beiden Varianten wird durch einen nur auf das erste Schleusendrittel beschränkten Grundlauf mit Stichkanälen durch die Decke die Schleusenlänge hydraulisch um das gleiche Maß verkürzt, so daß auch für lange Schleusen die billige umlauflose Füllung noch mit Vorteil angeordnet werden kann. Für die dritte Variante wird der Raum unter der Sohle, zwischen den Schleusenwänden längs unterteilt, zur Konstruktion der Grundläufe

herangezogen und die Schleuse in zwei Versorgungsabschnitte unterteilt. Die Ergebnisse bei Einhaltung der zulässigen Grenzen für die Kräfte auf das Schiff waren:

	Erreichte mittlere Hubgeschwindigkeit
Variante 1 Für Überfall des Füllwassers über das Obertor	1,25 m/min
Variante 2 Bei Anordnung eines Tiefschützes zur Vermeidung von Lufteinzug	1,50 m/min
Variante 3 Anordnung von 2 Grundläufen über die ganze Schleusenlänge	3,00 m/min.

Eine weitere Geschwindigkeitssteigerung auch bei Schleusenverlängerung ist noch möglich. Weiter werden die Anforderungen für die Sparschleuse Henrichenburg beschrieben. Durch Ausnutzung der Ejektorwirkung fließenden Wassers und die Einführung der übergreifenden Schützenbedienung für die einzelnen Sparbecken konnte eine mittlere Hubgeschwindigkeit von rd. 3,0 m/min erreicht werden. Ein Weg zur weiteren Steigerung wird aufgezeigt.

d):

Vorhäfen dienen der Schifffahrt in der Hauptsache zu einer sicheren Zufahrt zur Schleuse, ferner als Betriebsliegeplatz — falls die Schleusenkammer belegt ist — und ggf. als Schutzhafen. Die Abmessungen eines Vorhafens müssen für den größten, auf der Wasserstraße verkehrenden Schiffstyp (Schubeinheit) bemessen werden.

In den Vorhäfen darf keine größere Querströmung als 0,2 m/s auftreten, um die Steuerfähigkeit der langsam einfahrenden Schiffe nicht unzulässig zu beeinträchtigen.

Die Vorhäfen sollen ausreichend lang sein und möglichst mit offenen oder geschlossenen Leitwerken ausgestattet sein, damit ein gutes An- und Ablegen und eine zügige Ein- und Ausfahrt gewährleistet sind.

Anhand von ausgeführten Beispielen von Vorhäfen einiger Neckar- und Moselstautufen werden Einzelheiten der Ausbildung der Vorhäfen erläutert.

a) **Schleusentore:** Berechnung und Vergleichsstudie der verschiedenen Typen

c) **Schützen**

Berechnung:

Die Berechnung und Bemessung der heute gebräuchlichen und verschiedenen Torsysteme stellt im allgemeinen keine wesentlichen Probleme. Natürlich können in Ausnahmefällen je nach den örtlichen Gegebenheiten, besonderen Betriebsbedingungen und je nach den Auswirkungen hydrodynamischer Kräfte die Beanspruchungen einzelner Bauteile zu zusätzlichen Untersuchungen zwingen. Aber auch hierbei sind seither bei der Verwendung üblicher Berechnungsmethoden keine Schwierigkeiten eingetreten. Neuartige und umwälzende Methoden sind nicht bekannt geworden oder haben noch keinen Eingang gefunden.

Bei der Berechnung der Stahlkonstruktion von Schleusentoren in einer der nachgenannten, heute meist gebräuchlichen Bauweisen handelt es sich vorwiegend um elementare Statik. Dabei kommt als hauptsächliche Beanspruchung der Wasserdruck, also ruhende Belastung in Frage. Diese Konstruktionen verschließen von vornherein die Möglichkeit, zwischen verschiedenen Berechnungsmethoden zu wählen. Die Berechnungs-

methode ergibt sich vielmehr zwangsläufig aus dem vorgegebenen System. Sei dies nun der Dreigelenkstabzug beim Stemmtor oder der einfache Balken auf 2 Stützen beim Hubtor, Hubsenktor oder bei sonstigen Bauarten. Über grundsätzliche Neuerungen in der Berechnung oder über verschiedene, neuartige Berechnungsmethoden kann daher im Rahmen dieses Beitrages nicht berichtet werden.

Das früher als fühlbarer Mangel empfundene Fehlen von Berechnungsgrundlagen für Stahlwasserbauten wurde im deutschen Bereich durch die Erarbeitung einer eigenen Norm (DIN 19704, Ausgabe vom Dezember 1963) beseitigt.

Man war sich bei der Ausarbeitung solcher Berechnungsgrundlagen völlig einig darüber, daß die Verantwortlichkeit des Ingenieurs und seine Verpflichtung, die ihm gestellte Aufgabe jederzeit nach dem neuesten Stand der Wissenschaft und der Technik zu lösen, durch diese Norm in keiner Weise beeinflußt oder gar eingeschränkt werden dürfte. Mit ihrer Einführung sollten vielmehr in erster Linie die wichtigsten Grundlagen der Berechnung und Bemessung einheitlich festgelegt werden. Es ist in Aussicht genommen, diese Grundlagen in gewissem Turnus jeweils dem neuesten Stand der Technik und den in der Praxis gesammelten Erfahrungen anzupassen sowie fortlaufend zu ergänzen und zu berichtigen.

Für die Bemessung der Schleusentore kommt dem Ansatz der Lastgrößen und der Aufteilung der Belastungen in verschiedene Lastfälle eine entscheidende Bedeutung zu. Erhöhte Belastung durch Vereisung sowie durch die Einwirkung von Eis in Form von Auflast, Druck oder Stoß zählen nach den Berechnungsgrundlagen zum „Besonderen Betriebsfall“. Nach den Erfahrungen der Praxis reichen die hierfür angegebenen Werte nicht aus. Eine Erhöhung derselben ist daher notwendig.

Besondere Beachtung verdient beim Entwurf und der Berechnung von Schleusentoren der Schiffsstoß.

Dieser ist nach DIN 19704 als außergewöhnlicher Lastfall anzusetzen. Ferner soll nach DIN 19704 eine kinetische Energie, die dem Wert von $A = 0,02 \times G$ (in Mpm) entspricht, unschädlich unter Beanspruchung bis zur Streckgrenze aufgenommen werden können.

Für den 1350 t Kahn ergibt sich daraus eine Energie von 2,7 Mpm, die schon erreicht wird, wenn der Kahn nur mit einer Geschwindigkeit von rd. 0,2 m/s auf das Tor auffährt.

Durch den zunehmenden Einsatz von Selbstfahrern, die oft mit großer Geschwindigkeit in die Schleusenkammer einfahren, sind die Tore in erhöhtem Maße durch Schiffsstöße gefährdet.

Die immer häufiger auftretenden Beschädigungen von Toren durch auffahrende Schiffe haben auch gezeigt, daß die dabei auftretenden Stöße wesentlich größere Werte erreichen, als die nach DIN 19704 anzusetzenden. Diese Stöße können im allgemeinen von der Torkonstruktion nicht mehr unschädlich aufgenommen werden. Man ist also gezwungen, besondere Stoßschutzeinrichtungen zu schaffen, welche in der Lage sind, entsprechend größere Energien aufzunehmen. Nach dem gegenwärtigen Stand der Erfahrungen kann man wohl sagen, daß diese Einrichtungen für eine Energieaufnahme von beispielsweise mindestens 10 Mpm (für Stemmtore) ausreichend sein sollten.

Als grundlegende Neuerung kann die Vorschreibung betrachtet werden, daß die alte, zur Bemessung ebener Stauwände verwendete Formel von Bach durch eine neue, unter Benützung der K-Werte für durchlaufende Platten zu ersetzen ist. Dabei wurde auf die bereits im Jahr 1924 von Dr. Marcus entwickelte Berechnung ebener Bleche zurückgegriffen.

Die neue Formel fußt auf den Überlegungen, daß

1. einem Flächentragwerk, wie es die Platte darstellt, infolge seiner vielfachen statischen Unbestimmtheit beträchtliche Reserven an Tragfähigkeit innewohnen, die bei der Berechnung nach der üblichen q_{zul} -Methode ungenützt bleiben.
2. bereits in der alten Bach'schen Formel diese Tragfähigkeits-Reserven berücksichtigt sind.
Wie bekannt, hat Bach die Tragfähigkeit einer Platte aus Versuchsreihen entwickelt. Die zulässige Tragfähigkeit bestimmt sich hiernach nicht aus der Sicherheit gegenüber Erreichen der Streckgrenze an der Stelle der größten Beanspruchung, sondern aus dem Verhältnis der Belastung bei Erschöpfung der Tragfähigkeit zu der zulässigen Belastung, das dem verlangten Sicherheitsgrad entsprechen muß.
3. insbesondere bei Verwendung von U- und I-Eisen als Stauwandaussteifung nicht von einer punkt- oder linienförmigen Auflagerung gesprochen werden kann, sondern, daß eine breite, flächige Auflagerung vorhanden ist und daß das eine Auflager durch 2 Auflager ersetzt wird, die durch die Ränder der Flanschen gebildet werden. Die Spitze der Momentenlinie wird somit abgeschnitten.

Die bei den einzelnen Festigkeitsnachweisen zulässigen Spannungen für die wichtigsten Bauteile und deren Verbindungsmittel wurden gegenüber den bisher im Stahlwasserbau üblichen erhöht. Dies mit Rücksicht auf die bessere Materialausnutzung und daher wirtschaftlichere Bemessung.

Die Einschränkung, die zugelassenen Spannungen entsprechend der Korrosionsgefahr zu ermäßigen, hat im Stahlwasserbau besondere Berechtigung, da die meisten und wichtigsten Konstruktionsteile dauernd unter Wasser liegen, somit unzugänglich sind und verstärkter Korrosion unterliegen. Zudem sind die heute gebräuchlichsten und wirtschaftlichsten Konservierungsmethoden noch nicht so weit entwickelt, daß auch bei ihrer sorgfältigen Anwendung in allen Fällen ein vollwertiger und dauerhafter Schutz, vor allem gegen mechanische Beanspruchung, gewährleistet ist.

Der in den zitierten Berechnungsgrundlagen verlangte zweite Spannungsnachweis nach Dauer- bzw. Zeit- und Formfestigkeit konnte bisher nicht verwirklicht werden. Es fehlen noch für viele Stahlsorten die notwendigen Dauerfestigkeits-Schaubilder und sonstigen Werkstoff-Angaben. Außerdem gelten die vorhandenen für Probestäbe geringerer Abmessungen, so daß für größere Bauelemente Abminderungs-Faktoren einzusetzen sind, über deren Größe nicht immer volle Klarheit herrscht.

Das bereits eingangs erwähnte Ziel für die Berechnung und Bemessung von Stahlwasserbauten und auch für die Berechnung von Schleusentoren im besonderen eine erste und eindeutige Richtlinie zu erhalten und damit dem Konstrukteur einheitliche und grundsätzliche Bemessungsregeln an die Hand zu geben, dürfte mit der vorliegenden Norm DIN 19704 vorerst erreicht sein.

Von der Tendenz, gleichwie im Brückenbau auch im Stahlwasserbau in Ausnutzung der höheren, zulässigen Spannungen zur Leichtbauweise überzugehen, muß im Hinblick auf die im Stahlwasserbau völlig andersgearteten Betriebs- und Belastungsverhältnisse eindringlich gewarnt werden.

Wichtigste Voraussetzung für eine den tatsächlichen Verhältnissen Genüge leistende und zutreffende Berechnung ist die Zusammenarbeit von Hydrauliker und Konstrukteur, wobei die Unsicherheit in der Beurteilung und Erfassung hydrodynamischer Beanspruchungen durch die Vornahme entsprechender Modellversuche vorweg stets klar-

gestellt werden sollte. Diese Forderung behält auch dann volle Gültigkeit, wenn man versuchen sollte, unter Zuhilfenahme von Computern die rechnerische Vorbestimmung hydrodynamischer Vorgänge neu einzuführen.

Vergleichsstudie:

Vorbemerkung:

Der Vergleich der einzelnen Tor-Bauarten beschränkt sich auf die nachgenannten Verschlüsse. Dabei wurden nur jene gewählt, die sich bisher im Betrieb bewährt haben und für Fluß- und Kanalschleusen mit Hubhöhen über 10 m geeignet sind. Daneben war bei der Auswahl der Gesichtspunkte maßgebend, daß die Verschlüsse in gleicher Weise der Hochwasser- und Eisabfuhr oder der Füllung und Entleerung von umlauflosen Schleusen wie solcher mit Umläufen, also mit Längskanälen und Grundläufen, genügen sollten.

Wenn unter diesen aufgeführten Typen das Schiebetor nicht genannt wurde, so deshalb, weil dessen Verwendung auf Bergbausenkungs-Gebiete wie auf Seeschleusen beschränkt ist.

Vergleich der Bauarten:

1. Stemmtor (für Ober- und Unterhaupt)
2. Einteiliges Hubtor (für Ober- und Unterhaupt) Bild 1
3. Hubsenktor (für Oberhaupt) Bild 2
4. Drehsegmenttor (für Oberhaupt) Bild 3
5. Zweiteiliges Hubtor nach Art des Hakenschützes (für Oberhaupt) Bild 4
6. Umlaufverschlüsse inner- und außerhalb der Tore (Schützen) (Anwendung als Tiefschützen)

1. Stemmtor

Als Verschuß in den Häuptern von Binnenschleusen hat sich das Stemmtor wegen seiner mannigfachen Vorzüge nach wie vor bewährt. Es ist als der ideale Torverschuß für Schleusen zu betrachten, gleichgültig, ob als Riegel- oder Ständertor oder in Gewölbeform ausgeführt. Es zählt somit auch heute noch zu den am häufigsten verwendeten Schleusenverschlüssen. Torhöhen bis zu 30 m und mehr bei Torbreiten von 25 m sind im Ausland bereits ausgeführt (1) und haben zu keinen grundsätzlichen Schwierigkeiten geführt (Gewicht je Torflügel etwa 500 t).

Einschränkungen hinsichtlich seiner Verwendung sind gegeben beim Öffnen des Tores gegen übermäßigen einseitigen Wasserdruck für die Hochwasserabfuhr, bei Eisabfuhr sowie bei Bewegungen in wechselnden Druckrichtungen (Seeschleusen). Ferner wird die Bewegung des Stemmtores durch übermäßige Ablagerungen von Schlamm und Feinsand behindert (1).

Einschränkend kommt hinzu, wenn das Tor im Winterbetrieb gegen starke Vereisung der Tornischen geöffnet und dieses Eis vor dem Öffnen der Torflügel erst in mühseliger und gefährlicher Arbeit aus den Nischen beseitigt werden muß. Diesem Argument kann jedoch auch durch anderweitige, vorzeitig geplante Maßnahmen weitgehend vorgebeugt werden.

Wenn entgegen der vorgenannten Einschränkung an den Doppelschleusen der deutschen und österreichischen Donaustrecke am Unterhaupt zum Zwecke der Hochwasserabfuhr dennoch Stemmtore verwendet wurden, so war dies auf Grund besonderer örtlicher Verhältnisse zu vertreten.

Die zum Zweck der Durchströmung unbedingt erforderliche Verriegelung der Untertorflügel wurde äußerst robust und ausreichend sicher bemessen. Ist das Tor zur Hochwasser-Entlastung geöffnet, so entsteht aus der Umströmung der Torflügel ein zur Kammerachse gerichtetes Druckgefälle. Dieses Druckgefälle versucht das Tor zu schließen, was unter allen Umständen durch die entsprechend starke Verriegelung verhindert werden muß. Gleichzeitig wird damit der Gefahr von Flatter-Schwingungen infolge hydrodynamischer Vorgänge begegnet.

Eine der beiden Schleusenkammern sollte ferner Schleusungen ohne Stauhaltung ermöglichen. Dies ergab sich aus der Forderung, daß die Schifffahrt, bedingt durch die Enge des Donautales an der Wehrstelle auch zu Zeiten einer eventuellen Staulegung, wie auch während der Bauzeit der Gesamtanlage, möglich sein mußte. Es bot sich daher der hierdurch bedingte verhältnismäßig große Durchflußquerschnitt am Oberhaupt einer Schleuse förmlich zur Verwirklichung der Hochwasserentlastung an.

Hinzu kommt, daß diese Anlage mit 6 Wehrverschlüssen und einem der Hochwasserabfuhr dienenden Schleusenverschluß, also mit einem Verhältnis von 6:1, abfuhrmäßig noch günstig ausgelegt ist. Andererseits ist jedoch auch anzunehmen, daß bei einer Anlage, bei der das Verhältnis ungünstiger ist, sicherlich die Entscheidung zu Gunsten eines zusätzlichen Wehrverschlusses gefallen wäre.

Berücksichtigt man noch, daß bei einer umlauflosen Schleuse auf die strömungstechnisch richtige Ausführung der Kammersohle, vornehmlich im Bereich des Unterhauptes, geachtet werden muß, so spricht der beim Stemmtor unvermeidliche Einbau einer Torgrube mit dem als Gegenschwelle wirkenden Dremmel nicht gerade für die Verwendung eines Stemmtores. Die vorangegebene Einschränkung erscheint daher berechtigt (3).

Alles in allem genommen, bedeutet die Forderung der Hochwasserabfuhr durch eine Schleuse verschlußmäßig nicht nur eine Erschwernis, sie hat vielmehr auch eine ungünstige Beeinflussung des Schleusenbetriebes zur Folge. Soweit nur irgendwie möglich, sollte daher hierauf verzichtet und durch andere Maßnahmen ein Ausgleich der Abfuhrverhältnisse ermöglicht werden.

Obwohl beim Ständertor die Übertragung des Stemmdruckes auf die Wendesäule nur durch den oberen und unteren Riegel erfolgt und im übrigen die Ständer am Dremmel aufgelagert werden, infolgedessen die statische Beanspruchung der Ständertore übersichtlicher ist als die der Riegeltore, wird heute die Ausführung des Stemmtores als Riegeltor allgemein bevorzugt (1). Die grundsätzliche Konzeption der Stahikonstruktion hat sich daher bis heute wenig geändert.

Eine Weiterentwicklung hat nur bei einzelnen Torelementen stattgefunden.

Die Ausführung des Tragwerks vorwiegend in Schweißkonstruktion hat sich weitgehend durchgesetzt.

Holz als Werkstoff für Dichtungen wurde grundsätzlich verlassen und durch Gummi-Profile ersetzt, an Schlag- sowie Wendesäule mittels starkem und robustem Noten- oder Flachgummi, am Dremmel über vulkanisierte abnehmbare Gummileisten (Bauart Jehn).

Durch die Verwendung hochwertiger Werkstoffe für die Spur- und Halslager wurde eine weitgehende Minderung des Verschleißes erreicht. Versuche, für die Ausführung

des oberen Lagerteiles am Spurzapfen Kunststoffe zu verwenden und damit das Schmierproblem am Spurlager zu lösen, zeigten ein befriedigendes Ergebnis.

Zwecks Erleichterung des Winterbetriebes ist es gelungen, die Anschlagflächen der Wendesäulen-Dichtung auf einfache Weise elektrisch zu beheizen. Außerdem wird durch die Verlegung entsprechender Luftsprudelleitungen innerhalb der Tornischen wie am Dremmel dafür Sorge getragen, daß übermäßiger Eisansatz hinter dem Tor unterbunden und die Freiräumung der Tornischen beim Öffnen des Tores vermieden bleibt.

Durch die freie Verschieblichkeit des Spur- und Halslagers wurde die Entlastung der Lager im Ruhezustand des Tores weitgehend sichergestellt.

Die Übertragung des Stemmdruckes an der Schlagsäule erfolgt nicht mehr durch Holz, sondern über in der Achse der Hauptriegel angeordnete stuhlartige Knaggen, gleich wie an der Wendesäule.

Zur Erhöhung der Verwindungssteifigkeit wurden Schlag- und Wendesäule als kastenförmiges, gegenüber früher wesentlich verstärktes Element mit inneren Aussteifungen ausgebildet. Gekreuzte über die ganze Torfläche reichende, jedoch stärker bemessene und entsprechend sicher befestigte Diagonalen auf der Unterwasserseite des Tores wurden beibehalten.

Von der Verwendung nichtrostenden Materials für die Anschlagflächen von Dichtungen wie für alle Befestigungsmittel und Einzelteile von Lagern wird heute weitgehend Gebrauch gemacht.

