

Über die Entwicklung im Bau von Binnenschiffahrtsschleusen in Deutschland.

Von P. Vollmer, Oberregierungs- u. -baurat
Zivilingenieur für Wasserbau in Münster i. W.

Entsprechend der starken Entwicklung der Schifffahrt auf den Deutschen Binnenschiffahrtsstraßen ist auch bei dem Bau von Schiffsschleusen eine Entwicklung festzustellen, über die hier auf Grund der Erfahrungen an den westdeutschen Kanälen kurz berichtet werden soll.

I. Zahl und Gefälle der Schleusenstufen.

Im Interesse einer möglichst großen Reisegeschwindigkeit der Schiffe ist das Bestreben zu erkennen, die Zahl der Schleusenstufen weitestgehend zu vermindern und damit das Gefälle der Schleusen zu vergrößern, soweit dies bei den Geländeverhältnissen möglich ist. Dies geht aus folgender Zusammenstellung einiger westdeutschen Kanäle hervor.

Kanalstrecke	Erstes Bau- bzw. Be- triebsjahr	Mittleres Schleusen- gefälle m	Höchstes Schleusen- gefälle m	Zahl der Schleusen- stufen
Dortmund-Ems-Kanal (nördlicher Abstieg)	1899	~ 3,40	<u>8,50</u>	15
Rhein-Herne-Kanal (im Bergsenkungsgelände)	1914	~ 5,00	7,90	7
Wesel-Datteln-Kanal (im Bergsenkungsgelände)	1928	~ 6,70	9,00	6
Seitenkanal Gleesen—Papenburg (Ems)	seit 1935 im Bau	~ 8,00	<u>10,15</u>	4
Mittelland-Kanal (v. DE-Kanal bis Elbe ohne Hebwerk Rothensee)	1938	12,00	<u>15,00</u>	2

Die Zunahme der Schleusengefälle geht sowohl aus den mittleren wie aus den Höchstgefällen hervor. Bei den unterstrichenen Höchstgefällen handelt es sich um Sparschleusen; solche wurden auch bei geringeren Gefällen, etwa von 6,0 m aufwärts angewendet. Im Bergsenkungsgelände wurde von Sparschleusen abgesehen.

Mit Zunahme der Gefälle wuchsen nicht nur die Größe der Bauwerke und die Baukosten, sondern es ergaben sich auch neue Veranlassungen, die Schleusenbetriebseinrichtungen, wie Tore, Schützen und Maschinen weiter zu entwickeln im Interesse der Betriebssicherheit und Schnelligkeit des Schleusungsvorgangs, insbesondere der ruhigen Lage der Schiffe beim Schleusen.

II. Zahl und Größe der Schleusen.

Die zu lösenden Aufgaben wurden auch stark durch den notwendigen Fassungsraum der Schleusen beeinflusst. Während man sich bei älteren Kanälen meist mit einschiffigen Schleusen begnügte, erforderte der stark zunehmende

Schiffahrtsverkehr der neueren Wasserstraßen von vornherein auch Schleppzugschleusen. So hat z. B. der Mittellandkanal an beiden Staustufen je zwei dreischiffige Schleppzugschleusen von 225 m Länge und 12,0 m Breite erhalten (Speicher- bzw. Sparschleusen), während an der Staustufe Münster des Dortmund-Ems-Kanals zunächst (1899) nur eine einschiffige Schleuse von 67 m Länge und 8,6 m Breite gebaut war. Im Laufe der Jahre wurde die Staustufe Münster durch zwei Schleusen so erweitert, daß jetzt neben der einschiffigen, eine zweischiffige (165×10 m) und eine dreischiffige (225×12 m) Schleuse bestehen. Im praktischen Betriebe dieser drei Schleusen nebeneinander hat sich deutlich gezeigt, daß die Schleusungszeiten nur wenig von den Auf- und Abstiegsgeschwindigkeiten, sondern hauptsächlich von den Ein- und Ausfahrzeiten, und diese wieder von der Zahl der gleichzeitig schleusenden Schiffe abhängen. Dies wirkt sich an der Schleuse Münster so aus, daß das Schließen mit der zweischiffigen Schleuse doppelt und mit der dreischiffigen Schleuse dreimal soviel Zeit erfordert wie an der einschiffigen Schleuse, die vorzugsweise von Selbstfahrern (Motorschiffen) benutzt wird. Deshalb gewinnt bei den Wasserbaufachleuten wie bei den Schiffahrtstreibenden die Ansicht allgemeine Anerkennung, daß man bei dem Bau von neuen Staustufen neben einer für den Verkehr erforderlichen Schleppzugschleuse möglichst auch stets eine einschiffige Schleuse bauen sollte, weil hierdurch eine außerordentliche Beschleunigung der Reisegeschwindigkeit sowohl der größeren Schleppzüge wie auch insbesondere der Selbstfahrer ermöglicht wird.

So wurde z. B. beim Seitenkanal Gleesen—Papenburg von vornherein neben je einer Schleppzugschleuse von 225 m Länge und 12 m Breite eine Schleuse von 115 m Länge und 12 m Breite vorgesehen.

Die Breiten der Binnenschiffsschleusen waren früher je nach der Größe der Schiffe sehr verschieden. Heute beträgt die Normalbreite der Schleusen auf Hauptwasserstraßen in der Regel 12 m, die für Schiffe bis zu 1500 t Tragkraft ausreicht. Nur bei Flußschleusen kommen auch größere Breiten bis zu 25 m vor.

Die genannte Länge der Schleppzugschleusen genügt für das Durchschleusen von drei 600 bis 750-t-Schiffen mit Schlepper wie auch für zwei 1500-t-Schiffe mit Schlepper, die kurze Schleuse von 115 m Länge für ein 1500-t-Schiff nebst Schlepper. Die Länge von 225 m bedingt bei drei 750-t-Schiffen ein sehr dichtes Aufrücken der Kähne, so daß eine Zugabe bis zu 10 m sich beim Einfahren günstig auswirken würde; die kurze Schleuse kann andererseits um 10 m auf 105 m Länge verkürzt werden, wenn nur 1000-t-Schiffe als größtzulässige Schiffe in Frage kommen*).

Die Drempeltiefe muß so bemessen sein, daß der Einfahrwiderstand nicht zu groß wird; das Flächenverhältnis von Schleuseneinfahrt F zum Schiffs-

*) Ausgehend von den bekannten Schleusen mit versetzten Häuptern wurde bei einer Kanalisierung der Grundriß rhombenförmig gestaltet, derart daß die ein- und ausfahrenden Schiffe quer kaum verholt zu werden brauchen, sondern schräg in ihre Lage in die Schleusenkammer gelangen oder aus ihr ausfahren können. Dies wird besonders dadurch ermöglicht, daß sich die Abstände der Kammer- und Leitwände unmittelbar hinter den Schleusentoren trichterförmig erweitern. Während die Tore 12 m weit sind, beträgt die Lichtweite des mittleren 43 m langen Teiles der Schleusenkammer 20 m und die Gesamtlänge der Kammer nur 105 m. Die Schleuse kann daher gleichzeitig drei 400 t-Kähne, oder zwei 600 t-Kähne oder einen 1000 t-Kahn, jeweils mit Schlepper aufnehmen, aber auch zwei 1000 t-Kähne von 9,20 m Breite ohne Schlepper. Die neue Schleuse hat sich im Betrieb bewährt, aber auch baulich wesentliche Ersparnisse gebracht. (s. Zeitschr. f. Binnenschifffahrt 1944. Ausgeführt an der Saale in Bernburg).

querschnitt f sollte mindestens $n = \frac{F}{f} \geq 2,0$ sein. Bei den 12,0 m breiten Normalschleusen ergibt sich

$$\text{für das 750-t-Schiff } n = \frac{12 \cdot 3,0}{8,2 \cdot 2} = \underline{\underline{2,2}}$$

$$\text{für das 1000-t-Schiff } n = \frac{12 \cdot 3,5}{8,2 \cdot 2,5} = \underline{\underline{2,05}}$$

$$\text{für das 1500-t-Schiff } n = \frac{12 \cdot 4,0}{9,2 \cdot 2,5} = \underline{\underline{2,08}}$$

Die einfach unterstrichenen Zahlen sind die Drempeftiefen.

III. Die Gründung der Schleusen.

1. Bei gutem, festem Baugrund.

Für die Bauart der Schleusenammer ist der Untergrund ausschlaggebend. Wenn gut tragfähiger Baugrund (fester Ton, Mergel, Kies, Kiessand usw.) in erreichbarer Tiefe ansteht, so wird im allgemeinen dem Massivbau der Vorzug gegeben. Ob dabei die Gründung innerhalb von Fangedämmen mittels offener Wasserhaltung oder in einer geböschten Baugrube mittels Grundwasserabsenkung gewählt wird, hängt von der Art des Baugrundes und von dem Kostenvergleich ab. Bei annähernder Gleichheit der Kosten wird wohl stets der Gründung mittels Grundwasserabsenkung der Vorzug zu geben sein, denn diese verbürgt im allgemeinen die leichtere und bessere Ausführung.