Der Antrieb jedes Torflügels erfolgt in der Form eines Kurbel- oder Segmentantriebes, dessen Ausbildung und Wirkungsweise als bekannt vorausgesetzt werden darf. Die einzelnen maschinenbaulichen Elemente wurden dem Fortschritt der Technik entsprechend verbessert und deren Beanspruchung durch Zubau einer Überlastungsschutz-Kupplung in bestimmten Grenzen abgesichert. Neuerdings wurde zum öl-hydraulischen Antrieb übergegangen, worüber jedoch noch keine ausreichenden Betriebserfahrungen vorliegen. Über diese neuartige Antriebsweise und ihre Eignung wird an anderer Stelle noch Näheres berichtet. Da sich der mechanische Antrieb vom Stemmtoren in Form des Kurbeltriebes bisher in jeder Weise bewährt hat, besteht an und für sich kein Grund, von der bisherigen Antriebs-Bauart abzugehen.

Eine noch nicht restlos geklärte Frage stellt die Aufnahme von Schiffsstößen durch auf das Stemmtor aufgebaute Schutzvorrichtungen dar. Mit Zunahme der Beschädigungen durch auffahrende Schiffe hat sich deutlich gezeigt, daß hinsichtlich der Energieaufnahme wesentlich höhere Werte anzusetzen sind, als bisher angenommen. Der Einbau von entsprechenden, auf diese Werte abgestimmten Schutzvorrichtungen bereitet beim Stemmtor nicht geringe Schwierigkeiten. Hinzu kommt, daß selbst bei ausreichender Auslegung der Schutzvorrichtung im Einzelfall bei Zusammenwirken ungünstiger Umstände dennoch eine Beschädigung der Torkonstruktion nicht vollkommen ausgeschlossen bleibt.

Hingegen erscheint die Anordnung der Schutzvorrichtung unabhängig vom Tor, das heißt, außerhalb des Tores, selbst unter Inkaufnahme einer Vergrößerung der Schleusenlänge, prüfenswert. Hierbei werden die Baukosten eine ausschlaggebende Rolle spielen, so daß in bestimmten Fällen mit Rücksicht auf den Schiffstoß von der Verwendung von Stemmtoren als Schleusenverschluß Abstand genommen werden muß.

Dem mit Ende des 1. Weltkrieges einsetzenden Streben nach kürzeren Schleusungszeiten und der Verwirklichung des umlauflosen Füll- und Entleerungssystems wurde das Stemmtor ohne weiteres gerecht. Die Möglichkeit, innerhalb des Tores entsprechend

größere Füll-Querschnitte zu schaffen und die Schleusenfüllung über einfache Rollschützen im Tor zu bewerkstelligen, muß als sehr wesentlicher Vorteil des Stemmtores gewertet werden.

Die zuerst gewählte Anordnung der Schützen auf der Oberwasserseite der Stauwand hat sich nicht bewährt. Einmal unterliegen die zur Bewegung der Schützen erforderlichen Zahnstangen im Winter einer starken Vereisungsgefahr. Zum anderen sind sie anfällig gegen Schiffsstöße. Letzteres gilt auch für die in Nähe der Stauwand gelegenen Antriebsorgane. Es erschien daher notwendig, die Torschützen weiter in das Torinnere (gegen die Unterwasserseite) zu verlegen. Durch eine besondere, geschlitzte Ausführung der unteren Tor-Riegel wird ermöglicht, daß die Schützen ungehindert die Torkonstruktion durchfahren können, und zwar soweit, daß man sie über das Unterwasser herausziehen, ausbauen oder auch in eingebautem Zustand einer Revision unterziehen kann.

Der Antrieb für Tore und Schützen erfolgt jeweils getrennt. Mit Rücksicht auf die mögliche Vereisung der Zahnstangen für die Schützen bietet sich hier für die Bewegung der Schützen der öl-hydraulische Antrieb von selbst an, während für das Tor der mechanische Kurbeltrieb beibehalten werden kann.

Diese Art der Füllung und Entleerung von umlauflosen Schleusen unter Heranziehung des Stemmtores mit innenliegenden Füll- und Entleerungsorganen hat sich bei vielen ausgeführten Anlagen bewährt. Hingegen befriedigte nicht in allen Fällen die bei diesem System unumgänglich notwendige Energievernichtung, da ein ruhiges Einströmen des Füllwassers in die Kammer selbst nach Verlust eines Großteiles seiner kinetischen Energie und unter ausreichender Wasserüberdeckung nicht immer gewährleistet war.

Immerhin muß festgestellt werden, daß dieses umlauflose System bei Schleusen mit Fallhöhen unter 10 m kostenmäßig allen anderen Systemen überlegen ist.

Mit Zunahme der Fallhöhen hat man sich jedoch vornehmlich in USA und Frankreich anderen Füll-Systemen zugewandt, die auch bei größerer Fallhöhe noch entsprechend kurze Füll- und Entleerungszeiten sowie eine ruhigere Lage des Schiffes während des Schleusenvorganges und günstigere Strömungsverhältnisse in den beiden Vorhäfen gestatten. Ein gewisser baulicher und konstruktiver Mehraufwand ist hierbei jedoch unvermeidbar (2).

Zusammenfassend dürfte mit der vorstehenden Herausstellung aller Vor- und Nachteile erwiesen sein, daß das Stemmtor in seiner heute weiterentwickelten Bauart auch für moderne Großschleusen je nach Maßgabe der örtlichen Verhältnisse und der an den Betrieb zu stellenden Forderungen nach wir vor als durchaus geeigneter Verschuß gewählt werden kann. Die Aufwendungen für Betrieb und Unterhaltung bewegen sich kostenmäßig in so bescheidenen Grenzen, daß sie auch in Anbetracht der Personalnot und eines wirtschaftlichen Betriebes ohne weiteres vertreten werden können.

Eine, bei gleichen Anforderungen und Voraussetzungen preislich günstigere Tor-Bauart als das Stemmtor ist unter den heute gebräuchlichen Schleusenverschlüssen nicht zu verzeichnen.

2. Einteiliges Hubtor

Einteilige Hubtore bestehen bereits an vielen Fluß- und Kanalschleusen des europäischen Wasserstraßennetzes in mannigfacher Ausführung. Sie werden vorzugsweise für Schleusen mit großer Fallhöhe, insbesondere als Unterhauptverschuß für Schachtschleusen verwendet, kommen aber auch als Abschluß der oberen Haltung vor (Hebewerke).

Ihre Höhe ist meist vorbestimmt durch den höchsten schiffbaren Wasserstand und die darüber einzuhaltende lichte Durchfahrts Höhe. Deren Oberkante ist bei der Mehrzahl der Bauwerke durch eine Betonmaske begrenzt, die der Auflagerung des Tores dient.

Mit dieser Vorschreibung wie mit Rücksicht auf die Anordnung der Antriebe und der Umlenkung von Gegengewichten sind hohe turmartige Aufbauten bedingt. Diese bilden nicht selten aus ästhetischen Gründen als auch hinsichtlich des gebotenen Landschaftsschutzes ein willkommenes Ziel der Kritik. Ihre Gestaltung bedarf daher besonderer Sorgfalt und reiflicher Überlegungen, mit dem Zweck, die Aufbauten möglichst niedrig zu halten.

Hubtore haben in neuerer Zeit sowohl bei umlauflosen Schleusen, also mit Füll- und Entleerungsorganen in den Toren, als auch bei Schleusen mit Füll- und Entleerungssystemen (Längskanäle mit Stichkanälen oder Grundläufen) Eingang gefunden.

Je nach den örtlichen Gegebenheiten erfuhrt die Stahlkonstruktion des eigentlichen Torkörpers eine unterschiedliche Ausführung. Sie bringen ebenso mannigfaltige Problemstellungen mit sich. Im Zuge des Ausbaues des Europa-Kanals Rhein-Main-Donau wurde für das Hubtor eine neuartige Ausführung bevorzugt, die bereits am Rhein-Seitenkanal sich eingeführt und dort gut bewährt hat (Bild 1). Sie dient hier als Unterhaupt-Verschluß. Zum Entleeren der Kammer wird das Tor nicht herangezogen.

Das Hubtor ist als Riegeltor ausgebildet, wobei die Stauwand mit Dichtung auf der Unterwasserseite liegt. Die Führung des Tores geschieht mit federnden Laufrollen, die so eingerichtet sind, daß bei einer Spiegeldifferenz von 30 cm das Tor sich von den Dichtleisten abhebt und so frei hängend durch das Windwerk gehoben werden kann. Sobald der Wasserdruck von der Kammer her überwiegt, werden die federnden Laufrollen zurückgedrückt und das Tor legt sich mit festen Anschlägen in Form von balligen Druckleisten gegen die Armierung oder den Beton. Die Laufrollen waren daher nicht für den vollen Wasserdruck, sondern nur für einen bestimmten Differenzdruck zu bemessen.

Der wesentliche Vorteil besteht darin, daß während des Bewegungsvorganges der Dichtungsgummi keinerlei Verschleiß unterliegt und beim Dichtungsvorgang der Wasserdruck die u-förmige, rundum in einer Ebene liegende Dichtung um das einstellbare Maß anpreßt, so daß eine absolute Dichtigkeit bewirkt wird. Dies war im vorliegenden Fall mit Rücksicht auf die gebotene Wasserersparnis in der Kanalhaltung von besondere Bedeutung.

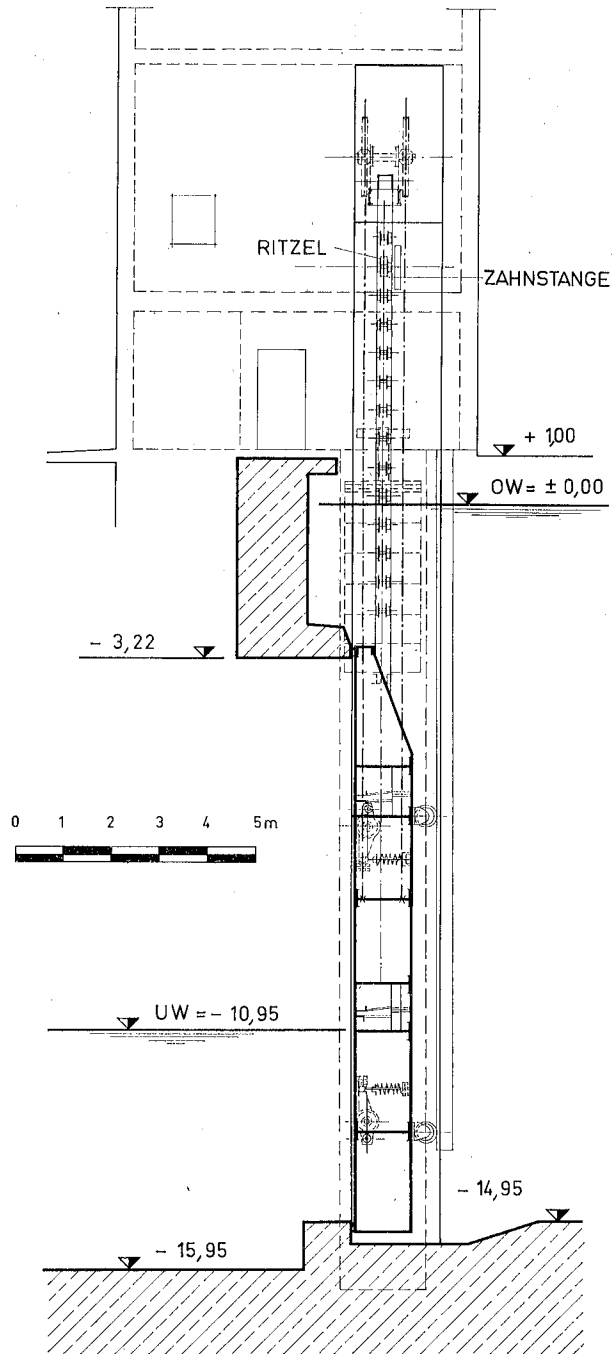
Die Stahlkonstruktion des Torkörpers ist teilweise geschweißt, teilweise genietet (Baustellenstöße).

Das Eigengewicht des Tores wird größtenteils durch die auf beiden Seiten angeordneten Gegengewichte ausgeglichen.

Das Öffnen und Schließen des freihängenden Tores erfolgt über Gelenk-Zahnstangen. Die mit elektrischem Gleichlauf ausgestatteten Antriebe haben beim Hubvorgang in der Hauptsache nur die Bewegungswiderstände infolge Seilrollen- und Laufrollen-Reibung zu überwinden, so daß deren maschineller Aufbau verhältnismäßig einfach gehalten werden konnte.

Besondere zur Übertragung des Wasserdruckes notwendige, aufwendige Laufwagen-Konstruktionen mit entsprechenden schweren Laufrollen und Laufbahnen bleiben bei der vorbeschriebenen Tor-Bauart erspart.

Nachteilig empfunden wird die Lage der für die Aufhängung der Gegengewichte notwendigen Drahtseile auf der Oberwasserseite. Zwangsläufig tauchen diese somit bei jeder Schleusung unter Wasser und bedürfen daher besonderer Schmierung und Wartung.



EINTEILIGES HUBTOR

Bild 1

Um den hierdurch entstehenden Aufwand zu vermindern, sind Bestrebungen im Gang, die Drahtseile durch Seile aus Kunststoff mit gleicher Sicherheit zu ersetzen.

Die Verwendung von Gelenkzahnstangen als Antriebsorgan bietet den Vorteil, daß der Torkörper an beiden Seiten zwangsläufig und gleichmäßig gehoben sowie gesenkt werden kann. Auch bei einseitigem Widerstand kann sich das Tor daher nicht schiefstellen.

Das Eigengewicht des Tores wird im allgemeinen durch die Gegengewichte soweit ausgeglichen, daß nur noch ein leichtes Torübergewicht verbleibt. Dieser Gewichts-ausgleich ermöglicht eine schnellere Torbewegung bei geringer Motorleistung, da im wesentlichen nur noch Reibungswiderstände zu überwinden sind. Maßnahmen, um zu erreichen, daß das Tor trotz Gegengewichtsausgleich in seiner Schließlage noch einen ausreichenden Schließdruck gegen die Sohle ausüben kann, waren im vorliegenden Fall nicht notwendig, da das Tor auch in geschlossenem Zustand nicht aufsitzt, sondern nur horizontal gegen die Sohle dichtet.

Hinsichtlich Hochwasser-Abfuhr ergeben sich bei der vorstehend diskutierten Hubtor-Bauart, sofern als Untertor verwendet, keine Schwierigkeiten.

Die Anordnung der Stauwand gegen Unterwasser hat zwar zur Folge, daß sich bei jeder Schleusung auf den gegen Oberwasser zu gelegenen offenen Riegel-Flächen Schmutz, Schlamm, gegebenenfalls im Winter auch Eis ablagern und ansetzen kann. Diesem Umstand kann vorgebeugt werden, wenn beispielsweise im Winter in Zeiten, da nicht geschleust wird, die Schleuse auf Unterwasser gestellt und das Tor über Unterwasser gehoben wird.

Demgegenüber ist der Vorteil einer einwandfreien und zuverlässig wirkenden Dichtung des Tores von weitreichender Bedeutung. Deren Herstellung stellt den Konstrukteur immer wieder vor besondere Probleme. Sie ist bei der vorbeschriebenen Hubtor-Bauart zweifellos gewährleistet. Der Wert einer Konstruktion steigt oder fällt mit der Güte ihrer Dichtung, denn eine nur teilweise befriedigende Dichtung bleibt bekanntlich ein ständiges Ärgernis und erschwert den Betrieb in besonderem Maß.

Wesentlich komplizierter und schwieriger können die Betriebsbedingungen für ein Hubtor werden, wenn dieses zur unmittelbaren Füllung mit oder ohne im Tor eingebaute Füllorgane (Jochenstein) als Oberhaupt-Verschluß benützt werden soll. Näheres hierüber wird bei der Beurteilung des zweiteiligen Hubtores ausgesagt.

Solange dies, wie im vorliegenden Fall, nicht in Frage kommt und das Tor nur als Abschluß des Unterhauptes ohne weitere Funktions-Auflagen benutzt wird, kann ein einteiliges Hubtor vorbeschriebener Bauart als vorteilhafte und durchaus geeignete Konstruktion empfohlen werden, zumal sich eine solche anderen Ortes mit ungleich größeren Abmessungen bereits hinreichend bewährt hat.

3. Hubsenktor

Es wurde aus dem früher vorgeschlagenen, später aber wieder verlassenen Senktor (mit Füll-Muschel) weiterentwickelt und geht in seiner grundsätzlichen Ausführung auf das bei Wehranlagen gebräuchliche Versenk-Schütz zurück. Diesen seinen Vorgängern haftete der Mangel an, daß, verursacht durch die unvermeidliche Durchbiegung des Verschlußkörpers, die Wirkung der Sohlendichtung nicht den zu stellenden Forderungen entsprach und deren Ausführung (mittels Gestänge und Federn) wie Nachstellbarkeit zu erheblichen Betriebserschwernissen führte. Auch die später vorgenommenen Änderungen an der Stahlkonstruktion, mit dem Ziele, die Durchbiegung zu vermindern, hatten keinen durchschlagenden Erfolg. Erst die nach dem 2. Weltkrieg vorgeschlagene Abstützung des Torkörpers während der Bewegung durch kräftige Stützrollen gegen

die unterwasserseitig gelegene Prallwand der Energievernichtung behob die hinsichtlich der Dichtung zu beanstandenden Mängel und rückte das Hubsenktor wieder in den Vordergrund. Die Durchbiegung der Sohlendichtung wird bei dieser neuen Bauart wirksam verhindert.

Mit Rücksicht auf die geringe Verschußhöhe im Oberwasser wie in Anbetracht der vielfachen, mit dem Tor zu erreichenden Bewegungsmöglichkeiten wird das Hubsenktor heute vornehmlich als Oberhaupt-Verschuß gewählt. Es gestattet darüber hinaus eine wesentliche Verkürzung der Baulänge des Oberhauptes.

Es wird allen normalen und zusätzlich an den Schleusenbetrieb auf Grund der örtlichen Verhältnisse zu stellenden Forderungen in jeder Weise gerecht. Hochwasser- und Eisabfuhr, unmittelbare Torfüllung oder der einfache Abschluß der oberen Haltung lassen sich mit dieser Torbauart ohne Schwierigkeit verwirklichen.

Zu Revisions- und Reparaturzwecken läßt sich das Tor bis über das Oberwasser herausfahren oder mittels entsprechenden Gerätes ausbauen.

Wird das Tor zum Füllen der Kammer herangezogen, so wird es mit entsprechend niedriger Hubgeschwindigkeit bis auf die Höhe eines bestimmten Füll-Spaltess gehoben. Durch den unter dem Tor durchschießenden Wasserstrahl, der in einer besonderen Energievernichtungskammer umgelenkt und gebrochen wird, wird die Kammer gefüllt. Der Einbau einer Energievernichtung ist für diesen Fall unbedingt notwendig.

Ist die Schleuse mit einem eigenen Füll- und Entleerungssystem ausgestattet, so wirkt das Hubsenktor als reines Abschlußtor (Bild 2). Es ist daher lediglich auf der Unterwasserseite eine Betonwand notwendig, auf die sich die Stützrollen auflagern und sich über besondere Laufbahnen bewegen. Die Bewegung des Tores kann in diesem Fall mit entsprechend großer Geschwindigkeit vorgenommen werden.

Bei der Abfuhr von Eis und Hochwasser müssen auf der Unterwasserseite baulich besondere Vorkehrungen getroffen werden, die das Tor selbst jedoch nicht berühren.

Die am Europa-Kanal verwendeten Tore sind in vollständig geschweißter Stahlkonstruktion erstellt.

Wie beim einteiligen Hubtor erfolgt auch hier der Antrieb des Tores beidseitig über zwangsläufig geführte Gelenkzahnstangen. Letztere werden am Antriebsritz so vorgeführt, daß keine Umlenkung unter Kraft eintritt.