Außer den früher allgemein gebräuchlichen Grundwassersenkungsanlagen mit einer Reihe von Saugbrunnen-Staffeln werden neuerdings nicht selten Großbrunnen mit Unterwasserpumpen angewandt.

Grundsätzlich müssen die Gründungsblöcke stets (wenn die Blöcke nicht gerade auf Felsen gegründet werden) mit Umfassungsspundwänden umschlossen werden, um eine Umläufigkeit der Schleuse zu vermeiden. Das Rammen dieser Spundwände und das Einbringen der Schutzschichten gegen aggressives Grundwasser an den Betongrundplatten lassen sich besser unter Grundwasserabsenkung ausführen. Als Umfassungsspundwände kommen heute nur noch eiserne Spundwände in Betracht. Die vier in Deutschland erzeugten Arten von Spundwandprofilen (Hoesch, Klöckner, Krupp, Larssen) werden von der deutschen Wasserbauverwaltung als gleichwertig angesehen. Auf den Schutz gegen Aggressivität des Grundwassers wird man im allgemeinen nicht verzichten dürfen, weil man sich nicht allein auf die Wasserdichtigkeit des Betons verlassen sollte. Bei den deutschen Groß-Wasserbauten wird für die Betonherstellung nur selten reiner Zementmörtel angewendet. Man geht mehr und mehr zu einer Mischung von Zement, Kalk und Traß mit niedrigem Zementanteil über. Ein solcher Wasserbaumörtel bindet langsamer ab, dafür wird aber die Abbindewärme in den großen Massenkörpern so niedrig gehalten, daß eine künstliche Abkühlung durch Kühlwasserleitungen entbehrlich ist.

Infolge der Wasserdichtigkeit und Schleimigkeit des beschriebenen Wasserbaubetons eignet sich dieser auch gut für das Einbringen mittels Betonpumpen und auch für Unterwasserbeton.

Bei tragfähigem Baugrund kann der Schleusenkörper weitgehend aufgeteilt werden. Man wird also in der Regel jedes Schleusenhaupt als einheitlichen Block gründen und die massiven Mauern je für sich in einzelnen, etwa 15 m langen Blöcken herstellen und erst nachträglich die Sohle so einbringen, daß sie sich wie ein Balken auf zwei Stützen oder wie ein umgekehrtes scheidrechtes Gewölbe zwischen die seitlichen Mauerblöcke einspannt.

Ob die Seitenmauern der Schleuse als massive Betonblöcke oder als aufgelöste Eisenbetonmauern hergestellt werden, ist im wesentlichen eine wirtschaftliche Frage. In Deutschland wird der massiven Bauweise im allgemeinen der Vorzug gegeben, weil sie eine einfachere Bauausführung ergibt und sich auch für die Unterbringung der Fugendichtungen besser eignet.

Wenn der Untergrund nicht nur genügend fest ist, sondern außerdem nur geringe Durchlässigkeit hat, kann bei Einzelgründung der Seitenmauern u. U. ganz auf eine massive Sohle verzichtet werden. Oft genügt es dann, zwischen den Seitenmauern in Abständen Spannbalken zu spannen, die den Abstand der Seitenwände sichern und die Zwischenräume mit einem umgekehrten Filter von Sand (unten), Splitt oder Kies (in der Mitte) und Schotter oder Grobkies (oben) gegen Ausspülen von feinen Bodenteilchen auszufüllen.

Bei Felsboden können natürlich die Spundwände u. U. ganz fortfallen oder durch eine Herdmauer ersetzt werden. Die Kammersohle kann dann lediglich aus einer Betonauskleidung von etwa 0,5 m Stärke bestehen, die im wesentlichen den Kammerboden glatt gestaltet und den Felsen vor Verwitterung schützen soll. Sollte aus dem Felsen mit einem geringen Wasserdruck zu rechnen sein, so ist bei wasserdichter Herstellung der Betonverkleidung diese als umgekehrtes Gewölbe so stark auszubilden, daß sie den Wasserdruck (Auftrieb) tragen kann. Will man jedoch den Wasserdruckunter der Sohle entspannen, so müssen Durchbrechungen der Sohle eingebaut werden, die dann auch wieder mit einem umgekehrten Filter auszufüllen sind.