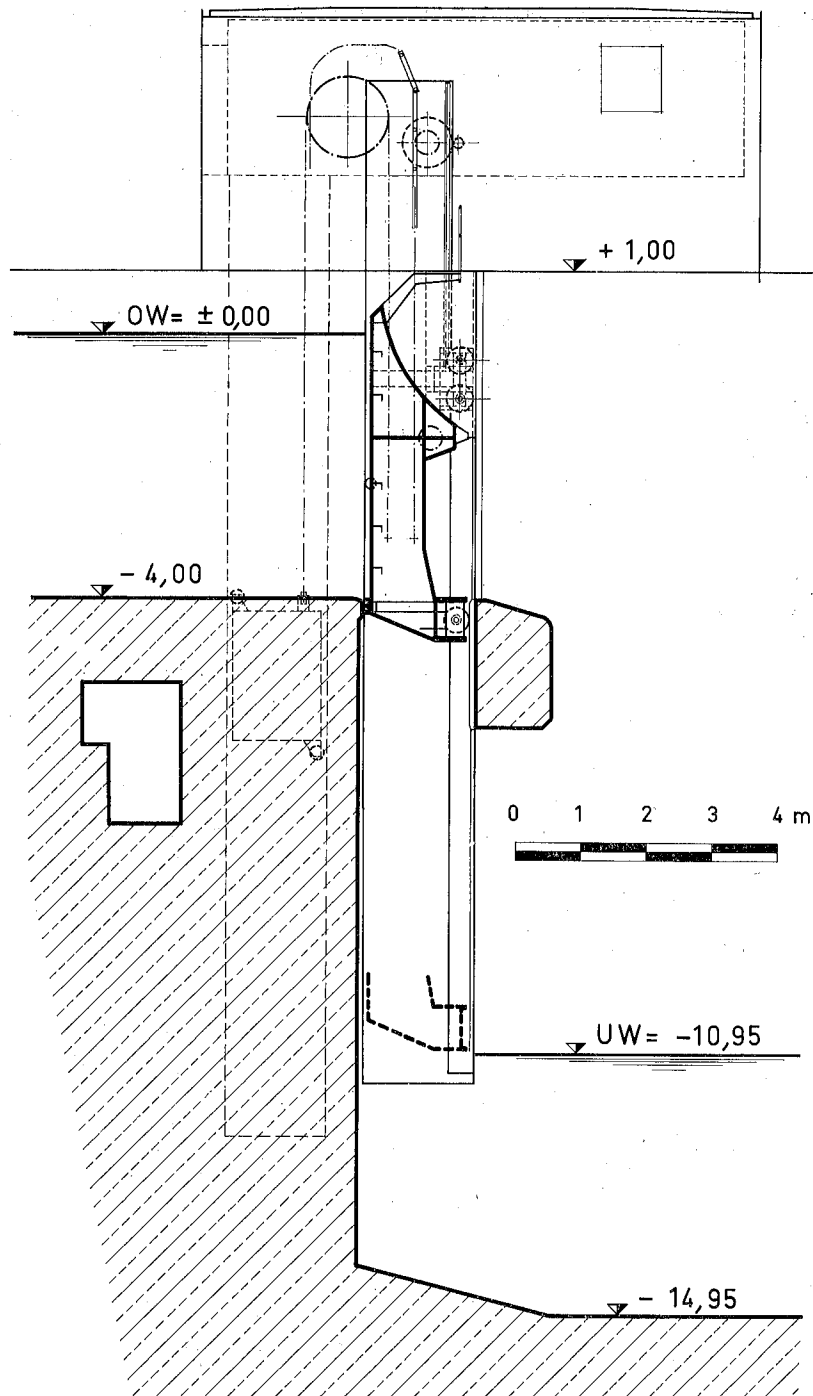
Das Eigengewicht des Tores wird auch hier größtenteils durch Gegengewicht ausgeglichen, um die Antriebsleistung wie die Hubkräfte zu mindern. Ferner sind die Antriebe mit elektrischem Gleichlauf ausgestattet.

Zu Zwecken der Eis- sowie Geschwemmsel-Abfuhr ist das Tor so bemessen, daß es unter vollem einseitigen Wasserdruck aus der Schließ- in die Absenklage oder in jede beliebige Zwischenstellung gefahren, gehalten und aus jeder dieser Lagen wieder in die Schließlage zurückgefahren werden kann, ohne hierbei Verformungen und unzulässige Beanspruchungen in der Stahlkonstruktion wie im Antrieb zu erleiden.

Um im Winterbetrieb möglichen Schwierigkeiten durch Vereisung und Eisansatz wirksam zu begegnen, wurde in der oberstromigen Sohlenarmierung eine Luftsprudelleitung verlegt, die mit Druckluft betrieben wird.

Hinsichtlich Beanspruchung und Wartung von Drahtseilen sind hier die gleichen Bedenken wie beim einteiligen Hubtor angebracht.

Mit Ausnahme der normalen Kosten für die regelmäßige Schmierung von Rollen, Seilen, Antrieben sind für die Wartung keine weiteren Kosten und kein zusätzlicher Personal-Aufwand zu erwarten.



HUBSENKTOR

Bild 2

Bei der Verwendung des Hubsenktores ist die Rücksichtnahme auf Hochwasser- und Eisabfuhr meist ausschlaggebend. Ob diese Argumente immer, insbesondere bei Einbau des Tores in Schleusen an Stillwasser-Kanälen, so entscheidend durchschlagen, muß bezweifelt werden und bedarf jedenfalls bei Wahl des Verschlusses eingehender Prüfung. Gerade die Abfuhr von Eis ist nur dann wirksam, wenn bei entsprechend großer Überströmungshöhe auch die nötige Wassermenge zur regelmäßigen Abtrift über längere Zeit zur Verfügung steht. Will man eine wirklich ausreichende und wirksame Abtrift erreichen, dann kann die Wassermenge sehr bald eine Größenordnung annehmen, die der gerade in Kanälen gebotenen Wasserersparnis zuwiderläuft, ein unzulässiges Absinken des Oberwasserspiegels bewirkt und in der Folge zwangsläufig zur Einstellung der Eisabfuhr zwingen wird. Auch die Wiederauffüllung des Haltungswassers auf künstlichem Wege über Pumpwerke benötigt Zeit sowie Kosten und muß bei der Wiederaufnahme der Schifffahrt berücksichtigt werden.

4. Drehsegmenttor:

Aus dem Bestreben, die Aufbauten der Hubtore möglichst niedrig zu halten, entstand das Senktor, bei dem der Torverschluß in einen Schacht nach unten abgesenkt wird. Die Weiterentwicklung dieses Senktors führte zum Segment- und Drehsegmenttor, das vornehmlich als Oberhaupt-Verschluß für umlauflose Schleusen in Betracht kommt. Wie Bild 3 veranschaulicht, wird das Tor durch Drehung um die mittigen Lagerpunkte geöffnet. Dabei wird zunächst ein Füllspalt freigegeben, durch den das Wasser einströmt und nach Vernichtung seiner Energie die Kammer füllt. Das Tor wurde jedoch auch schon in Fällen verwendet, wo selbst die eigentliche Füllung über Längskanäle mit Stichkanälen erfolgt und nur die Restfüllung zur Herabsetzung der Schleusenfüllzeit durch die zusätzliche Freigabe des Torfüllspaltes bewerkstelligt wird. Diese Kombination hat sich sehr gut bewährt. Betrieblich sind keinerlei Schwierigkeiten zu verzeichnen.

Eine Drehung des Tores in die andere Richtung bringt das Tor aus dem Wasser heraus, so daß es ohne Notverschluß für Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten frei zugänglich wird. Diese Möglichkeit ergibt auch den Vorteil, das Tor zur Hochwasser- und Eisabfuhr heranzuziehen.

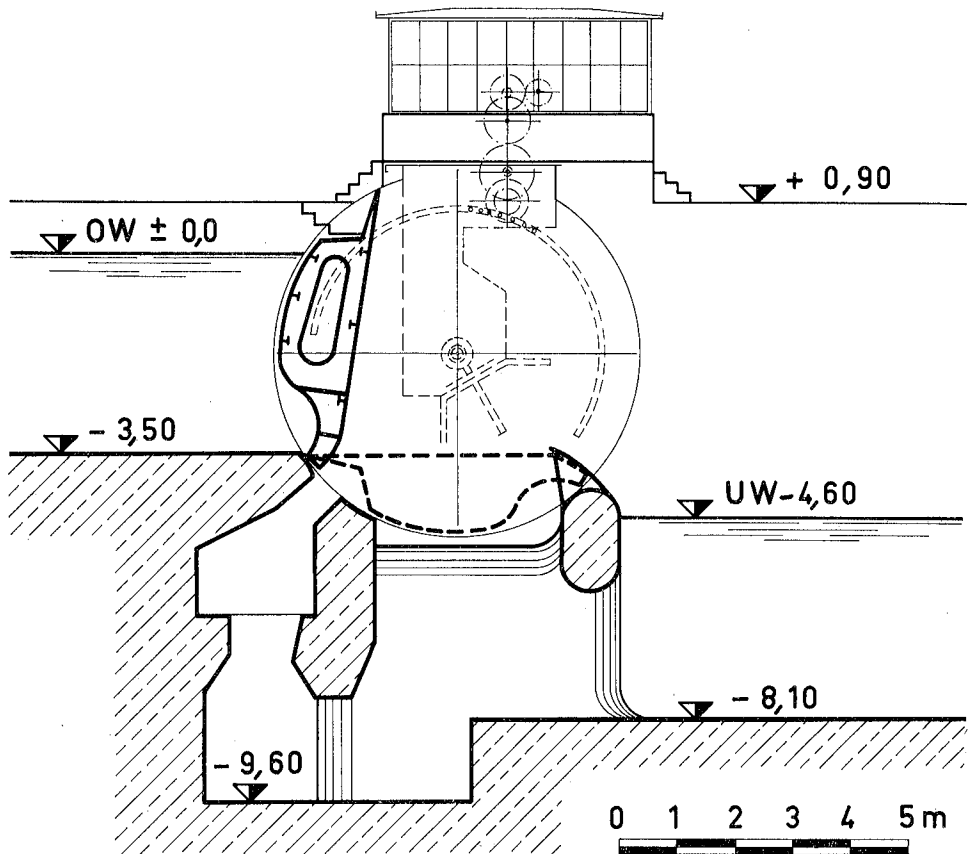
Die sowohl biegungs- wie torsionssteife Ausführung der Querschnittsform gestattet einseitigen Antrieb.

Bei der Schleuse Würzburg wurde erstmalig der Versuch gemacht, für die Sohlen- und Seitendichtung ausschließlich metallische Gleitdichtungen mit Gummifederung zu verwenden. Dieser Versuch zeitigte ein sehr gutes Ergebnis, so daß das Tor wegen seiner guten Dichtheit schon als Notverschluß für die Kammer benutzt werden konnte.

Das Eigengewicht des Tores wird durch Gegengewichte aus Beton, die in den seitlichen Endscheiben untergebracht sind, ausgeglichen. In den Endscheiben werden gleichzeitig auch die Hauptlager-Zapfen befestigt, um die sich das ganze Tor dreht.

Die beiden Hauptlager müssen so ausgebildet sein, daß unvermeidliche Durchbiegungen für die Bewegung des Tores unwirksam bleiben und sich die Lagerzapfen völlig klemmungsfrei im Lager einstellen können. Da die Lager bei jeder Schleusung zeitweise unter Wasser kommen, bedürfen sie hinsichtlich wasserdichter Ausbildung und entsprechender Schmierung noch der Weiterentwicklung.

Um unzulässige Lagerbeanspruchungen auszuschalten, muß im Antrieb eine besondere Überlastungs-Schutzkupplung eingebaut sein, die die Einstellung auf ein bestimmtes Drehmoment gestattet und im Gefahrfall den Antrieb mit Sicherheit abschaltet.



DREHSEGMENTTOR

Bild 3

Wie bei anderen Segment-Verschlüssen ist auch hier die Ausschaltung gleitender und rollender Reibung beim Drehen des Verschlusses, abgesehen von der Seitendichtungsreibung, ein ausschlaggebender Vorteil. Durch entsprechende Gestaltung der Stauwand ergeben sich aus dem Wasserdruck nur geringe Antriebskräfte, wobei die Anordnung eines Steges am oberen Teil des Tores mitbestimmend ist.

Für Flußschleusen mit geringeren Fallhöhen ist das Drehsegmenttor auch bei umlaufloser Füllung ein durchaus geeigneter Verschlusstyp, der die Abfuhr von Hochwasser, Eis und Geschiebe voll erfüllt.

Für umlauflose Schleusen mit großen Fallhöhen jedoch nur dann, wenn eine entsprechend wirksame Energievernichtung und damit eine gewisse Verlängerung des Oberhauptes oder eine Vertiefung der Sohle im Bereich des Oberhauptes kostenmäßig in Kauf genommen wird. Dient es nur als reines Abschlußtor, so kann es jedoch auch hier

bedenkenlos in Betracht gezogen werden. Doch erscheinen bei Hochwasser- und Eisabfuhr gewisse bauliche Maßnahmen unumgänglich notwendig.

5. Zweiteiliges Hubtor (nach Art des Hakenschützes)

Wenn, wie bereits erwähnt, bei umlauflosen Doppelschleusen für eine der beiden Schleusenkammern der Drempe so tief liegen muß, daß für die Schifffahrt ein gefahrloses Ein- sowie Ausfahren auch bei niedrigsten Wasserständen möglich ist (wie im Falle Jochenstein), außerdem noch auf die Abfuhr von Hochwasser und Eis Rücksicht genommen werden muß, so können sich Verschußhöhen und Durchfluß-Querschnitte ergeben, die nur mit einem zweiteiligen Hubtor nach Art des Hakenschützes noch beherrscht werden können (Bild 4). Jochenstein: Verschußhöhe 12,30 m, Breite 24,0 m.

Diese auf einen Schleusenverschluß abgewandelte Bauart wurde aus dem Wehrbau entnommen.

Das Oberschütz besteht aus einem oberen, parallelgurtigen Hauptträger und einer nach unten über Laufrollen auf das Unterschütz abgestützten Stauwand. Die mögliche Absenkhöhe des Oberschützes ergibt sich bei dieser Ausführung zu etwa 42% der Gesamthöhe.

Das Tragsystem der Unterschütze ist als rechteckiger, torsionssteifer Kasten-Querschnitt ausgebildet. Zum Zweck der Füllung trägt das untere Ende des Schützes ein Strahlführungsblech. Strahlführung und Energievernichter sind so gestaltet, daß nach dem Ergebnis vorausgegangener Modellversuche eine genügend beruhigte Wassereinströmung in die Kammer und damit eine ruhige Lage der Schiffe bei der Schleusung erwartet werden kann.

Im Normalbetrieb, nach Stauerrichtung, wird im Falle Jochenstein das Unterschütz mit 0,1 m/min Geschwindigkeit um 1,30 m für die Füllung der Kammer gehoben und anschließend das Oberschütz mit 2 m/min Geschwindigkeit um 3,80 m für die Durchfahrt der Schiffe abgesenkt.

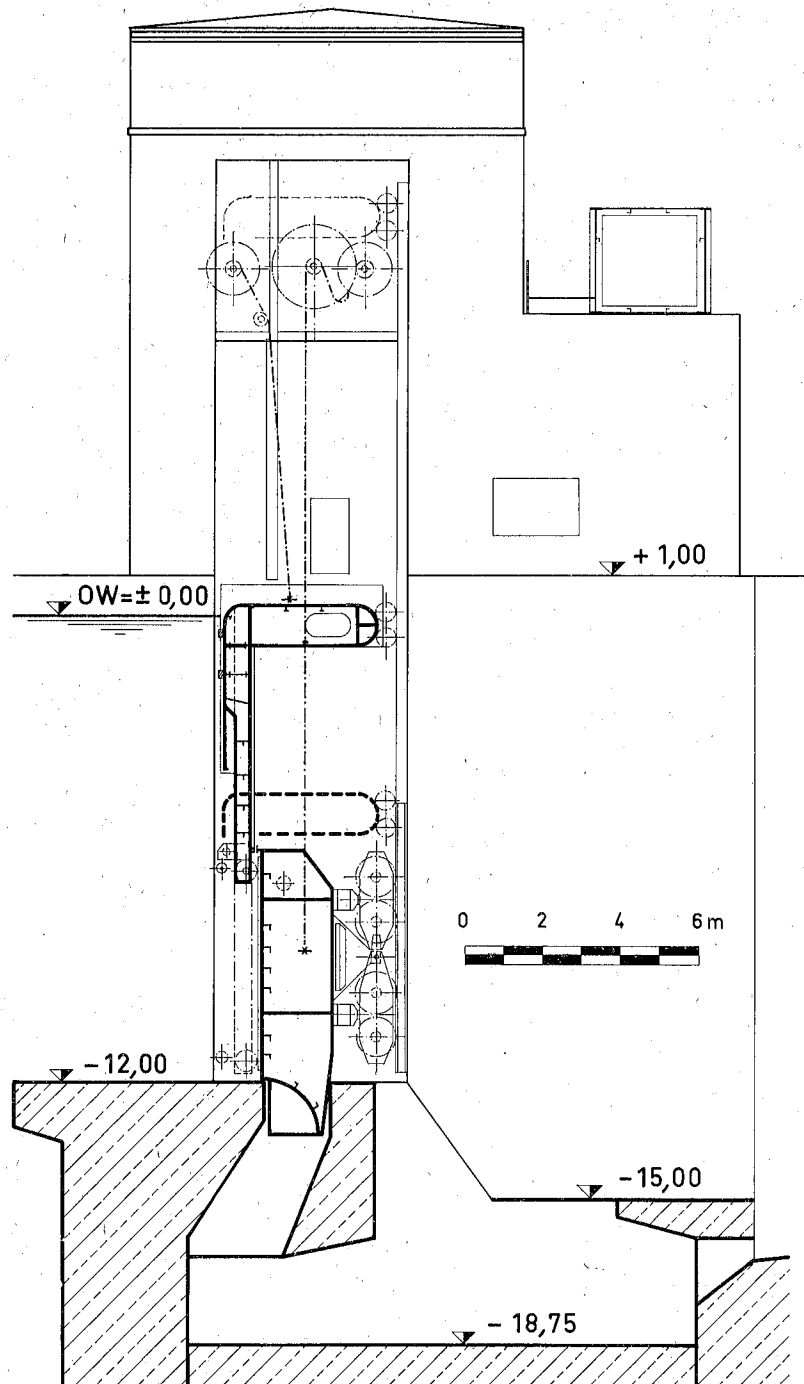
Im Gegensatz zu Wehrverschlüssen wird also hier das Unterschütz im Dauerbetrieb zur Füllung wie zum Zweck der HW-Abfuhr bewegt.

Bei den vorgenannten Abmessungen ergeben sich für Ober- und Unterschütz hohe Konstruktionsgewichte, zu deren Bewegung auch entsprechend schwere Antriebe erforderlich werden. Zur Verminderung der Antriebsleistung und des Verschleißes wäre es zweckmäßiger gewesen, das hohe Eigengewicht des zusammengefahrenen Schützpaketes durch Gegengewichte auszugleichen. Die Anordnung von Gegengewichten konnte jedoch in Anbetracht des schmalen Trenndammes und des geringen Abstandes der Achsen zwischen beiden Schleusen in den erforderlichen Aufbauten der Anlage Jochenstein nicht mehr untergebracht werden.

Von der Möglichkeit, die Hubkette für das Oberschütz am unteren Ende der Stauwand anzuschließen, wurde Gebrauch gemacht, um das Schützpaket beim Hochziehen am tiefliegenden Windwerk vorbeifahren und so eine möglichst geringe Höhe der Aufbauten erreichen zu können.

Wie sonst üblich, wird bei den beidseitig angeordneten Windwerken der erforderliche Gleichlauf durch eine elektrische Welle herbeigeführt.

Ein besonderes Problem bilden beim zweiteiligen Hubtor die Dichtungen. So insbesondere jene zwischen Ober- und Unterschütz, die weitgehend in einer Ebene liegen und auch bei Bewegungen ihre Lage unverrückbar beibehalten sollten. Hier wäre noch manches erforderlich, um eine ausreichende Dichtheit durch möglichst einfache Dichtungs-konstruktionen zu erzielen. Auch den Erfordernissen des Winterbetriebes wäre hier in viel weitergehendem Maß als bisher Rechnung zu tragen.



ZWEIFTEILIGES HUBTOR

Bild 4

Eine weitere, sehr wichtige Forderung muß unter allen Umständen erfüllt sein. Sie besteht darin, daß mit Beendigung der HW-Abfuhr das Unterschütz aus allen Lagen, auch bei Bewegungsumkehr, mit Sicherheit in seine Schließstellung gebracht werden kann und nicht vor Erreichen der Schließlage hängen bleibt. Auf dem Weg der Schließbewegung müssen ferner Schwingungserscheinungen sicher vermieden bleiben. Bei der Ausbildung des Strahlführungsbleches ist hierauf besondere Rücksicht zu nehmen.