2. Gründung auf lehmigem oder feinsandigem Untergrund.

Bei feinsandigem und lehmigem Untergrund ist die Einzelgründung der Seitenmauern im allgemeinen dann nicht zu empfehlen, wenn der Feinsand oder andere feine Bestandteile des Untergrundes die Neigung zeigen, sich bei Wasserandrang wie Schwimmsand zu verhalten, also bei Wasserbewegungen feine und feinste Teile aus dem Untergrund ausgespült werden können. Dann ist es besser, der Schleuse eine beide Seitenmauern gemeinsam tragende Grundplatte zu geben, weil dann Längsfugen in der Grundplatte vermieden werden. Ganz lassen sich auch hier die Fugen nicht vermeiden, weil die Art der Herstellung, die Längenänderungen infolge verschiedener Temperaturen und das Schwinden des Betons eine größere Zahl von Quersfugen erforderlich machen. Die sichere Dichtung dieser Quersfugen macht im allgemeinen keine besonderen Schwierigkeiten, weil die Bewegungen in den Quersfugen langsam vor sich gehen, sich nicht oft wiederholen und weil die Längenänderungen senkrecht zu den Quersfugen nur gering sind. Dagegen müssen bei den Längsfugen bei jeder Belastungsänderung, also bei jedem Spiel von Füllen und Entleeren der Schleusenkammer elastische Bewegungen in den Fugen stattfinden. Diese Längsfugen sind daher auf die Dauer schwer dicht zu halten. Noch schwieriger sind die Kreuzungspunkte von Längs- und Quersfugen auf die Dauer sicher abzudichten, obwohl für die Fugendichtungen schon eine Unzahl von technisch gut ausgedachten Lösungen vorgeschlagen und zum Teil auch mit Erfolg ausgeführt wurden. Schließlich zwingt nicht selten auch die beschränkte Tragkraft des Untergrundes dazu, das große Gewicht der Seitenmauern auf eine durchgehende Betonplatte zu verteilen.

Bei Gründung der Kammermauern auf gemeinsamer Grundplatte tritt die Frage auf, in welcher Weise die Berechnung erfolgen soll. Diese Auf-

gabe ist statisch unbestimmt, so lange keine Anhaltspunkte für die Verteilung des Bodendrucks vorhanden sind. Nach den neueren Anschauungen in Deutschland ist es üblich, die Beiwertzahl für das elastische Verhalten einer Schleusensole für verschiedene Bodenarten etwa wie folgt abzustufen:

Beiwert $k = 0,00$	für Felsboden
„ $k = 0,30$	„ Grobkies und festen Ton
„ $k = 0,65$	„ Kiessand und Sand
„ $k = 0,75$	„ mittelfesten Boden
„ $k = 0,80$	„ losen Boden
„ $k = 1,00$	„ weichen Boden

Das heißt, bei Felsboden wird angenommen, daß die Druckverteilung den örtlich auftretenden Drücken entspricht, daß also keine Durchbiegung eintritt, bei weichem Boden wird eine gleichmäßige Druckverteilung angenommen. Bei mittlerem Boden wird die Bodendruckverteilung so angenommen, daß die Durchbiegung das 0,75fache derjenigen bei weichem Boden ausmacht.

3. Bei wenig tragfähigem Boden.

Bei wenig tragfähigem Boden werden die Schleusenwände in Deutschland meist aus eisernen Spundwänden gebildet. Dadurch kann das Gewicht des Schleusenbauwerks auf einen Mindestwert herabgesetzt werden. Für die Kammersohle gilt das unter 1. Gesagte; sie kann massiv oder auch durchbrochen ausgeführt werden. Die durchbrochene Ausführung mittels Spannbalken und Filter kommt insbesondere dann in Betracht, wenn die Spundwände in festere, dichte Bodenschichten hinabreichen.

4. Gründung im Bergsenkungsgelände.

Einen besonderen Fall bildet die Gründung von Schiffschleusen im Bergsenkungsgelände, wie sie am Rhein-Herne-Kanal und am Lippe-Seiten-Kanal ausgeführt wurden.

Hierbei wurden aus Rücksicht auf die Bergsenkungen die Schleusenbauwerke durch senkrechte Trennfugen von der Fundamentsohle bis zur Mauerkrone in einzelne stark mit Stahl bewehrte Baublöcke zerlegt. Die Kammernmauern, die jede für sich gegründet sind, erhielten eine Neigung 30:1.

Die Drempele wurden um 1 bis 2 m tiefer gelegt, weil der Wasserspiegel in der Schleuse tiefer zu liegen kommt, wenn die Schleusen langsamer absinken als die Haltungen.