Die Beschränkung der Hochwasserabfuhr auf eine Schleuse erscheint bei Doppelschleusen strömungsmäßig nicht gerade günstig. Der Höhenunterschied zwischen den Drempeln, im Fall Jochenstein etwa 8,00—10,00 m, erfordert hohe und übermäßig lange Leitmauern im oberen Vorhafen, die bei der gleichmäßigen Verteilung der Hochwassermenge auf beide Schleusenammern vermieden werden können. Ferner würde diese Maßnahme gestatten, daß beide Oberhäupter mit den gleichen Verschlüssen ausgestattet werden könnten. Auch aus betrieblichen Gründen wäre eine solche Lösung vorteilhafter.

Im gleichen Zusammenhang ist bei Doppelschleusen darauf zu achten, daß die Vorhäfen möglichst strömungsfrei bleiben und die Schiffszüge gefahrlos rangieren sowie ein- und ausfahren können. Bei der Füllung vom Oberhaupt aus bleibt die Resonanzerscheinung doch mehr oder minder aufrechterhalten und beeinflußt das gleichmäßige Heben und Senken des Wasserspiegels inner- wie außerhalb der Kammer.

Die bei umlauflosen Schleusen auch am Oberhaupt notwendige Anordnung von der Energievernichtung dienenden Einbauten behindert den ungestörten Hochwasserabfluß innerhalb der Kammer. Beide Forderungen zusammen erscheinen nicht gerade verträglich.

Bei der Wahl von Verschlüssen mit derartigen Abmessungen und Eigengewichten, wie beim zweiteiligen Hubtor fallweise vorgesehen, ist ferner dem zwangsläufigen Verschleiß von Lauf- und Führungseinrichtungen sowie der Huborgane (Ketten) in Anbetracht der Bewegungshäufigkeit besondere Beachtung zu schenken. Die wünschenswerte Weiterentwicklung dieses Verschlusstyps ist daher mehr vom Schleusen- als vom Wehrbetrieb her anzustreben.

Die bisher mit dem zweiteiligen Hubtor nach Art des Hakenschützes und Hubsenktores an den deutschen wie österreichischen Donauschleusen gemachten Betriebserfahrungen haben dessen Eignung unter den dort gegebenen örtlichen Verhältnissen und bei dem dort gewählten Füll-System erwiesen. Befürchtungen, daß beim Absenken des Oberschützes die ein- und ausfahrenden Schiffe die Überfall-Haube dieses Schützes beschädigen oder durch Schlepp-Trossen am Verschuß hängen bleiben könnten, haben sich nicht bewahrheitet. Dennoch wäre es betrieblich von Vorteil, wenn diesem Tor die Eigenschaft als Fülltor abgenommen und seine Aufgabe auf den reinen Haltungsabschluß beschränkt werden könnte, wo selbst dann das Unterschütz (wie bei Wehranlagen) nur in Ausnahmefällen, beispielsweise in Zeiten der Hochwasserabfuhr, bewegt werden müßte.

6. Umlaufverschlüsse (Schützen)

(inner- und außerhalb der Tore)

Als den Schleusenverschlüssen zugehörig sind die zum Betrieb von Schleusen zwangsläufig notwendigen Füll- und Entleerungsorgane in Form von Umlaufverschlüssen inner- oder außerhalb der Tore zu betrachten. Ihre Bauart und Ausführung ist mehr oder minder jeweils von dem gewählten Füll- oder Entleerungssystem abhängig.

Für Fallhöhen über 10 m können diese in die Gruppe der Tiefschützen eingereiht werden.

Als geeignete Typen können einfache Rollschützen, Rollkeilschützen, Segment-schützen, Gleitschützen oder Drosselklappen in Frage kommen.

Zylinderschützen als Umlaufverschlüsse in Schleusen sind als mehr oder minder veraltet zu beurteilen und heute nicht mehr gebräuchlich.

Je nach Anordnung zum Bauwerk, der Übertragung des Wasserdruckes, der Lage und Form der Stauwand wie der Dichtungen kann von verschiedenen Bauarten Gebrauch gemacht werden (4).

Gewöhnliche Rollschützen mit der Stauwand auf der Oberwasserseite und den Dichtungen auf der Unterwasserseite sind die für Umläufe aller Art gebräuchlichste Bauart. Sie werden vielfach als einfaches Riegelschütz ausgebildet und tragen an der Seite die erforderlichen Laufrollen. Nur robust gehaltene und spannungsmäßig nicht voll ausgenutzte Konstruktionen können mit Rücksicht auf den durch die Bewegungshäufigkeit unweigerlich auftretenden Verschleiß zur Verwendung kommen. Das gleiche gilt in besonderem Maße hinsichtlich der Dichtungen. Es ist von Fall zu Fall wichtig zu prüfen, ob die Dichtungen ober- oder unterwasserseitig anzuordnen sind.

Wichtig erscheint auch die Ausbildung der unteren Tragriegel am Schützkörper, wobei auf die Vermeidung von Ablösungserscheinungen und entsprechende Schwingungsfreiheit geachtet werden muß (4). Die Riegel sind mit Rücksicht auf die bei Teilöffnung des Schützes auftretenden, pulsierenden Drücke hinter der Schütztafel möglichst hoch anzuordnen. Je dichter der unterste Riegel am austretenden Wasserstrahl liegt, desto größer sind die vertikalen, wechselnden Kräfte auf das Schütz, die bei sehr dichter Anordnung des Riegels an der Schneide zu Schüttschwingungen führen können.

Durch Höchstsetzen der Riegel und entsprechend große Druck-Ausgleichsöffnungen im untersten Riegel können Sogkräfte, die sich ungünstig auf den Antrieb auswirken, weitgehend ausgeschaltet werden. Nach den gemachten Erfahrungen sollten die Kopfdichtungen zweiseitig befestigt sein und möglichst auf die Höhe des Hubweges sich nicht von ihrer Unterlage abheben, da sonst je nach Spaltweite des Schützes mit der Anfachung von Schwingungen gerechnet werden kann. Unzweckmäßig befestigte Dichtungen können zum Verklemmen oder zum Verformen des Gummis führen und auf diese Weise das Schließen des Schützes verhindern. Ein Umstand, der zu höchst unangenehmen Betriebserschwernissen führen kann (3, 4).

Besondere Bedeutung kommt in Umläufen und Schächten der Belüftung des Raumes unmittelbar hinter dem Schütz zu, ebenso der Entlüftung der Umlaufkanäle, um größere Lufteinschlüßungen zu vermeiden. Dem Einfrieren der Ent- und Belüftung im Winter muß durch geeignete Maßnahmen wirksam vorgebeugt werden. Ein absolut sicheres Schließen der Schütze muß aus jeder Stellung und in jedem Betriebszustand (Bewegungs-umkehr) gewährleistet sein.

Gleiche Gesichtspunkte sind im allgemeinen auch für Schützen innerhalb der Tore maßgebend. Auf die Vereisungsgefahr der Hubmittel sei hier besonders hingewiesen. Ferner kann eine zu klein ausgelegte Toskammer stark pulsierende Kräfte auf die Schützen ausüben, die zu unerwünschten Schwingungen führen. Die im Winterbetrieb zum Teil beobachteten Vereisungen entstehen durch Versprühen des Füllstrahles. Durch entsprechende Änderungen der Energievernichter, die den Strahl möglichst ohne Sprühwasserbildung nach unten leiten, können die Vereisungen auf ein Minimum beschränkt werden.

Noch zweckmäßiger erscheint die Verwendung von Rollkeilschützen, die in besonderem Dichtungsrahmen zwangsläufig geführt sind und daher weniger zu

Schwingungen neigen. Bei dieser Schütz-Bauart bedarf die Ausführung der Kopfdichtung besonderer Überlegung. Im übrigen treffen die für einfache Rollschützen maßgeblichen Gesichtspunkte auch auf diesen Verschußtyp zu. Für Schützen innerhalb der Tore ist er jedoch weniger geeignet.

Eine gleichgünstige Lösung ist mit den einfachen Gleitschützen zu erreichen. Diese Schützen bestehen ebenfalls aus einer ebenen Stauwand mit unterwasserseitig liegenden Riegeln. Letztere sind so angeordnet, daß der gesamte Wasserdruck annähernd gleichmäßig auf die einzelnen Riegel verteilt wird. Der auf die Stauwand wirkende Wasserdruck wird von den Riegeln über Endschotte auf Druckstücke und von diesen auf die Gleitschienen übertragen.

Antriebsmäßig führen solche Schützen in Anbetracht der größeren Reibungswerte auch zu größeren Antriebsleistungen, deren Bemessung und Ausführung jedoch bei der Verwendung öl-hydraulischer Druckzylinder keine Schwierigkeiten und übermäßigen Kosten bedingt. Bei größeren Druckhöhen ist die Verwendung von Hochdruck-Gleitschiebern in allumschließenden Stahlgehäusen empfehlenswert.

Allgemein stellen Gleitschützen die wohl robusteste Verschußart dar und sind infolge der großen Reibungskräfte schwingungstechnisch am wenigsten anfällig.

Eine gleichwertige Ausführung stellt auch das Segmentschütz dar. Frei an das Tor angehängte Segmente haben sich indessen nicht bewährt. In einzelnen Fällen ist zu prüfen, ob die Wahl eines Druck- oder Zugsegmentes zweckmäßiger erscheint. Für Umläufe außerhalb des Tores bedingt die Verwendung von Segmenten mit Rücksicht auf deren Ausbaubarkeit größere und geräumigere Schützschächte als bei den übrigen Schützarten. Auch die Antriebsfrage und Lagerung bedarf hier besonderer Überlegung. Der Vorteil geringer Bewegungswiderstände kann bei dieser Schützbauart weitgehend ausgenutzt werden. Das Segmentgeschütz hat bereits vielfache Anwendung erfahren und ist nach anfänglichen Schwierigkeiten mit der Lagerung heute als durchaus bewährter Verschußtyp zu bewerten. Die Verwendung als Zugsegment läßt besondere Vorteile erwarten.

Ganz allgemein sollte bei den vorgenannten Schützen verschiedener Bauart die Verwendung von nichtrostendem Material für alle Dichtungsflächen und auszuwechselnden Einzelteile sowie der ausschließliche Gebrauch von selbstschmierenden Lagerteilen mehr als bisher im Vordergrund stehen. Ein Gegengewichtsausgleich ist beim Antrieb von Umlaufverschlüssen nicht mehr geboten und kann entfallen.

Werden die Umlaufverschlüsse in nach oben völlig dicht abgedeckten Schächten untergebracht, so darf dieser dichte Abschluß nicht durch undichten Beton, in welchem der Dichtdeckel sicher und ausreichend verankert werden muß, entwertet werden.

Die Drosselklappen stellen neben den Gleitschützen wohl die robustesten und am wenigsten stör anfälligen Absperrorgane für Umläufe dar. Wartungsmäßig bedürfen sie des geringsten Aufwandes. Bezüglich der Füllcharakteristik und eventuell auftretender Kavitationserscheinungen am Klappenteller bedürfen sie noch näherer Untersuchung. Sofern es möglich wird, die zum Teil großen Durchflußquerschnitte auch mit geringeren Kostenaufwand zu erstellen, so wäre diese Verschußbauart in jeder Hinsicht als die ideale Lösung zu betrachten.

Im allgemeinen ist jedoch mit einfachen Roll-, Rollkeil- oder Gleitschützen auszukommen. Allerdings nur, wenn den hydrodynamischen Vorgängen, der Schwingungsfreiheit und Verbesserung der Dichtungen wie des zuverlässigen Schließens in allen Betriebszuständen mehr als bisher volle Beachtung geschenkt wird.

Antrieb

Mit der nach dem 2. Weltkrieg in hohem Maße einsetzenden Einführung der Öl-Hydraulik auf dem Antriebssektor hat sich diese auch auf dem Gebiet des Stahlwasserbaues immer mehr durchgesetzt. Vornehmlich bei den Antrieben der Umlauf- oder Schützen-Verschlüsse.

Die Entscheidung der Frage, ob bei Schleusenverschlüssen dem elektro-mechanischen oder dem öl-hydraulischen Antrieb der Vorzug zu geben sein wird, ist abhängig

- a) von der Bauart und den Funktionen des betreffenden Verschlusses,
- b) von der Größenordnung und den Abmessungen des Verschlusses,
- c) von den an den Verschuß und dessen Bewegung zu stellenden Betriebserfordernissen im normalen wie außergewöhnlichen Lastfall sowie im Winterbetrieb.

zu a): Einseitig angetriebene und torsionssteif ausgebildete Verschlüsse sind für den öl-hydraulischen Antrieb besser geeignet, als zweiseitig angetriebene Verschlüsse, für die elektrischer oder mechanischer Gleichlauf in Frage kommt. Ein vollkommener Gleichlauf ist nach dem gegenwärtigen Stand der Technik beim öl-hydraulischen Antrieb noch nicht gewährleistet. Das gleiche gilt auch hinsichtlich der Vermeidung von Lecköl-Verlusten.

Es gibt eine Reihe von Schleusenverschlüssen (siehe Umlaufverschlüsse inner- und außerhalb von Toren), bei denen sich der öl-hydraulische Antrieb unmittelbar anbietet. Hingegen ist bei einer ebenfalls nicht geringen Anzahl von Torverschlüssen der elektro-mechanische Antrieb nach wie vor unbedingt zu bevorzugen.

zu b): Größenordnung und Abmessungen des Verschlusses bestimmen die zu bewältigenden Antriebskräfte. Sie können beim öl-hydraulischen Antrieb ungewöhnliche Abmessungen der Zylinder und Kolben, ungewöhnlich hohe Drücke, Leckölverluste etc. zur Folge haben. Drücke mit über 150 atü sind zu vermeiden, da sie teilweise nicht mehr sicher beherrscht werden können.

zu c) Zur Freigabe des vollen Durchflußquerschnittes in außergewöhnlichen Fällen wie zur Einleitung verhältnismäßig schneller Bewegungen ist der öl-hydraulische Antrieb besser geeignet als der elektro-mechanische. Dies gilt insbesondere dann, wenn häufig mit Ausfall der elektrischen Stromversorgung gerechnet werden muß. Auch die Möglichkeit, mit dem Verschuß gewisse Druckkräfte ausüben zu können, erscheint von Vorteil.

Gewisse Schutz- und Sicherheitsvorrichtungen sind je nach Art und Zweck der Verschußbewegung auch beim öl-hydraulischen Antrieb nicht zu umgehen.

Ein weitgehender wirtschaftlicher Vorteil des öl-hydraulischen Antriebes gegenüber dem elektro-mechanischen Antrieb ist nur in wenigen Fällen gegeben und hängt wesentlich von der Bauart und Betriebsweise der zu bewegenden Verschlüsse ab.

Allgemein wird ein öl-hydraulischer Antrieb dann vorteilhaft, wenn es sich um verhältnismäßig große Kräfte und kleine Wege handelt. Dies aber auch nur dann, wenn der Verschuß regelmäßig und häufig bewegt wird. Für Verschlüsse, die nur selten bewegt werden müssen und dann vielleicht nur im Winterbetrieb, erscheint der öl-hydraulische Antrieb auf Grund gemachter Erfahrungen weniger geeignet. Zumindest sind hierbei gleiche vorbeugende Maßnahmen wie elektrische Beheizung, Verwendung anderer Ölarten etc. erforderlich, wie beim elektro-mechanischen Antrieb.

Lange Rohrleitungen, nicht entsprechend ausgelegte und gelagerte Pumpen, Verunreinigungen der Ventile und Schieber, Bildung von Kondenswasser in Ölbehältern und Leitungsanschlüssen, Bruch von flexiblen Leitungen, veränderliche Konsistenz des Hydrauliköles, ungünstige Temperatureinflüsse, das Auftreten ungewöhnlicher und nicht vorhersehbarer Widerstände, Leckölverluste und deren Ausgleich sowie Undichtigkeiten an Manschetten und sonstigen Dichtungen bilden Gefahrenquellen, die sich beim öl-hydraulischen Antrieb weit unangenehmer auswirken können als beim elektro-mechanischen Antrieb. Hinzu kommt, daß bei letzterem betriebs- und wartungsmäßig alle wichtigen Antriebsorgane viel leichter zu übersehen und unter Kontrolle zu halten sind, als bei einem öl-hydraulischen Antrieb.

Es herrscht die Meinung vor, daß sich ein Schlosser oder angelernter Bedienungsmann in der Bedienung und Pflege eines mechanischen Antriebes viel leichter zurechtfindet als bei hydraulischen Anlagen. Bei den mechanischen Antrieben sind jedenfalls keine Spezialisten notwendig. Die Gefahr völligen Betriebsausfalls ist bei Ölhydraulik größer als beim elektro-mechanischen Antrieb. Je nach den damit verbundenen Folgen kann sich unter Umständen der öl-hydraulische Antrieb von vornherein verbieten.

Alles in allem muß die Verwendung öl-hydraulischer Antriebe von Fall zu Fall sorgfältig geprüft werden. Dabei sollte stets die erforderliche Betriebssicherheit und vornehmlich das Verhalten der Verschlüsse im Winterbetrieb im Vordergrund stehen. Keinesfalls darf ein Stahlwasserbauverschluß antriebstechnisch mit einem Hebegerät oder einer Baumaschine verglichen werden.

Die bisher mit den elektro-mechanischen Antrieben gemachten Erfahrungen geben jedenfalls keinen Anlaß, hiervon grundsätzlich abzugehen und ohne Vorbehalt auf den öl-hydraulischen Antrieb überzugehen.

Vergleichsergebnis

Auf Grund der im einzelnen gekennzeichneten und auf ihre Eignung untersuchten Verschlußarten wird ohne weiteres ein entsprechender Vergleich ermöglicht. Die im Zusammenhang damit stehenden und bei der Wahl der geeigneten Verschlußart maßgebenden Probleme konnten im Rahmen vorstehenden Berichtes nur gestreift werden. Berücksichtigt man diese je nach Maßgabe der besonderen Verhältnisse und möglichen Voraussetzungen so läßt sich folgendes optimales Vergleichs-Ergebnis feststellen:

1. Für Schleusen mit großen Fallhöhen (> 10 m)

Doppel- oder Einfachschleusen

Voraussetzung: Schleusen ohne Umläufe

Füll- und Entleerungsorgane innerhalb der Tore ohne Hochwasser- und Eisabfuhr

Vorschlag für geeignete Kombination:

Oberhauptverschluß: Hubsenktor

Füllung erfolgt durch teilweises Anheben (Füllspalt)

Energievernichtung notwendig

Unterhauptverschluß: Stemmter

Entleerung durch Rollschützen im Tor

Energievernichtung notwendig

Tore jeweils mit mechanischem Antrieb, Schütze mit ölhydraulischem Antrieb

Der Entfall der Umläufe bedingt je nach Fallhöhe hinsichtlich der Ausführung der Verschlüsse gewisse Schwierigkeiten.

2. Wie vor, jedoch Füllung und Entleerung durch Längskanäle mit Stichkanälen bzw. Grundläufen vorausgesetzt
mit Hochwasser-, Geschwemmsel- und Eisabfuhr
Vorschlag für geeignete Kombination:
Oberhauptverschluß: zweiteiliges Hubtor (mit Überfallhaube)
Energievernichtung notwendig
Unterhauptverschluß: Stemmtor
Energievernichtung notwendig
mit Verriegelung
Füll- und Entleerungsorgane für Längskanäle als Rollkeilschützen.
Bei Wegfall der Hochwasser-, Geschwemmsel- und Eisabfuhr:
Oberhauptverschluß: Hubsenk- oder Drehsegmenttor als einfacher Abschluß
Unterhauptverschluß: Stemm- oder einteiliges Hubtor als einfacher Abschluß, ohne Verriegelung.
Verschlüsse für Längskanäle wie vor.
Tore mit mechanischem, Schützen mit öl-hydraulischem Antrieb.
3. im Falle von Sparschleusen
kommen zu Kombination 2. doppelt kehrende Rollschützen für den Abschluß der Zuläufe zu den einzelnen Sparbecken zusätzlich hinzu.
4. Für Schleusen mit geringeren Fallhöhen (< 10 m):
Doppel- oder Einfachschleusen
Voraussetzung: Schleusen ohne Umläufe
Füll- und Entleerungsorgane innerhalb der Tore ohne Hochwasser- und Eisabfuhr.
Vorschlag für geeignete Kombination:
Oberhauptverschluß: Hubsenktor oder Drehsegmenttor
Füllung erfolgt durch teilweises Anheben bzw. Absenken
Energievernichtung notwendig.
Unterhauptverschluß: Stemmtor
Entleerung durch Rollschützen im Tor
Energievernichtung notwendig
Tore jeweils mit mechanischem, Schützen mit öl-hydraulischem Antrieb.
5. wie vor, jedoch Füllung und Entleerung durch Längskanäle mit Stichkanälen oder Grundläufen vorausgesetzt
mit Hochwasser- und Eisabfuhr.
Vorschlag für geeignete Kombination:
Oberhauptverschluß: Hubsenktor oder Drehsenktor
Energievernichtung notwendig.
Unterhauptverschluß: Stemmtor
Energievernichtung notwendig
mit Verriegelung

Bei Wegfall der Hochwasser-, Geschwemmsel- und Eisabfuhr:

Oberhauptverschluß: Hubsenktor oder Drehsegmenttor als einfacher Abschluß.

Unterhauptverschluß: Stemmtor oder einteiliges Hubtor als einfacher Abschluß, ohne Verriegelung.

Verschlüsse für Längskanäle wie vor.

6. Baulich, betrieblich und verschlußmäßig beste Lösung bei großen Fallhöhen (> 15 m).

Voraussetzung:

Füllung und Entleerung durch Längskanäle mit Stichkanälen oder Grundläufen

ohne Hochwasser-, Geschwemmsel- und Eisabfuhr

gegebenenfalls auch mit Sparbecken.

Vorschlag für bestgeeignete Kombination:

Oberhauptverschluß: Hubsenktor

als reiner Abschluß

Unterhauptverschluß: Einteiliges Hubtor

als reiner Abschluß

jeweils ohne Energievernichtung

für Längskanäle: Hochdruck-Gleitschützen

für Sparbecken: doppelt kehrende Hochdruck-Gleitschützen

Antriebe für Tore: mechanisch

Antriebe für Schütze: öl-hydraulisch

Andersgeartete Verschlüsse erscheinen zum gegenwärtigen Zeitpunkt für die aufgezeigten Kombinationen ungeeignet.

Schlußbetrachtung

Allgemein sei festgestellt, daß die Erfordernisse eines ungestörten Winterbetriebes mit den zum Vergleich gestellten Verschlußbauarten künftig mehr im Vordergrund stehen sollten als bisher, wenn der Verkehr auf Binnen-Wasserstraßen von längeren Schiffahrtssperren unabhängig und daher mit anderen Verkehrsträgern noch konkurrenzfähig gehalten werden soll.

Das Vergleichs-Ergebnis soll ferner zu der Überlegung anregen, daß es auf Grund der bisherigen Erfahrungen zweckmäßiger ist, sich in der Zukunft auf eine Weiterentwicklung und Verbesserung der genannten Tor-Bauarten zu beschränken, anstatt neue, zwar gut durchdachte, aber kompliziertere Lösungen in den Wettbewerb einzuführen. Dem Streben nach möglichst einfachen, betrieblich unempfindlichen, robusten und im Dauerbetrieb sich bewährenden Verschluß-Bauarten ist damit in keiner Weise gedient.

Hinsichtlich des Antriebes der Verschlüsse ist festzustellen, daß ein weitgehend wirtschaftlicher Vorteil des öl-hydraulischen Antriebes nur in wenigen Fällen gegeben ist und wesentlich von der Bauart sowie der Betriebsweise der Verschlüsse abhängt. Ein öl-hydraulischer Antrieb ist nur dann vorteilhaft, wenn es sich um relativ große Kräfte und kleine Wege handelt. Dies aber auch nur dann, wenn der Verschluß regelmäßig und

häufig bewegt wird. Die bisher mit den elektro-mechanischen Antrieben gemachten Erfahrungen geben keinen Anlaß, hiervon grundsätzlich abzugehen und ohne Vorbehalt auf den öl-hydraulischen Antrieb überzugehen.

b) Neue Methoden der Füllung und Entleerung

Wirtschaftlichkeit und die Notwendigkeit zur Bewältigung der immer größer werden den Verkehrsmengen erfordern es, auch den Füll- und den Entleerungsvorgang bei der Schleusung so schnell wie möglich auszuführen, selbst unter Berücksichtigung der Tatsache, daß bekanntermaßen das Ein- und Ausfahren der Schiffe in die Schleuse und ihr Einordnen im allgemeinen eine wesentlich größere Zeit erfordern als der eigentliche Schleusungsvorgang. Dieses Bestreben ist nicht neu, es umfaßt die darauf gerichtete Entwicklung eigentlich bereits die ganze Zeit seit der Erfindung und Einführung der Schiffschleuse. Nur ist eine Schwierigkeit dabei zu überwinden. Dem Schiff und den Einrichtungen zur Sicherung des Schiffes und der Schleuse darf während der Schleusung kein Schaden zugefügt werden. Die Maßnahmen zur Verhinderung dieser Schäden sind vom jeweiligen Stande der allgemeinen Ingenieurbauentwicklung, aber auch von der Wirtschaftskraft, d. h. von der wirtschaftlichen Tragbarkeit der Vorschläge, abhängig. Es ist immer das Beste und Billigste gut genug.

Es ist bekannt, daß in Frankreich beim Großen Elsässer Kanal und an der Rhône und in den USA für Iceharbour u. a. die Entwicklung technisch einwandfrei wirkender Schiffschleusen mit einer mittleren Hubgeschwindigkeit von 3 m/min und mehr gelungen ist. Der technische Aufwand hierfür ist nicht gering und es fragt sich, sind annähernd oder evtl. gleiche Leistungen mit einfacheren Mitteln zu erreichen?

Außerdem ist ein weiterer Gesichtspunkt zu berücksichtigen. Wenn auch — wie ebenfalls bekannt ist — die Leistungsfähigkeit einer Schleuse nicht im gleichen Ausmaß wie die Vergrößerung ihrer Länge wächst, d. h. die kürzere Schleuse verhältnismäßig leistungsfähiger ist als die lange Schleuse, so zwingt doch das immer stärkere Aufkommen der Schubzüge, die ein Vielfaches der Länge von Einzelschiffen (Selbstfahrer) erreichen, zur Ausführung so langer Schleusen, daß der Schubzug zur Schleusung nicht auseinander genommen zu werden braucht. Da die Entwicklung dieser Schubzüge und ihrer Einheiten noch nicht am Ende ist, ist es heute schwer, schon für die Zukunft gültige Abmessungen festzulegen. Nur muß vorderhand die Entwicklungsrichtung zur längeren Schleuse beachtet werden.

Die Art der Füllung und Entleerungseinrichtungen der Schleuse ist letztlich auch von der allgemeinen Bauweise der Schleuse — ob Massivschleuse oder Spundwandschleuse — abhängig. Im allgemeinen und dort, wo sie technisch Anwendung finden kann, ist die Spundwandschleuse wirtschaftlich der Massivschleuse überlegen.

Den folgenden Überlegungen und Untersuchungen an einem Modell 1:25 liegt zugrunde: eine Spundwandschleuse von 235 m Länge, 12 m Breite, 10 m Hubhöhe und 3,50 m Schleusen- und Drempeltiefe in einem Flußlauf mit genügender Wasserführung. Auf die sekundären Erscheinungen, vor allem Schwall- und Sunk, infolge der plötzlichen Füll- und Entleerungswassermengen im Fluß oder in den Vorhäfen, die einer besonderen Untersuchung bedürfen, soll hier nicht eingegangen werden. Da die Schleusenentleerung — mit der Einschränkung der Sparschleusen — im allgemeinen leichter und schneller ausführbar ist als die Schleusenfüllung, soll auch im folgenden die Schleusenfüllung besonders bevorzugt dargestellt werden.

Im Vergleich zu der Füllung durch Längs- und Stichkanäle oder durch Grundläufe mit Stichkanälen ist die umlauflose Füllung entweder durch die Bewegung des Obertores oder durch Füllöffnungen im Obertor wirtschaftlicher. Die dabei auftretenden Strömungs-

kräfte auf das Schiff können bis zu Schleusenlängen von 110 bis max. 150 m beherrscht werden. Die dabei erzielbaren mittleren Hubgeschwindigkeiten sind noch durchaus annehmbar. Für größere Längen fällt die erreichbare Hubgeschwindigkeit ab und man ist zur Erzielung einer tragbaren Hubgeschwindigkeit gezwungen, zur Füllung durch Längs- und Stichkanäle oder Grundläufe und Stichkanäle überzugehen. Für eine Spundwandschleuse fällt die Füllung durch Längs- und Stichkanäle als ungünstig durchführbar aus, so daß nur die Füllung durch Grundläufe übrig bleibt. Für die bei langen Schleusen und schneller Füllung zu erwartenden großen Querschnittsabmessungen dieser Grundläufe bietet sich bei einer Spundwandschleuse der weite Raum unter der Sohle zwischen den Spundwänden sehr günstig an, also eine Schleuse mit doppeltem Boden. Zur Verfügung steht theoretisch die gesamte Breite zwischen den Spundwänden. Eine Beschränkung braucht nur konstruktiven Notwendigkeiten bei der Einzelplanung vorbehalten bleiben.

Im folgenden soll untersucht werden, ob es notwendig ist, diese Grundläufe über die ganze Schleusenlänge auszudehnen oder ob es möglich ist, sie nur auf ein Teilstück (etwa $\frac{1}{3}$ der Schleusenlänge) auszuführen. Der maßgebende Grundgedanke ist dabei, die vorhandene Schleusenlänge durch den Grundkanal so weit hydraulisch zu verkürzen, daß es möglich wird, die Restlänge umlauflos zu füllen. Im einzelnen bedeutet dies:

Füllen vom Obertor, Abwärtsführen der Wassermenge zwischen Stirnwand der Schleuse und einer anzuordnenden Prallwand mit unmittelbarer Einführung in den breiten Grundlauf in der Sohle. Aus diesem gehen die Stichkanäle durch die Decke in den freien Schleusenraum. Sie werden auf die ganze vorhandene Länge verteilt und so dimensioniert, daß dieses erste Schleusendrittel aus diesen Stichkanälen gefüllt wird. Die Hauptmasse der Füllwassermenge wird jedoch in etwa $\frac{1}{3}$ der Schleusenlänge in leichter Aufwärtsführung unmittelbar geschlossen in den Schleusenraum eingeführt, ähnlich wie bei der umlauflosen Füllung (Bild 5).

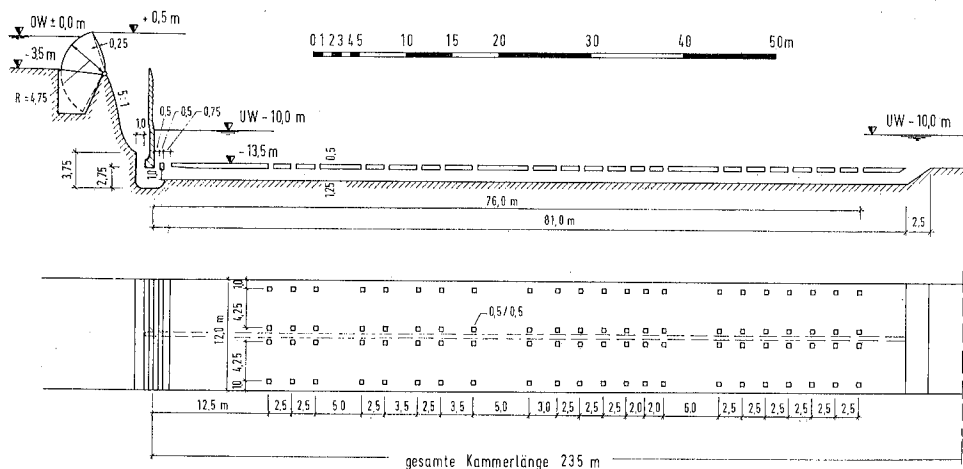


Bild 5
Grundlauf über $\frac{1}{3}$ der Kammerlänge mit lotrechten Stichkanälen

Der Wassereintritt am Obertor kann entweder durch Unterströmen des Tores oder durch Überfall über das Tor geschehen. Bei beiden läßt sich für große Wasserführungen ein wesentlicher Lufteinzug nicht vermeiden. Das führt zu explosionsartigem Luftaustritt durch die vordersten Stichkanäle und unruhigem Liegen des Schiffes. Es war daher das

erste Erfordernis, wenig Luft mitzureißen, die dennoch mitgeführte Luft vor Eintritt in den freien Schleusenraum wiederum zu entfernen, bzw. den Rest in der Schleuse schon vor dem Schiffsbug nahe der Prallwand hochzuführen. Das Ergebnis längerer Untersuchungen ist ebenfalls in Bild 5 enthalten. Durch die zweimalige Mithilfe angefachter Strömungswalzen wird die Luft zur freien Oberfläche hochgetrieben und der dennoch in den Grundlauf eintretende Rest hat nicht mehr die Kraft, das Schiff ernstlich zu stören. Das Ergebnis war eine erzielbare größte mittlere Hubgeschwindigkeit von 1,25 m/min. Den Verlauf der während des Füllvorganges auf das Schiff ausgeübten Längs- und Querkräfte zeigt Bild 6. Der Abstand des Schiffes von der Prallwand betrug dabei rd. 3,50 m.

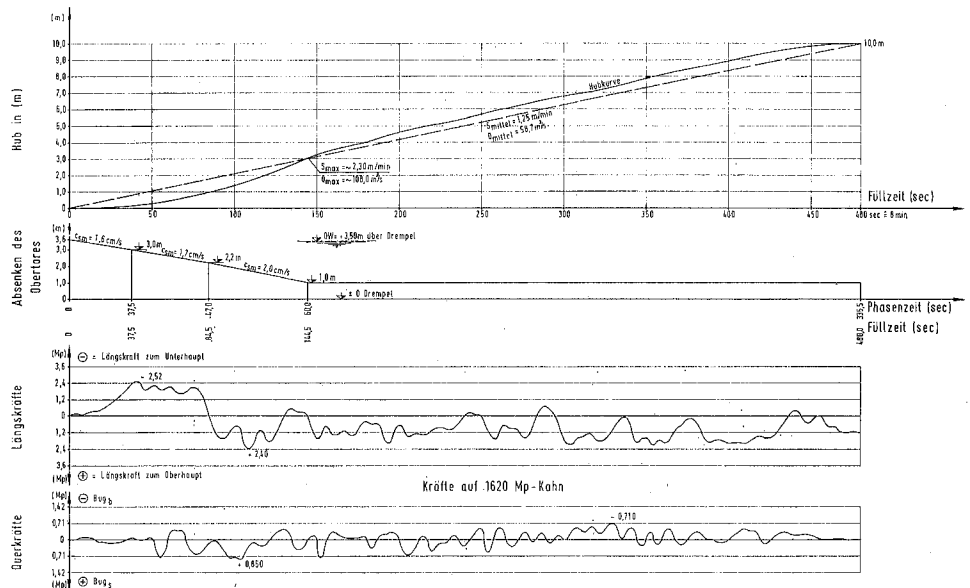


Bild 6
Füllung mit freiem Überfall über Obertor

Als Vergleichsschiff wurde ein solches von 1 620 t Gesamtgewicht verwendet. Die noch zulässige Längskraft beträgt daher

$$\frac{\text{Schiffsgewicht}}{500 \text{ bis } 700} = \frac{1\,620}{600} = 2,7 \text{ t.}$$

Die maximal auftretende Querkraft darf $\frac{1}{2}$ dieses Betrages, das ist 1,35 t, nicht überschreiten. Werden diese beiden Grenzwerte nicht überschritten, ist gemäß sehr vieler Erfahrungswerte mit einer hinreichend sicheren Schleusenfüllung in der Natur zu rechnen.

Die aufgetretenen Maximalwerte, in Naturwerte umgerechnet, betragen bei Wassereintritt durch Überfall über das Obertor:

Längskräfte: 2,52 t in Richtung zum Unterhaupt
2,40 t in Richtung zum Oberhaupt

Querkräfte: 0,71 t in Richtung Backbord
0,85 t in Richtung Steuerbord.

Die Senkgeschwindigkeiten des Tores waren dabei 1,6 cm/s, 1,7 cm/s und 2,0 cm/s.

Den Füllvorgang zeigen die Bilder 7 im Zeitabstand 50 s und 400 s nach Beginn der Schleusung. Das Wasser fällt angeschmiegt in den Beruhigungsraum vor der Prallwand

und verliert hier und vor dem Bug seine mitgeführte Luft. Gegen Ende der Füllung geht ein Teil des Füllwassers über die Prallwand ohne das Schiff nachteilig zu treffen, da im Schleusenraum eine gegendrehende Walze herrscht.

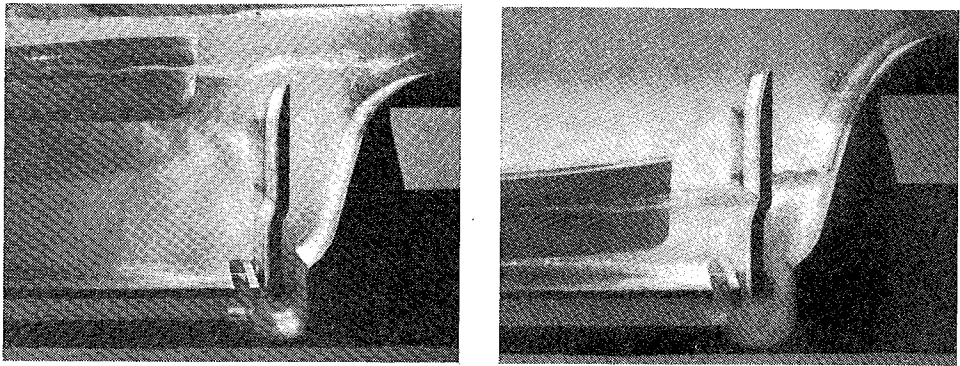


Bild 7
Füllung durch Überfall über Obertor 50s und 400s nach Beginn

Ein Versuch, den Wasserüberfall über das Tor zu vermeiden und durch eine besondere Torkonstruktion den Wasserdurchtritt an der Drempe/sohle herbeizuführen, brachte keine wesentliche Besserung. Eine solche wurde jedoch davon erwartet, wenn durch ein Tiefschütz der Wasserabschluß unter dem Unterwasserspiegel geschieht (Bild 8).

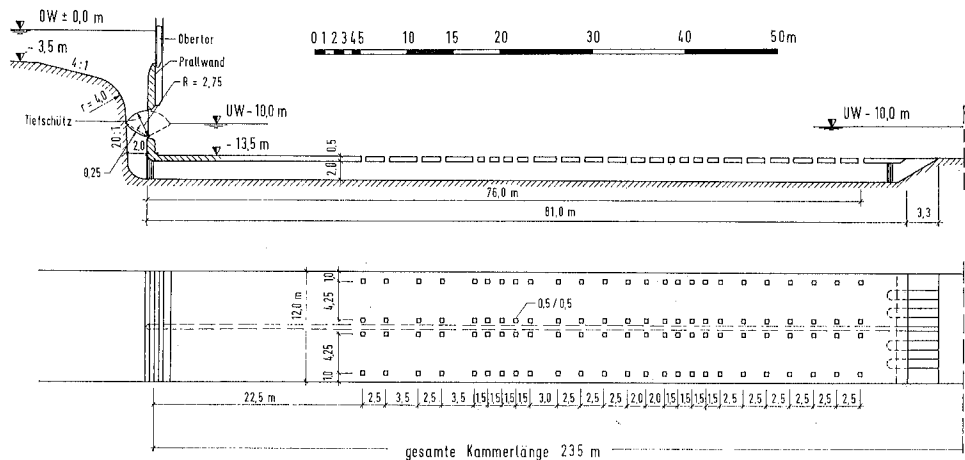


Bild 8
Tiefschütz und Grundlauf über $\frac{1}{3}$ der Kammerlänge mit lotrechten Stichkanälen

Die Füllzeit konnte dadurch noch weiter verbessert werden. Es ergab sich bei sonst ähnlicher Anordnung eine größte mittlere Hubgeschwindigkeit von 1,50 m/min. Die Anordnungen zur Luftabscheidung konnten dabei natürlich eingespart werden. Die Grundlaufhöhe wurde dabei von 1,25 m auf 2,00 m und die Fläche der Stichkanäle von 22 m² auf 25 m² vergrößert und gedrängter angeordnet. Um den Betrieb nicht gleichzeitig von zwei Einrichtungen (Obertor und Tiefschütz) abhängig zu machen, ist es zweckmäßig, eine Obertorkonstruktion in Verbindung mit der Prallwand anzuordnen und die ganze

Schleusenanlage im Notfall durch einen Notverschluß im Oberdrempel trocken zu legen. Den Verlauf der Längskraft, Querkraft und die Hubkurve zeigt Bild 9. Die Kräfte bleiben in den zulässigen Grenzen sowohl für eine Lage des Schiffes 3,50 m entfernt von der Prallwand, in der Schleusenmitte und am unteren Ende der Schleuse.