Ferner wurden die Baukörper der Schleusen so bemessen, daß sie auch bis zu 2 m aufgehört werden können. Schließlich wurden bei Doppelschleusen die beiden Schleusen fußtapfenartig gegeneinander versetzt, damit sie nicht gleichzeitig wegen Bodensenkungen außer Betrieb gesetzt werden und dann aufgehört werden müssen, wenn dies erforderlich wird.

IV. Allgemeines über die Schleusenbaukörper.

Während früher die Flügel der Häupter zur Kostenersparnis kurz gehalten und dementsprechend der Vorhafen trichterförmig nach der Schleuse zu eingeschränkt wurden, wird es heute vorgezogen, den Kanal in Normalbreite bis an die Häupter zu führen, damit der Wasserschwall vor dem einfahrenden Schiff gut zur Seite abfließen kann und dieses möglichst wenig gebremst wird. Soweit Leitwerke mit durchlaufender Leitwand angeordnet werden, baut man die Leitwände nur in und über der Wasserlinie in geschlossener Form aus, während das Leitwerk unter Wasser offen bleibt. Diese Maßnahme und eine Vertiefung des Vorhafens unmittelbar vor der Schleuse haben auch den Zweck, den Wasserschwall gut zurückfließen zu lassen; die Vertiefung verhindert zugleich das Eintreiben von Schwebstoffen in das Oberhaupt.

Die Schleusenplattform wurde bei älteren Schleusen meist 0,5 m bis 1,00 m über dem Normalwasserstand des Oberwassers angeordnet; heute hält man 1,30 m für zweckmäßig. Diese Höhenlage kommt auch der Ausbildung der Torantriebe bei Stemmtoren und Klappstoren zu Gute, besonders wenn infolge Windstau und Pendelwellen mit einer häufigen Überschreitung des Normalstaus zu rechnen ist. Aufbauten über der Plattform und Brücken über dem Unterhaupt werden möglichst vermieden, weil sie die freie Sicht zu den Vorhäfen stören können. Alle diese Maßnahmen erhöhen zwar die Baukosten, wirken sich aber günstig auf den Betrieb der Schleusen aus. Die früher übliche Verkleidung der Ecken, Kanten, Anschläge und Drempele mit schweren Quadern aus Granit oder Basaltlava ist jetzt meistens verlassen, dafür sind Stahlpanzerungen an ihre Stelle getreten, die sich bei der Herstellung der Betonblöcke in einem Arbeitsgang besser einbauen lassen als das Quadermauerwerk.

Darüber, ob die Antriebsmaschinen alle von einem Zentralstand aus oder örtlich bedient werden sollen, gehen die Ansichten auch heute noch auseinander. Bei den westdeutschen Wasserstraßen mit ihrem sehr starken Verkehr wird der örtlichen Steuerung der Vorzug gegeben, damit der Bedienende den Schleusenvorgang aus unmittelbarer Nähe beobachten kann. Eine Zentralbedienung erfordert mindestens eine Bedienungskraft mehr als die örtliche Steuerung, ohne dabei größere Sicherheit zu bieten oder die Leistung der Schleuse zu steigern. Zur Steigerung der Leistung trägt es dagegen sehr bei, wenn die Schleusen — sofern die Schlepper nicht regelmäßig mitgeschleust werden — mit guten Einschleppvorrichtungen versehen werden (Treidellokomotiven, Seiltreidelanlagen oder bei kurzen Schleusen auch Spills). Eine weitere Steigerung wird erzielt durch gute Beleuchtung der Schleusen und Vorhäfen, damit der Schleusenbetrieb auch noch in der Dunkelheit möglich ist, falls viele Schiffe im Schleusenrang liegen. Schließlich ist auf gute Steige- und Senkgeschwindigkeit Wert zu legen. Im allgemeinen ist für Schleppzugschleusen mit den Abmessungen 225×12 m je nach der zur Verfügung stehenden größten Füllmenge eine höchste Steiggeschwindigkeit von 1,5 bis 2 cm/sec. zulässig; bei kurzen Schleusen kann das 1½fache, also 2,5 bis 3 cm/sec. erreicht werden. Die mittlere Steiggeschwindigkeit der Gesamtfüllung wird etwa das 0,7fache dieser Werte betragen. Die Steiggeschwindigkeit hängt nicht allein von der Ruhelage der Schiffe beim Schleusen ab, sondern es muß auch auf die Wasserbewegung in der anschließenden Kanalhaltung Rücksicht genommen werden (vgl. die Aufsätze von Wittmann und von Wiener).

Die neuere Entwicklung im Schleusenbau neigt dazu, bei den Schleusenhäuptern die Umläufe fortzulassen (vgl. jedoch den Aufsatz von Köhler).