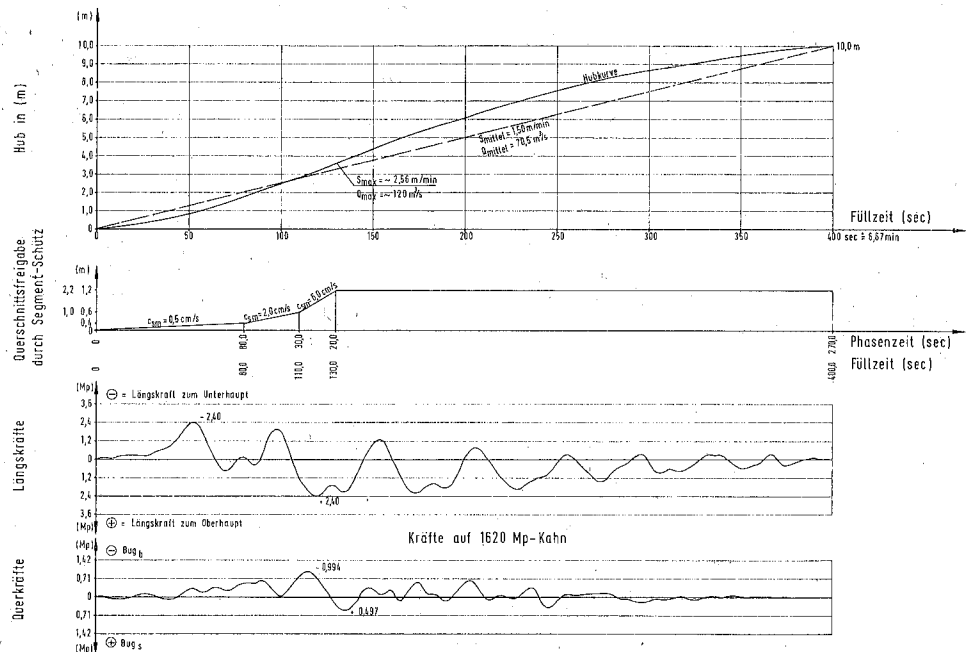


Bild 9
Füllung durch tief liegendes Segment-Schütz

Damit war gut die doppelte mittlere Hubgeschwindigkeit erreicht, die sonst für diese lange Schleuse bei umlaufloser und einseitiger Füllung sich ergeben hätte. Es ist also möglich, auch lange Schleusen durch Ausführung des Grundlaufes nur über eine Teillänge der ganzen Schleusenlänge hydraulisch so zu verkürzen, daß eine umlauflose einseitige Schleusenfüllung noch mit Vorteil anwendbar ist und zu beachtlich großen Füllgeschwindigkeiten führt.

Soll die mittlere Hubgeschwindigkeit noch weiter gesteigert werden, so müssen bei einseitiger Füllung die Grundläufe über die ganze Schleusenlänge angeordnet werden. Das hat weiter den Vorteil, daß diese Grundläufe auch gleichzeitig die Schleusenentleerung übernehmen und diese beschleunigen.

Bei einer beabsichtigten schnellen Füllung ist es unbedingt notwendig, daß alle Stichkanäle aus den Grundläufen nahezu zu gleicher Zeit anspringen. Das erfordert das Abgehen von einer gleichmäßigen Verteilung dieser Stichkanäle über die ganze Schleusenlänge und ihre Konzentration entweder in Schleusenmitte oder in den Schleusenviertelpunkten oder bei noch stärkerer Unterteilung in den Mittelpunkt der entsprechenden Schleusenabschnitte. Damit die Druckerhöhung zum Ausfluß der Stichkanäle in jedem Speisungsabschnitt gleichzeitig ankommt, muß jeder solche Abschnitt von einer gemeinsamen Verteilung aus seine gesonderte Wasserzuleitung haben. Es darf auf keinen Fall ein Abschnitt erst nach einem anderen versorgt werden. Im vorliegenden Falle genügte die Unterteilung der Schleusenlänge in zwei Versorgungsabschnitte, d. h. die Stichkanäle müssen sich um die Viertelpunkte der Schleusenlänge gruppieren.

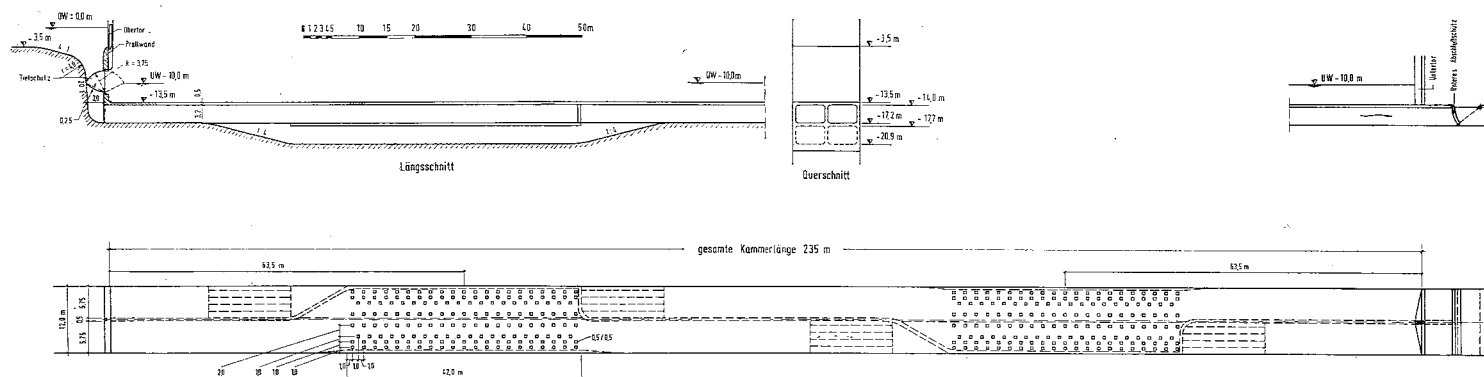


Bild 10
Zwei Grundläufe über die gesamte Kammerlänge mit lotrechten Stichkanälen um die Viertelpunkte der Kammer gruppiert

Bei einer anderen vorübergehenden Untersuchung ergaben sich diese Punkte besser in einem Abstand von den Schleusenenden von $0,27 \times$ Schleusenlänge. Dies wurde daher im vorliegenden berücksichtigt. Den gemeinsamen Wasserabschluß muß wiederum ein Tiefschütz übernehmen. Nach Durchströmen desselben tritt das Wasser in den gemeinsamen Grundlauf ein, der alsbald durch eine Trennwand in der Mitte der Schleuse in die beiden Zuführungskanäle unterteilt wird. Da die Stichkanäle jedes Versorgungskanals im entsprechenden Versorgungsabschnitt über die ganze Breite der Schleuse angeordnet werden müssen — um Querströmungen zu vermeiden — ergibt sich die Notwendigkeit der Unterdükerung jedes Grundlaufes unter einem solchen Stichkanalabschnitt. Die Trennwand der beiden Grundläufe setzt sich bis zum gemeinsamen Abschlußschütz gegen das Unterwasser fort. Von da ab kann das Entleerungswasser zum Fluß oder in den Unterhafen geführt werden. Die Anordnung im einzelnen zeigt Bild 10.

Für die Konstruktion des Tiefschützes gibt es einige Möglichkeiten, wie in Bild 11 dargestellt.

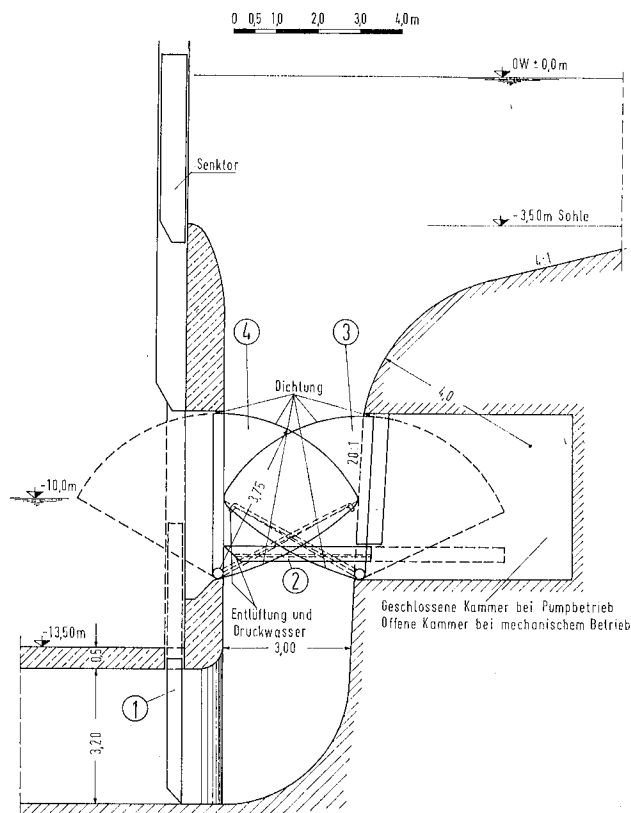


Bild 11
4 Varianten der Tiefschützen

Der Untersuchung wurde die einfachste Konstruktion zugrunde gelegt, ein Segmentverschluß, bei dem eine Seitenwand außerdem voll ausgeführt wird. Die Drehachse geht auf die ganze Länge durch. Es ist zweckmäßig, den Verschluß in Höhe des Unterwassers zu belassen, um die Ausbildung eines Unterdruckes an der vollen Seitenwand zu umgehen. Dadurch kommt aber das Gelenk dauernd in das Unterwasser. Soll das

zur leichteren Überwachung vermieden werden und das Gelenk über Unterwasser gelegt werden, sollte, mit dem Schütz verbunden, ein besonderes Rohr in den obersten Wasserzwickel unter dem Schütz eingeführt werden, das einmal der Entlüftung der sich dort ansammelnden Luft dient und außerdem knapp vor der Öffnung des Schützes Druckwasser einführt, um das Unterdruckgebiet zu zerstören. Ein gewisser Unterdruck ist während der ruhenden Verschlussstellung des Schützes erwünscht. Er dient einer festen Verschlussstellung des Schützes.

Von der Anordnung besonderer Füllbatterien nach Art von Iceharbour wurde bewußt abgesehen, weil dadurch die Grundläufe noch weiter in die Tiefe gedrückt würden. An ihrer Stelle wurden die einfachen Stichkanalöffnungen in der Decke klein gehalten ($0,50/0,50 \text{ m} = 1/4 \text{ m}^2$), um die Wucht der aus der Einzelöffnung ausströmenden Wassermenge klein zu halten. Das Ergebnis hat dieser Überlegung recht gegeben. Günstig wird sich in dieser Beziehung auch die Empfehlung des Bundesverkehrsministeriums auswirken, bei neuen Schleusen eine Mindesttiefe von 4,00 m an Stelle von 3,50 m — wie bisher — anzuordnen.

Mit der in Bild 10 skizzierten Anlage wurde eine mittlere Füllgeschwindigkeit von 3,0 m/min erreicht unter Einhaltung der zulässigen Grenzen für die Strömungslängs- und -querkräfte auf das Schiff (Bild 12).

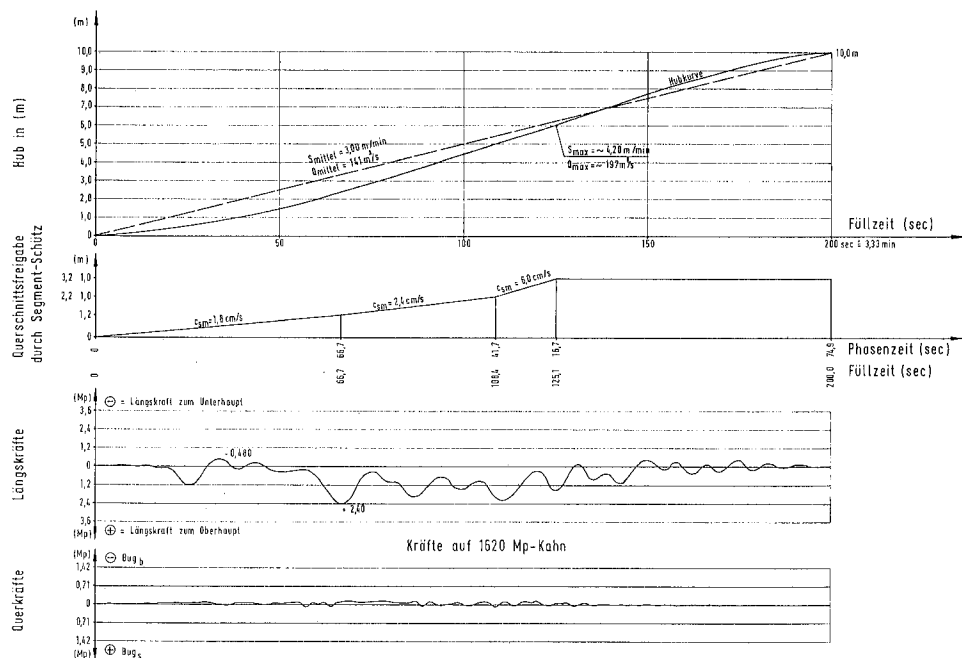


Bild 12
Füllung durch tiefliegendes Schütz und Grundläufe mit Stichkanälen

Die Dimensionierung des Grundlaufes geschah dabei nach dem beabsichtigten Schleuseninhalt $Q_{\text{mittel}} = \frac{\text{Schleuseninhalt}}{\text{Füllzeit}}$ so, daß dieses Q_{mittel} im Grundlauf mit einer Geschwindigkeit von 3,50 bis 3,75 m/s fließt.

In der Untersuchung zeigte sich eine geringe Reflexionswirkung, die von einer zu geringen Wasserversorgung des vordersten Schleusenviertels herrührte. Es ist daher zweckmäßig, den etwas gegen die Mitte verlegten Schwerpunkt der vorderen Stichkanäle (Abstand vom Schleusenende = $0,27 \times \text{Schleusenlänge}$) im $1/4$ -Punkt der Schleusenlänge zu belassen.

Für die rückwärtige Gruppierung der Schleusenkanäle kann es bei der Entfernung $0,27 \times \text{Schleusenlänge}$ verbleiben. Die Summe der Stichkanalquerschnitte betrug das $2\frac{1}{4}$ -fache der Querschnittsfläche der Grundläufe. Es sollte aber besser das $2\frac{1}{2}$ -fache angeordnet werden, bei etwas stärkerer Konzentration. Eine weitere Steigerung der mittleren Hubgeschwindigkeit bei Vergrößerung der Abflußquerschnitte ist möglich, erscheint aber für ihre praktische Anwendung z. Z. kaum notwendig. Bei einer weiteren Steigerung der Hubgeschwindigkeit — oder einer größeren Schleusenlänge — würde sich eine weitere Unterteilung der Schleusenlänge in 3 anstatt 2 Versorgungsabschnitte empfehlen.

Für den Fall einer Sparschleuse sei berichtet von der Untersuchung für den dritten Abstieg des Dortmund-Ems-Kanals bei Henrichenburg, die bereits im Jahre 1957 abgeschlossen war. Diese Sparschleuse kam nicht zur Ausführung, da ein Hebewerk gebaut wurde. Aus diesem Grunde war bisher von einer Veröffentlichung abgesehen worden. Diese Schleuse hatte seinerzeit nur Aussicht auf Erfolg, wenn sie u. a. ebenso schnell wie ein Hebewerk arbeitet, also für die damalige Zeit eine mittlere Hubgeschwindigkeit von ca. 3 m/min. Die nutzbare Schleusenlänge betrug 90,00 m, die Schleusenbreite 12,00 m, die Hubhöhe 13,75 m. Durch den umgehenden Bergbau nimmt die Hubhöhe innerhalb von 80 Jahren auf 5,75 m ab, Schleusentiefe 3,50 m, Drempeltiefe 3,50 m.

Vier offene Sparbecken auf jeder Seite der Schleuse, die paarweise wirken, also so, als ob insgesamt nur 4 Sparbecken vorhanden wären, mögliche Wasserersparung rd. $\frac{4}{6} = 67\%$.

Die allgemeine Planung zeigt Bild 13.

Die Schleusenfüllung und -entleerung geschah, wie oben, durch Grundläufe, und zwar aus der Schleusenmitte. Die Stichkanäle wurden noch nicht in der Mitte der beiden Versorgungsabschnitte (Viertelpunkte) massiert, sondern etwa gleichmäßig verteilt über die Schleusenlänge angeordnet. Die Restfüllung geschah durch Anheben des oberen Hubtores aus dem Oberwasser, die Restentleerung durch Anheben des unteren Hubtores in das Unterwasser.

Bei Betätigung der Füllschützen hintereinander — d. h. das Schütz für ein oberliegendes Becken wird erst geöffnet, wenn das untere Becken sein Füllwasser vollkommen abgegeben hat — konnte eine Annäherung an die beabsichtigte mittlere Hubgeschwindigkeit von 3 m/min nicht erreicht werden, da die notwendigen Zeiten für die jeweilige Restausspiegelung zur Entleerung jedes Sparbeckens unnötig die Gesamtfüllzeit vermehrten. Dies gelang erst durch das Ausnutzen eines Kunstgriffes, der Ejektorwirkung fließenden Wassers in einer geschlossenen Leitung. Beim Vorbeifließen von Wasser an einer anderen Seiteneinmündung wird ein Sog auf diese Einmündung ausgeübt, der den Abfluß aus dieser Nebeneinmündung verstärkt. Genau das gleiche sollte im vorliegenden Fall zur Beschleunigung der langwierigen Restausspiegelung des Unterbeckens ja erreicht werden. Das bedeutete im vorliegenden Fall das Öffnen des Schützes des oberliegenden Sparbeckens vor dem Schließen des Schützes des unterliegenden Sparbeckens, also eine übergreifende Bedienung der Füllschützen. Die Ejektorwirkung war so groß, daß ohne rechtzeitiges Schließen des unteren Schützes die untere Sparkammer weit unter ihren vorher bestimmten festen Wasserstand abge-

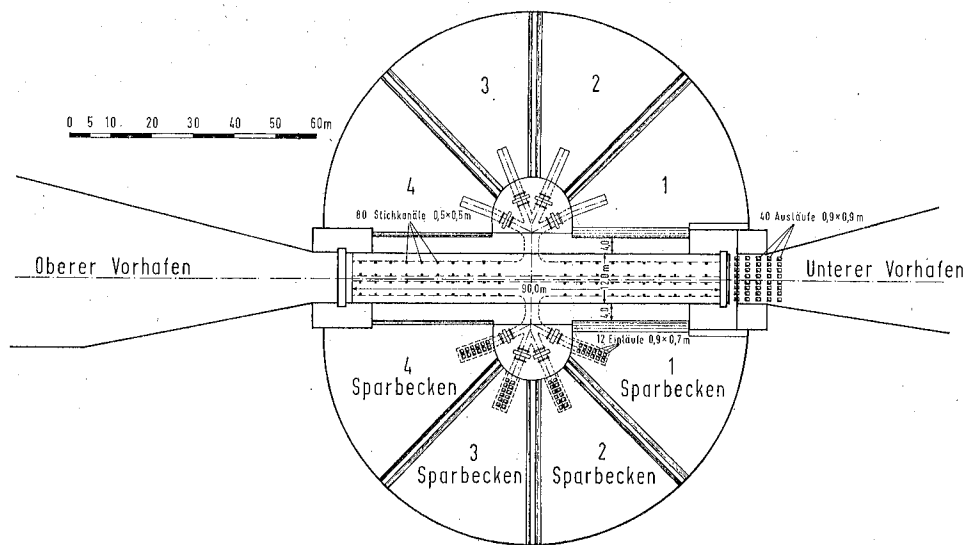


Bild 13
Sparschleuse Henrichenburg im Grundriß

saugt worden wäre. Es mußte daher ein besonderer Schützen-Bedienungsplan eingezeichnet werden, was durch elektronische Steuerung der Schützen ohne weiteres möglich war. Bild 14 zeigt das Ergebnis sowohl für die Schleusenfüllung als auch für die Schleusenentleerung.