V. Über verschiedene Schleusentorarten.

An den westdeutschen Kanälen kommen Stemmtore und Hubtore sowohl am Oberhaupt wie am Unterhaupt vor, Schiebetore wurden als Unterhaupt- und als Mittelhaupttore verwendet, während Klappstore nur am Oberhaupt in Frage kommen. Sämtliche Tore werden nur noch aus Stahl gebaut.

1. Stemmtore.

Um den Stemmtoren die erforderliche Steifigkeit zu geben, erhalten sie einen Diagonalverband mit einfacher oder doppelter Blechhaut. Nach Biegeversuchen erhöht diese letzte Bauart die Steifigkeit, so daß sie auch für Tore außergewöhnlicher Höhe ausreicht. Die doppelte Torhaut ergibt zugleich einen Schwimmkasten, der das Gewicht des Tores tragen hilft.

Stemmtore in Verbindung mit Umläufen in den Schleusenhäuptern sind bau- und maschinentechnisch einfach und wirtschaftlich und mindestens ebenso betriebssicher wie jede andere Torart. Bei Beschädigungen lassen sie sich infolge des geringen Gewichtes eines Torflügels schnell ausbauen und durch etwa schon vorhandene Reservetore ersetzen. Sind solche nicht vorhanden, so ist auch die Instandsetzung an Ort und Stelle leicht möglich, bei kleineren Schäden können Ausbesserungen u. U. im Schwebezustand ausgeführt werden.

Von Neuerungen an den Toren seien folgende genannt: Die Schlagleisten aus Holz müssen beiderseits mit Winkeleisen so eingefast werden, daß bei mangelhaftem Schließen ein Abscheren unmöglich wird. Die Hals- und Spurzapfen der Tore sind zweckmäßig mit einer von der Torbewegung oder vom Antriebswindwerk abhängigen Fettschmierpresse dauernd mit Fett zu schmieren, um die Abnutzungen dieser wichtigen Teile zu verringern. An neueren deutschen Schleusen sind mit bestem Erfolg als Dichtungsleisten Gummileisten verwendet worden, um die oft mangelhafte Dichtung vollkommener zu machen. Die am Tor anliegende Seite der Gummileisten wird vulkanisiert, um sie gut durch Keilpressen befestigen zu können; an der anderen Seite bleibt der Gummi weich, er dichtet auf einer Stahlarmierung der Wendensische und des Drempels.

Für Stemmtore wird heute fast allgemein der Kniehebelantrieb dem Zahnstangenantrieb vorgezogen, weil seine Kraftwirkung dem Kraftbedarf bestens angepaßt ist.

2. Hubtore.

Hubtore sind bei den Schleusen der westdeutschen Kanäle mehrfach verwendet worden.

a) An der Schachtschleuse Henrichenburg ergab sich das Hubtor aus der Höhe des Gefälles (14,00 m) von selbst. Die Entleerung erfolgt hier noch mittels Umlaufschützen.

b) Bei den Schleusen des Wesel-Datteln-Kanals mußten die Schleusenhäupter wegen der Lage im Bergsenkungsgelände und teilweise wegen mangelhaften Baugrundes möglichst klein gehalten werden. Deshalb zog man hier die Hubtore den beim Rhein-Herne-Kanal bewährten Schiebetoren vor und stattete sie mit 6 Schützen aus, um in den Häuptern auch die Umläufe zu vermeiden. Zur Erzielung eines ruhigen Füll- und Entleerungsvorgangs war es erforderlich, die Schützen nach einem bestimmten Gesetz erst ganz langsam zu öffnen und dann die Hubgeschwindigkeit allmählich zu steigern. Diese sorgfältige Steuerung der Schützen war nur durch Einschaltung von Leonard-Aggregaten möglich. Diese Konstruktion hat sich als empfindlich erwiesen. Ferner wurden hinter den Schützen massive Balken zur Energievernichtung erforderlich. Da diese tiefer als der Drempel liegen müssen, mußten die Tore nach unten um ein gewisses Maß vergrößert werden. Diese Konstruktionen: die im Tor eingebauten Schützen mit Leonard-Antrieb, die Stoßbalken sowie die Vergrößerung der Tore haben die Bau- und Betriebskosten nicht unwesentlich erhöht. Den erhöhten Baukosten stehen aber entsprechende Ersparnisse an den Häuptern gegenüber. Die außerordentlich hohen Aufbauten passen nicht in jede Umgebung, doch hat man gelernt ihnen ansprechende Formen zu geben, wie z. B. an der Schachtschleuse Henrichenburg und an den Schachtschleusen des Gleiwitzkanals in Oberschlesien.

Im ganzen betrachtet bedeutet die Bauweise der Hubtore am Wesel-Datteln-Kanal einen vollen Erfolg insofern, als die Schiffe in seinen Schleusen besonders ruhig liegen, obwohl es sich hier um 225 m lange Schleppzug-

schleusen handelt, bei denen sich bei schneller Füllung sonst leicht starke Schwalbe und Pendelwellen in der Kammer bilden.

Ein Übelstand der älteren Hubtore, daß nämlich von dem frisch gehobenen Tor sich ein Regen auf die unter ihm durchfahrenden Schiffe ergoß, ist durch Auffangen des Traufwassers in Rinnen beseitigt worden, die es mittels Heber in die Tornischen entleeren.

c) Neuerdings ist man bei Hubtoren zur Verminderung der Kosten und zur Vereinfachung des Betriebes dazu übergegangen, die Schützen in den Toren fortzulassen und die Schleuse durch langsames Anheben der Tore zu füllen oder zu entleeren. Dieses ist z. B. am Untertor der Schleuse in Herbrun a. d. Ems einwandfrei gelungen, ohne daß bei dem nachträglichen Einbau die erforderlichen Energievernichtungs-Anlagen größeren Umfang hätten.

3. Schiebetore.

Am Rhein-Herne-Kanal, der auch im Bergsenkungsgebiet liegt, wurden als Untertore Schiebetore verwendet, die mittels Seilen und Rollwagen an Torbrücken aufgehängt sind. Sie wurden damals den Stemmtoren vorgezogen, weil befürchtet wurde, daß Stemmtore bei Schiefstellungen und Verbiegungen der Häupter Schwierigkeiten bezüglich des Betriebes und der Dichtung machen könnten. Diese Befürchtungen bestanden und bestehen bei Schiebetoren ebenso wie bei den oben besprochenen Hubtoren bei guter Führung nicht. Die Schiebetore des Rhein-Herne-Kanals haben sich in angestregtem Betriebe bewährt. Sie haben wegen des Fehlens der Gegengewichte, die bei Hubtoren die zu bewegendenden Massen verdoppeln, nicht so hohe Betriebs- und Unterhaltungskosten. Ihre Torbrücken sind unauffälliger und behindern nicht den Blick von der Schleusenplattform zum Unterhafen. Auch der Antrieb ist einfach, da nur der auf Schienen laufende Rollwagen auf der Torbrücke in Bewegung gesetzt zu werden braucht.

Es empfiehlt sich, die Schiebetorkammer mit einem Dammbalkenverschluß zu versehen und sie so breit und lang zu machen, daß das Tor in der Kammer nachgesehen und in Stand gesetzt werden kann. Die Öffnung der Schiebetorkammer ist indes möglichst eng zu halten, damit Schwimmstoffe (Holz, Eis) aus der Kammer ferngehalten werden.

Abgesehen von gewaltsamen Beschädigungen können die Schiebetore gewissermaßen als unverwüstlich bezeichnet werden, denn kein beweglicher Teil liegt unter Wasser. Auch bei starkem Treibeis haben sich die Schiebetore in langjährigem Betrieb bestens bewährt. Füll- und Entleerungsschützen können natürlich bei Schiebetoren ebenso eingebaut werden wie bei Hubtoren.

4. Klapp-tore.

An den Oberhäuptern des Rhein-Herne-Kanals wurden ebenso wie am Hohenzollern-Kanal und an zahlreichen Einzelschleusen Klapp-tore mit Luftkästen (Schwimmern) eingebaut. Sie haben gegenüber Stemmtoren den Vorteil, daß sie nur aus einem Verschlußkörper bestehen und nur einen einseitigen Antrieb benötigen. Da sie in geöffnetem Zustande unter Wasser liegen, also der Sicht entzogen sind, muß die Antriebsmaschine mit einem Stellungszeiger versehen sein, der die Lage des Tores genau anzeigt. Zur größeren Sicherung des Öffnungsvorgangs sind daher Kettenzüge als Antrieb, wie sie anfangs angewendet wurden, zu vermeiden. Der Antrieb muß vielmehr mittels Zahnstange und Triebstange erfolgen.