Es wurde erreicht, daß die Hubkurve nahezu eine Gerade bleibt, daß also Änderungen des $\frac{dQ}{dt}$ — also Änderungen der Schleusungswassermenge mit der Zeit — die die besondere Veranlassung für Gefälleschwankungen und damit Wasserspiegelschwingungen in der Schleuse sind, außerordentlich klein gehalten werden konnten. Durch die Sparbecken selbst wurden kaum nennenswerte Strömungskräfte auf das Schiff verursacht. Es fällt auf, daß Kräfte erst durch die Restentleerung in das Unterwasser in den Schleusungsvorgang eingetragen werden. Um zu zeigen, wie groß die Einsparung an Füll- und Entleerungszeit durch die Ausnutzung der Ejektorwirkung und der dadurch bedingten übergreifenden Schützenbedienung sein kann, wurde für die gleichen äußeren Bedingungen — aber ohne übergreifende Schützenbedienung — die notwendige Füll- und Entleerungszeit ermittelt. Die Füllzeit wird von 285 s auf 550 s und die Entleerungszeit von 334 s auf 656 s vergrößert, ohne daß die auftretenden Kräfte vermindert werden. Die mittlere Hubgeschwindigkeit sinkt von 2,90 m/min auf 1,50 m/min und die mittlere Entleerungsgeschwindigkeit von 2,47 m/min auf 1,28 m/min.

Eine Untersuchung für eine Sparschleuse muß den Fall mit einschließen, daß das eine oder andere Sparbecken im Betrieb ausfällt. Wie ändern sich die Zeiten und der dann notwendige Betrieb? Von diesen Untersuchungen soll hier nur gesagt werden, daß der Schleusungsbetrieb trotzdem mit nur geringen Zeitverlängerungen aufrechterhalten werden kann. Auch die Berücksichtigung einer so einschneidenden Naturgegebenheit wie das Abnehmen der Schleusenhubhöhe durch den Bergbau von 13,75 m auf 5,75 m konnte nach Ausschalten des obersten Sparbeckens gelöst werden. Die dabei im Laufe der Jahre zu beobachtenden oberen und unteren Wasserspiegellagen in den Sparbecken bringt Bild 15.

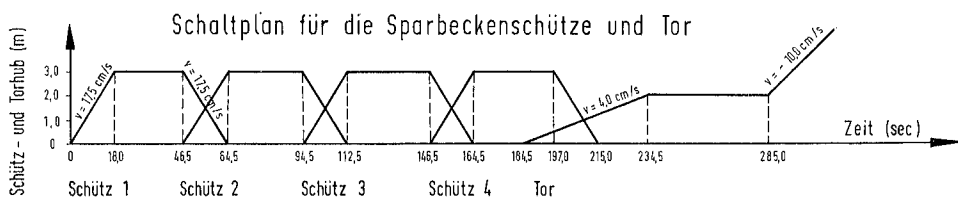
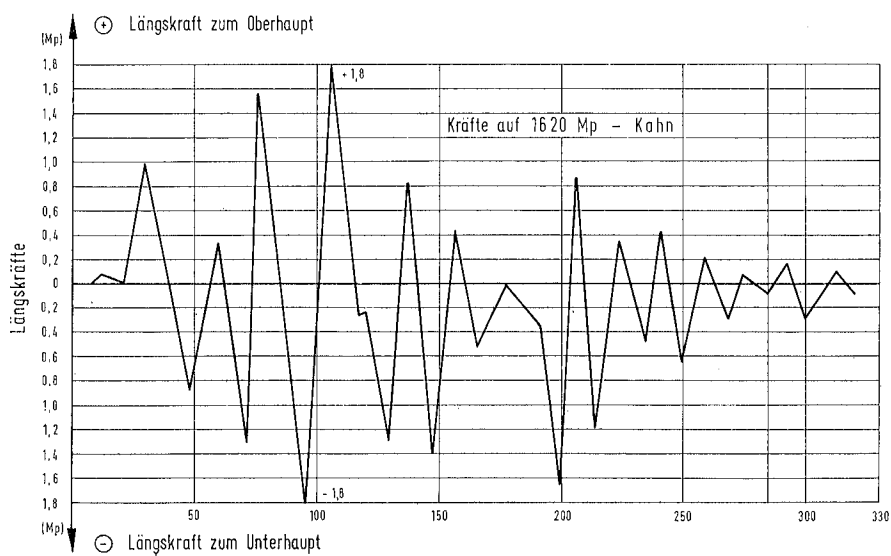
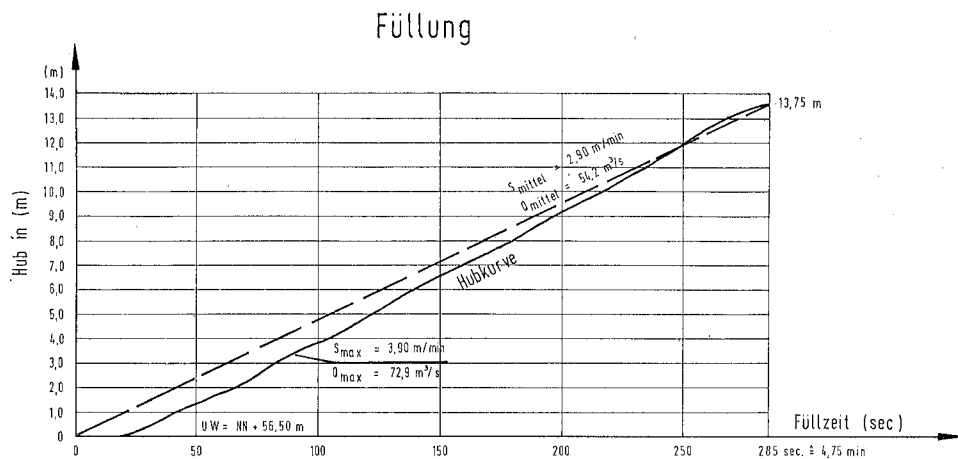


Bild 14a
Füllung der Sparschleuse

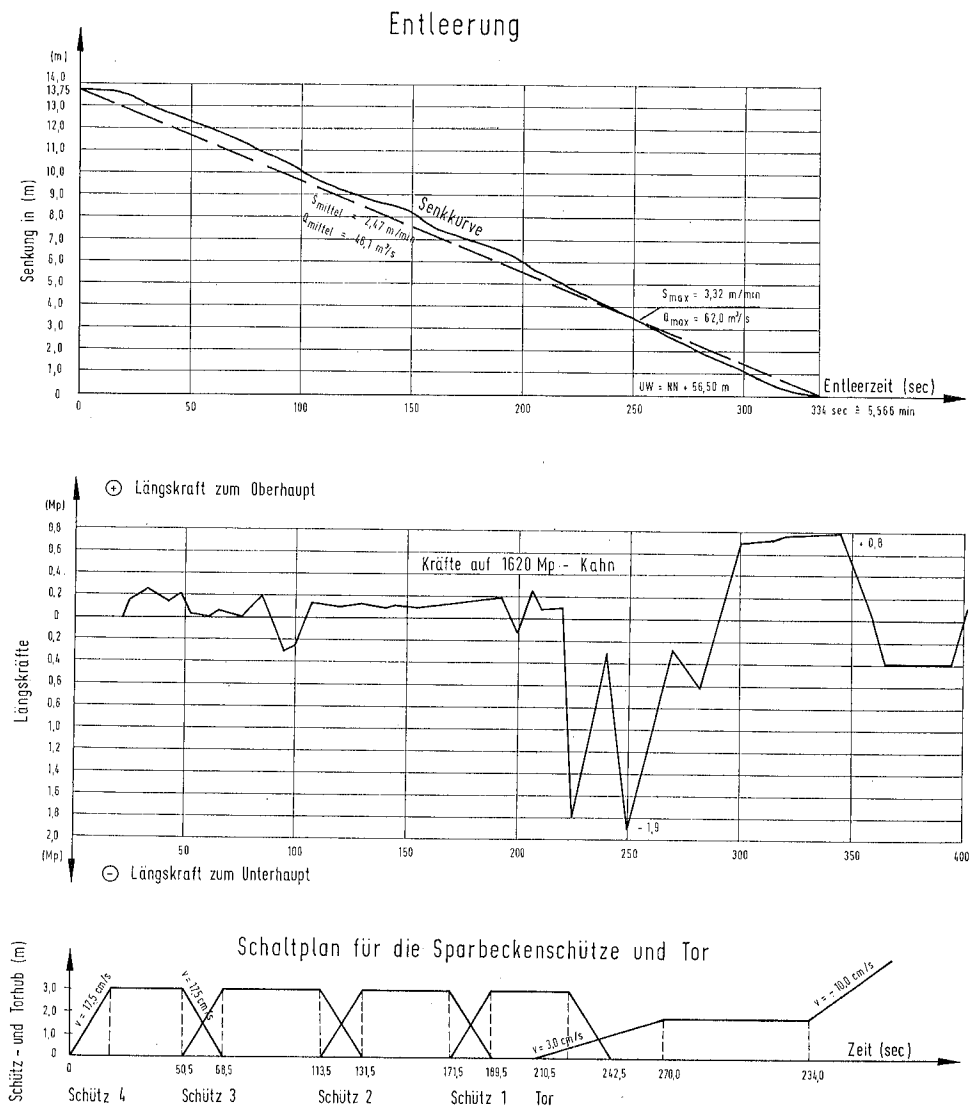


Bild 14 b
Entleerung der Sparschleuse

Wie bereits erwähnt, wurden die maßgebenden Kraftwirkungen auf das zu schleusende Schiff erst durch die Restfüllung und -entleerung eingetragen. Dies ist erklärlich, weil dabei die Füllungsart (oder Entleerungsart), die von den Sparbecken her aus der Mitte heraus zweiseitig geschieht, umgeändert wird in eine einseitige Füllung oder Entleerung. Hierbei kommen die Stichkanäle auf die ganze Schleusenlänge erst nacheinander zur Wirkung. Dadurch mußten Wasserspiegelschwingungen in den Schleusenvorgang eingetragen werden. Dieser Nachteil kann weitgehend verhindert werden, wenn nach dem weiter vorn Gesagten die Stichkanäle in den Viertelpunkten massiert werden und für die Restfüllung oder -entleerung die Grundläufe zu diesen Stichkanalgruppen —

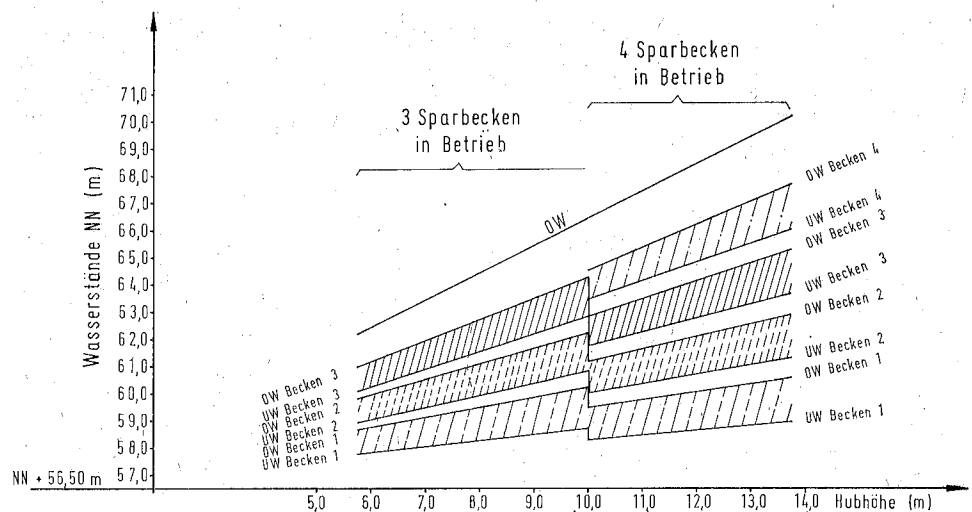


Bild 15
Sparbecken-Wasserstände in Abhängigkeit von der Hubkurve

wie oben beschrieben — voneinander getrennt werden. Für die vorliegende Sparschleuse könnten mit Sicherheit mittlere Hub- oder Sinkgeschwindigkeiten von 4 bis 4,5 m/min erreicht werden, also Geschwindigkeiten, die dem Hebewerk nicht nachstehen.

d) Obere und untere Vorhäfen

Allgemeines

Der Vorhafen dient in der Hauptsache einer sicheren Zufahrt zur Schleuse. Seine Abmessungen müssen so gewählt werden, daß die Einfahrtverhältnisse vom Strom in den Schleusenkanal — der ein Stillwasserkanal ist — auch noch bei HSW nautisch möglich ist. Denn bei hohen Wassermengen bestimmt diese Einfahrtmöglichkeit die Benutzbarkeit der Schleusenanlage.

Im Übergangsbereich zwischen Strom und Vorhafen entstehen Ablösungswirbel und Walzen, die das Schiff quer zu seiner Fahrtrichtung treffen und ablenken. Die Länge des Vorhafens, insbesondere des oberen Vorhafens, wird durch die Abmessungen des größten Schiffes bestimmt und durch die Forderung, daß dieses Schiff die erwähnte Übergangszone bei verminderter Geschwindigkeit noch sicher durchfahren kann, ohne größere Verdrehungsmomente und Querkkräfte aufnehmen zu müssen.

Die Verdrehungsmomente sind abhängig

1. vom Abzweigwinkel,
2. von der Fließgeschwindigkeit,
3. vom Krümmungsradius des Flusses oberhalb der Abzweigstelle.

$M_{\max} = 11\text{—}15 \text{ tm}$, $Q_{\max} \sim 1,5 \text{ t}$ sollen nicht überschritten werden.

Die Berücksichtigung dieser Werte bedingt, daß im oberen Vorhafen keine größere Querströmung als 0,2 m/s auftreten soll, im unteren Vorhafen 0,3 m/s. Die absolute Länge des Vorhafens soll so gewählt werden, daß das Schiff auch im Hafen selbst zum

Stillstand kommen kann. Zu beachten ist, daß bei abnehmender Schiffsgeschwindigkeit auch die Steuerfähigkeit des Schiffes abnimmt, und zwar mit dem Quadrat des Geschwindigkeitsunterschiedes zur Flußgeschwindigkeit. Sinkt dieser Wert auf $\frac{2}{3}$, so beträgt die Steuerfähigkeit $(\frac{2}{3})^2 = \frac{1}{2}$, bei halber Fahrt aber $(\frac{1}{2})^2 = \frac{1}{4}$.

Liegeplätze im Vorhafen

Der Vorhafen dient ferner als Warteplatz, falls die Schleuse belegt ist, d. h. es wird ein Betriebsliegeplatz benötigt, der mindestens zwei Regelschiffe aufnehmen soll. Die Rationalisierungsbestrebungen der Schifffahrt lassen den Drang zum Einsatz größerer Schiffsverbände erkennen. Als Regelschiff gilt für Neckar und Mosel das 1350-t-Schiff ($80 \times 9,5$). Bei der Mosel muß ferner der moderne Schubverband mit rd. 172 m Länge berücksichtigt werden. In vielen Fällen wird der Schleusenvorhafen auch als Schutzhafen bei Hochwasser benötigt. Je nach meteorologischen Bedingungen sind einzelne Staustufen — meist in unmittelbarer Nähe von Industriezentren — im Betrieb durch Nebel behindert. In solchen Fällen ist es vorteilhaft, wenn diese Vorhäfen der Schifffahrt leichte und sichere Anlegemöglichkeiten bieten. Dies ist dann der Fall, wenn die Vorhäfen durch senkrechte Ufereinfassungen — Spundwände oder offene Leitwerke mit relativ eng stehenden Dalben — ausgerüstet sind.

Der Vorhafen der iEngangsstaustufe sollte je nach Verkehrsaufkommen besonders groß bemessen werden, um das Anpassen des vom freien Fluß unbehindert eintreffenden Verkehrs an den Takt des Schleusenverkehrs zu ermöglichen. Ähnliches gilt für Vorhäfen in der Nähe eines großen Binnenhafens, weil auch hier mit einem Stoßbetrieb gerechnet werden muß, der einigen Auffangraum erfordert. Zu den üblichen Betriebsliegeplätzen kommen also noch Ruheliegeplätze für längeres Warten und Liegeplätze für Sonderfahrzeuge.

Auch bei Doppelschleusen kann die Schifffahrt nur selten damit rechnen, daß sie bei der Ankunft an einer Staustufe eine offene Schleuse vorfindet. Dies liegt zunächst an den meist unterschiedlichen Abständen der Staustufen, an den unterschiedlichen Motorenleistungen der zur Zeit fahrenden Schiffe und deren Abmessungen, sowie an den recht unterschiedlichen nautischen Fähigkeiten der Schiffsführer. Daher müssen auch die Vorhäfen von Doppelschleusen für jede einzelne Kammer in ausreichendem Umfang Betriebsliegeplätze aufweisen.

Ufereinfassung

Dalben und Ufereinfassungen sollen so ausgebildet sein, daß die Schiffe auch bei sehr hohen Wasserständen ruhig liegen und nicht über das Leitwerk treiben können, d. h. es müssen einzelne Pfähle, die mit Haltekreuzen bzw. Pollern ausgerüstet sind, ggf. bis HHW hochgeführt werden. Dabei ist es jedoch nicht erforderlich, das rechnerische HHW abzusichern, falls dieses zu außergewöhnlich hohen Konstruktionen führt. In einem solchen — sehr selten eintretenden — Fall können sich die Schiffe durch Absetzen von Ankern gegen Abtreiben sichern.

Breite der Vorhäfen

Bei Einkammer-Schleusen soll der Vorhafen so breit sein, daß ein Regelschiff im Hafen auf Schleusung warten kann, während ein weiteres in sicherem Abstand an ihm vorbei aus- oder einfährt.

Bei Doppelschleusen soll dementsprechend die doppelte Breite vorhanden sein. Wie die Praxis zeigt, lassen die örtlichen Verhältnisse nicht immer diese Maße zu, was dann je nach Verkehrsaufkommen zu Verzögerungen im Betrieb führen kann. Soweit es sich

aus örtlichen Gegebenheiten nicht vermeiden läßt, daß die Stauanlage in eine Stromkrümmung gelegt werden muß, ist der Vorhafen abhängig vom Krümmungshalbmesser entsprechend zu verbreitern.

Die Mindesttiefe im Vorhafen muß 1,0 m mehr als die größte Tauchtiefe des Regelschiffes betragen, also wenigstens 3,5 m, besser sind 4,0 m. Sofern mit zeitweiligen Stauabsenkungen zu rechnen ist, muß die Sohle so vertieft werden, daß der Vorhafen als Sicherheitshafen benutzt werden kann.

Die Betrachtung von ausgeführten Beispielen soll wegen der Vielfalt der Gegebenheiten nur auf zwei an den Rhein anschließende Stromgebiete beschränkt werden, nämlich auf die Mosel und auf den Neckar.

Die Mosel wurde zügig in wenigen Jahren zum Schiffahrtsweg ausgebaut. Es konnte erreicht werden, daß alle Vorhäfen nach einem einheitlichen Plan ausgeführt wurden. Daher genügt es, wenn hier nur ein Beispiel erläutert wird.

Die Kanalisierung des Neckars erstreckte sich über einige Jahrzehnte. Dies bedeutet, daß die Grundsätze bei Beginn des Ausbaues vor mehr als 40 Jahren heute nicht mehr in allen Punkten mit den Anforderungen des modernen Verkehrs übereinstimmen. Der Ausbau der Vorhäfen, d. h. die Anpassung der vorhandenen Vorhäfen an den Verkehr, ist daher noch immer im Gange, und es soll an einigen Beispielen erläutert werden, mit welchen Mitteln die Modernisierung erfolgte.

Der starke Verkehr auf dem Neckar,

1963: 31 518 Fahrzeuge

1967: 30 618 Fahrzeuge

mit je rd. 12 Mio Gütertonnen bringt es mit sich, daß auf der s. Zt. rd. 182 km langen Strecke je Tag etwa 330 Schiffe in Fahrt sind und rd. 120 in den Häfen zum Löschen oder Beladen liegen. Der Ausbau der vorhandenen Vorhäfen an den Neckarstautufen, der im allgemeinen eine Verbreiterung um rd. 10,25 m vorsieht, muß so vorgenommen werden, daß der Verkehrsablauf nur unwesentlich behindert wird. Fertigteil-Bauweisen tragen hierzu bei.

Bild 16 zeigt die Herstellung eines Leitwerks. Das Baugerät liegt außerhalb des Fahrwassers. Das Bohren von Löchern ϕ 60 in den anstehenden Fels, das Versetzen der Stahlpfähle PSp 35 L und das Einbauen der stählernen Leitbohlen, die mittels einer Zwischenkonstruktion und Bolzen an die Pfähle federnd angeschlossen werden, erfolgt ohne Behinderung der Schifffahrt. Ein ähnliches Leitwerk mit gerammten PSp-35-Pfählen wurde im oberen Vorhafen der Schleuse Horkheim erstellt. Jeweils nach Befestigen der Leitbohlen mit Bolzen ϕ 70, was sofort nach dem Rammen des Pfahles erfolgte, war das Leitwerksstück betriebsfertig.

Der Ausbau des Vorhafens der Staustufe Neckargemünd wurde gleichlaufend mit dem Ausbau der dicht am Ufer verlaufenden Bundesstraße 27 vorgenommen.

Der untere Vorhafen wurde als HW-Schutzhafen so eingerichtet, daß er bis zum höchsten rechnerischen Hochwasser noch sichere Liegeplätze bietet. Die Uferwand aus Spundbohlen erhielt alle 25 m HW-Pfähle, die rd. 3,50 m über die Spundwand hochgeführt wurden und etwa alle 1,0 m in der Höhe eine Haltevorrichtung aufweisen. In die Ufermauer zwischen Leinpfad und Straße sind Halteringe als zusätzliche Befestigungsmöglichkeit bei HHW eingelassen. Die talwärts anschließende Krümmung wurde mit 4 torsionssteifen Federdalben versehen. Diese „Federdalben“ sind durch eine tiefe Einspannung, die erst 2,5 m unter der Flußsohle beginnt, gekennzeichnet.

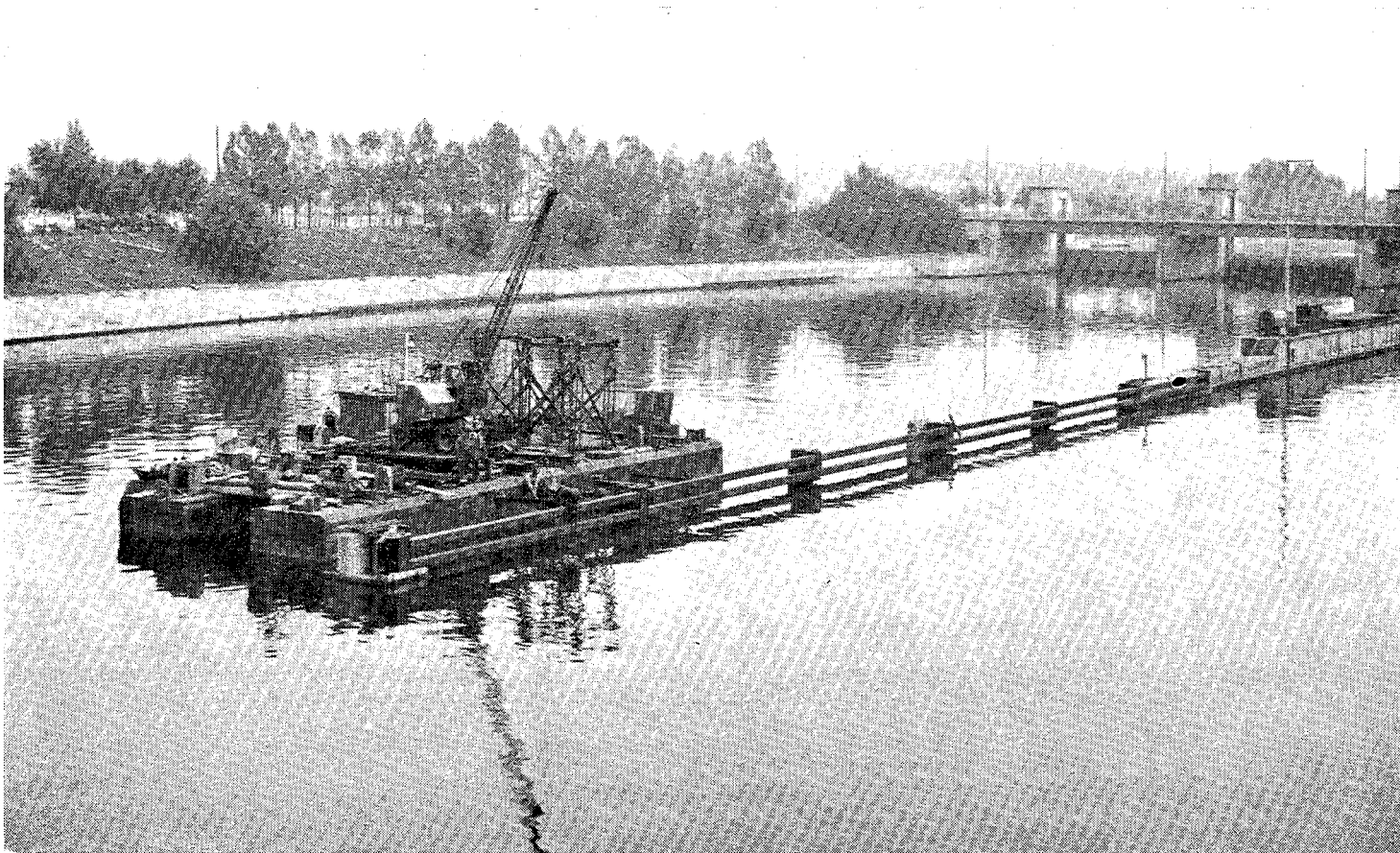


Bild 16

Einbau eines Leitwerkes ohne Behinderung der Schifffahrt im Unterwasser der Staustufe Heilbronn/Neckar

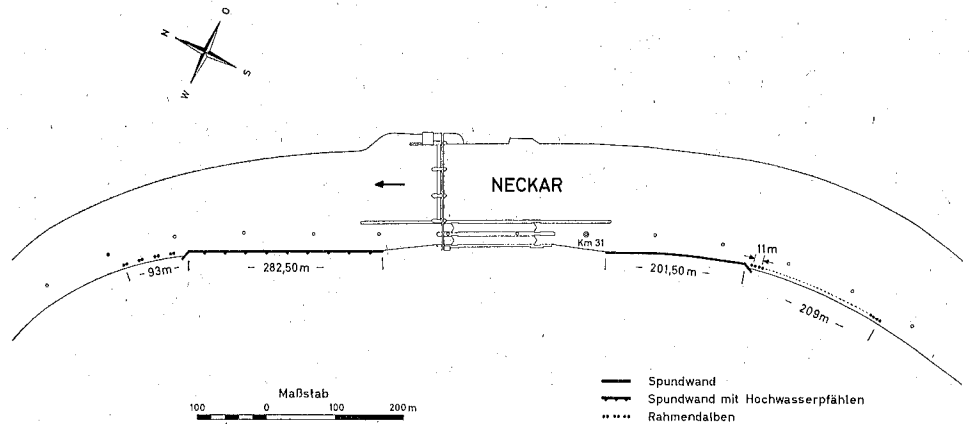


Bild 17
Staufstufe Neckargemünd

Der obere Vorhafen dieser Zwillingschleuse muß bei höheren Wassermengen bis HSQ für die Talfahrt verkehrsregelnd wirken, weil an der nächsten Staustufe keinerlei Liegeplätze geschaffen werden können. Daher wurde das linke Vorhafenufer mit einer Spundwand von rd. 200 m Länge ausgestattet. Die anschließende Krümmungstrecke wurde mit einem offenen Leitwerk aus zweipfähli gen Rahmendalben mit je 11,0 m Abstand ausgerüstet. Diese Dalbenstrecke kann bis HHW als sicherer Liegeplatz benutzt werden, weil jeweils 1 Pfahl des Rahmendalbens ausreichend hochgeführt wurde.

Als Beispiel für Vorhäfen in einer Krümmung wird die Staustufe Horkheim angeführt.

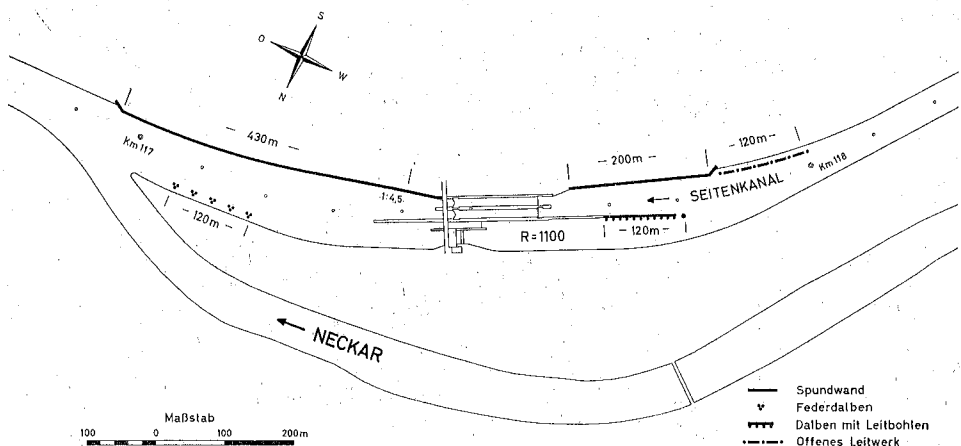


Bild 18
Staufstufe Horkheim

Beim Ausbau der 2. Schleuse wurden die Vorhäfen in großem Umfange mit senkrechten Ufereinfassungen versehen. Im unteren Vorhafen wurden auf der linken Seite erstmalig 8 „federnde“ Dalben mit einer Höhe von 2,25 m über Normalstau eingebaut. Diese Lösung wurde gewählt, weil wegen des hochanstehenden Muschelkalkes ein Rammen nicht möglich war. Die Bohrlöcher $\phi 70$ wurden verrohrt, und nach Einstellen der torsionssteif verbundenen 3pfähligen Dalben wurden die einzelnen Pfähle, die durch

Laschen entsprechend dem Momentenverlauf verstärkt waren, jeweils 0,3 m hoch einbetoniert. Darüber wurde rd. 2,0 m Sand eingefüllt. Innen wurden die Pfähle rd. 1,5 m mit Beton verfüllt, darüber wieder rd. 1,5 m Sand. Damit wurde die freie Länge des Dalbens rd. 3,30 m unter Vorhafensohle vergrößert.

Die Dalben wurden für einen Trossenzug von 25 t (für 3 Pfähle) und für ein Arbeitsvermögen von 6,0 tm ausgelegt. Eingehende Untersuchungen der Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe, ergaben, daß die Ergebnisse der statischen Berechnung mit den durch Anfahrversuche festgestellten Werten gut übereinstimmen. Allerdings werden die 3 Pfähle des Dalbens nicht gleichmäßig beansprucht. Der Schiffsstoß erfolgt exzentrisch zur Dalbensystemmitte, und aus konstruktiven Gründen wird die Durchbiegung des angefahrenen Pfahles nicht auf die beiden anderen Pfähle gleichmäßig übertragen. Auf Grund der guten Erfahrungen wurden ähnliche Federdalben noch an einigen anderen Staustufen eingebaut.

Das rechte Ufer des unteren Vorhafens wurde mit einer senkrechten Betonwand besonderer Art im tiefen Wasser ausgebaut. In dem bereits erwähnten Muschelkalk wurden alle 3,0 m Peiner-Träger eingebohrt und einbetoniert. Der Zwischenraum wurde mit rd. 3,0 m langen Fertigbetonteilen von 0,5 m Höhe ausgefüllt. Dahinter wurde der Zwickel zwischen Ufer- und Fertigbetonteilen bis zum Wasserspiegel mit Unterwasserschüttbeton ausgefüllt. Über Wasser wurde eine Stahlbeton-Winkelstützmauer aufgebracht. Dabei werden die Peiner-Träger bis OK Winkelstützmauer hochgeführt.

Der obere Vorhafen liegt am Ende eines rd. 3 km langen Seitenkanals. Das linke Leitwerk aus massiven Einzeldalben wurde durch Einbau von Leitbohlen aus Spundwandstahl, die mittels Gummifendern den Schiffsstoß auf die Massivdalben abmindern können, verbessert, so daß die Aus- und Einfahrt in die linke Kammer ohne wesentliche Beeinträchtigung durch die Strömung zum Kraftwerk erfolgen kann.

Zur Schaffung von weiteren Ruheliegeplätzen wurde am rechten Ufer im Anschluß an die Spundwand des Betriebsliegeplatzes ein rd. 120 m langes offenes Leitwerk aus geramten Peiner PSp-Pfählen und eingehängten Spezialleitbohlen erstellt, das in seiner Ausführung der Form auf Bild 16 ähnelt. Diese Bauweise ergibt eine kettenartige Verbindung aller Teile des Leitwerks. Obgleich die Konstruktion zeitweilig recht heftige Schiffsstöße aufnehmen muß — weil die Fahrzeuge im Kraftwerksstrom anlegen müssen — sind in den 6 Betriebsjahren bei 12 000 bis 15 000 Fahrzeugen je Jahr keinerlei Beschädigungen aufgetreten.

Während am Neckar bei Mittelwasser rd. 148 m³/s und beim höchsten Schiffahrtswasserstand maximal 450 m³/s abfließen, ist bei der Mosel ein HSQ von rd. 1 400 m³/s zu berücksichtigen, das MQ liegt bei 263 m³/s. Die Schiffahrtsdauer ist damit bei der Mosel um rd. 2 Monate länger als bei HSQ, das dem Zustand auf dem Neckar entsprechen würde. Die bei HSQ naturgemäß gegebenen hohen Wassergeschwindigkeiten im Strom bedingen besondere Maßnahmen, um der Schifffahrt einen sicheren Übergang vom Strom in den Vorhafen und umgekehrt zu ermöglichen (5).

Das Prinzip der Moselvorhöfen soll am Beispiel der Staustufe St. Aldegund erläutert werden.

Der untere Vorhafen ist landseitig mit einer Leitwand von rd. 160 m Länge in Verlängerung der Kammerwand ausgerüstet. Zur Ablenkung der Wehrströmung wurde das untere Ende der flußseitigen Liegemole leicht zum Fluß hin gekrümmt. Es wird dadurch nicht nur die Ein- und Ausfahrt erleichtert, sondern das Geschiebe des Flusses wird vom Ablagern in der Vorhafeneinfahrt abgelenkt. Dadurch werden zugleich verkehrshindernde Baggerungen im Vorhafen vermindert.

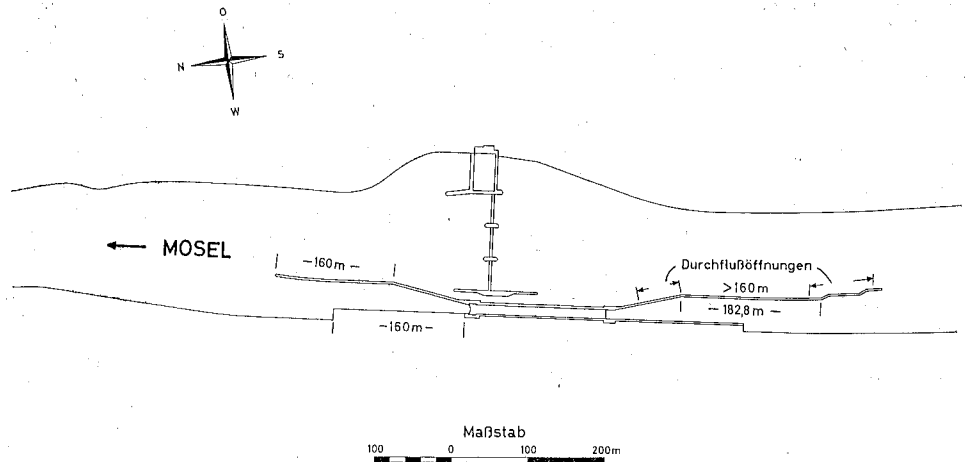


Bild 19
Staustufe St. Aldegund

Im oberen Vorhafen wurde die landseitige Kammerwand als Leitwand verlängert. Sofern der zu erwartende Verkehrszuwachs einmal den Bau einer zweiten Kammer erfordern wird, kann diese Leitmauer auch für die zweite Kammer die sichere Einfahrt von großen Schubverbänden ermöglichen. Außerdem ist es dann von Vorteil, daß die gegenseitigen betrieblichen Einflüsse der nicht im Verbund arbeitenden Schleusen auf ein Minimum reduziert werden. Die wasserseitige Begrenzung des oberen Vorhafens ist so ausgebaut, daß die Schifffahrt bis zu einem $HSQ = 1\,350\text{ m}^3/\text{s}$ möglich ist. Diese Leitwand mit einer Gesamtlänge von rd. 350 m ist mehrfach abgelenkt und hat Einrichtungen erhalten, die den Strömungsdruck auf den Mund des Vorhafenkanals verkleinern, aber den Wasserabfluß nur in einem bestimmten Umfang behindern, da durch den Vorhafen ein Anteil der Flußbreite von fast 40 % abgeschnitten wird. Der Betriebsliegeplatz weist eine Länge von 160,0 m auf und ist mit einer rd. 90 m langen Schräge 1 : 4 an das Oberhaupt der Schleuse angeschlossen. Der Liegeplatz — einschl. Sicherheitsabstand vom ein- bzw. ausfahrenden Schiff — hat eine Breite von 32 m.

In den Schrägen und in einer rd. 100 m langen Endstrecke sind zahlreiche Öffnungen in die Leitwand eingefügt, wobei die größten Öffnungen am Beginn des Leitwerks angeordnet wurden. Durch die teilweise Durchströmung des Vorhafens und durch die Abwinkelung wurde erreicht, daß die zulässige Querströmung bei dem Grenzmaß von 0,2 m/s blieb.

Abschließend soll noch bemerkt werden, daß alle Maßnahmen, die den Strömungsdruck auf die Vorhafeneinfahrt verkleinern, auch die auf das Schiff wirkenden Querkkräfte verkleinern. Dies ist wichtig besonders bei längeren Oberkanälen, in denen keine oder nur eine geringere Geschwindigkeit herrscht als im Fluß. Entsprechend dem Gesetz von Bernoulli ist der Wasserspiegel im Kanal höher als im Fluß. Es bildet sich ein periodisches Füllen und Entleeren des Kanals aus. Daher unterliegen die sich ebenfalls periodisch verändernden Gestalten der großen Ablösungswalzen und damit die Verdrehungskräfte auf das Schiff einem periodischen Wechsel. Der Schifffahrt sind diese Perioden unbekannt, daher ist ein entsprechendes, vorheriges Ruderlegen zum Ausgleich dieser Querkkräfte nicht möglich. Die aufgeführten Beispiele, insbesondere St. Aldegund, zeigen, wie eine Abhilfe möglich ist.

Schrifttumsverzeichnis

- [1] DEHNERT, H.: Schleusen und Hebewerke. Springer-Verlag, Berlin, 1954, Handbibliothek für Bauingenieure.
- [2] WEHRSCHÜTZ, F.: Füll- und Entleerungssysteme von Schiffsschleusen mit großen Fallhöhen. Mitt. des Inst. für Wasserwirtschaft, Grundbau und konstrukt. Wasserbau der TH Graz, Heft 7, Graz 1962.
- [3] KÖHLER, F.: Konstruktive Grundzüge und praktische Erfahrungen beim Bau und Betrieb von Stahlwasserbauten. Springer-Verlag, Berlin, 1956.
- [4] KRUMMET, R.: Schwingungsverhalten von Verschlußorganen im Stahlwasserbau bei großen Druckhöhen, insbesondere von Tiefschützen. Zeitschrift „Forschung im Ingenieurwesen“ Bd. 31 (1965) Nr. 5, S. 133—141. VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf.
- [5] JAMBOR, F.: Lage und Gestaltung der Schleusen und ihrer Zufahrten. Mitteilungsbl. der BAW Nr. 15.
- [6] GRAEWE: Fahrwasserverbreiterungen bei Binnenschiffahrtskanälen in Krümmungstrecken. Die Bautechnik (1967) Heft 6.