Die Lager der Klapp-tore sind wiederholt so ausgeführt worden, daß Fremdkörper, die sich etwa beim Schließen des Tores einklemmen, möglichst keinen Bruch des Lagers herbeiführen. Dies kann z. B. durch das Buchholzsch

Pendellager oder derart geschehen, daß die Lager sich wie ein Schlitten in einem Lagerschuh bewegen und mittels einer Feder nachgeben können. Trotz solcher Vorsichtsmaßnahmen ist es erforderlich, die Lager von Zeit zu Zeit durch Taucher zu überwachen. Bei Treibeis sind die Eisschollen so weit zu beseitigen, daß sie sich nicht einklemmen können. Außerdem ist in den Antrieb eine Rutschkupplung einzubauen, um Brüche zu vermeiden. Mit diesen Maßnahmen haben sich die Klapptore seit Jahrzehnten bewährt. Sie werden stets mit Umläufen ausgeführt und sind nur als Oberhaupttore wirtschaftlich. Als solche sind sie den Stemmtoren gleichwertig; der Einbau ist zwar etwas schwieriger, dafür ist aber die Einteiligkeit ein Vorteil. Die robuste Betriebssicherheit wie die vorher erörterten Schleusentore haben sie allerdings nicht.

5. Andere Schleusentore.

Außer diesen gebräuchlichen Toren gibt es noch eine weitere Zahl von seltener ausgeführten oder von vorgeschlagenen und im Modell ausgeprobten Torarten, wie das Segmenttor, das Versenktor (Hub- und Senktor), das Drehotor, das Hakentor*). Segmenttore wurden am Gleiwitzkanal eingebaut, um die Schleusen zugleich zur Hochwasserabführung zu benutzen.

VI. Über die Umlaufverschlüsse.

Als Abschlüsse der Umläufe kommen nach den an den westdeutschen Kanälen gemachten Erfahrungen Zylinderschützen (Ventile) und Rollkeilschützen in Frage. Dabei gibt die Formel

$$2f = 3,0 + \frac{F_s}{250} \text{ (in m}^2\text{)}$$

die Größe für die beiderseitigen Umläufe (2 Querschnitte f) an, wenn F_s die Grundfläche der Schleusenkammer ist. Bei starkem Gefälle ist es u. U. erforderlich, in den Abfallschacht der Umläufe im Oberhaupt Energievernichtungsanlagen einzubauen (Schleusen des Masurischen Kanals).

1. Zylinderschützen.

Zylinderschützen eignen sich am besten für das Oberhaupt, weil ein Abfall des Wassers unter dem Schütz erforderlich ist. Die Kammer, in der das Schütz sich bewegt, muß im Grundriß eine Form erhalten, die das Kreiseln des Wassers verhindert. Der Durchmesser d des Schützes ergibt sich aus dem obigen Wert für f . Wegen der starken Einschnürung des Wasser im Ringflächenquerschnitt muß die Hubhöhe des Zylinderschützes etwa $h_s = 0,45 d$ sein. Bei dieser Hubhöhe reichen indes die oben offenen Zylinderschützen des Oberhauptes meistens über die Schleusenplattform hinaus. Wenn man dieses vermeiden will, kommt man zu oben geschlossenen Schützen, seien es Glockenschützen oder Schützen mit je einer oberen und unteren Dichtung. Die Hubhöhe der Schützen muß über das oben angegebene Maß hinaus noch vergrößert werden, wenn man die Schützen zur langsamen Einleitung der Wasserfüllung mit einem Zackenkranz versieht, da dieser die Durchflußmenge um etwa 5 v. H. vermindert.

Eine besondere Form der Zylinderschütze sind die Ringschieberschützen, die sich in geschlossenem Zustande auf eine Prallplatte setzen und in geöffnetem Zustande vom Wasser so durchströmt werden, daß es von der Prallplatte nach außen geschleudert wird. Diese Schützen arbeiten also mit Energievernichtung. Trotzdem haben sie keinen ungünstigeren Durchflußbeiwert als Zylinderschützen ohne solche Prallplatte.

*) Vgl. den Aufsatz von Welt.

Zylinderschützen sind auch in Unterhäuptern eingebaut; sie bedingen hier aber schwierige, mehrfach gekrümmte Führung des Umlaufkanals und sind daher hier weniger geeignet als Rollkeilschützen.

2. Rollkeilschützen.

Diese verdienen als Umlaufverschlüsse betrieblich unbedingt den Vorzug vor Zylinderschützen, weil sie weniger Instandsetzungen erfordern. Sie müssen so gebaut werden, daß sich zwischen Schütz und Schützschaft, zwischen den Rollen und zwischen Gegengewicht, Schütz und Schachtwand keine Fremdkörper einklemmen können. Wenn man bei Rollkeilschützen erreichen will, daß die Entleerungs- (bzw. Füll-) Bewegung zur Verhinderung zu großer Trossenkräfte langsam eingeleitet werden soll, empfiehlt es sich, die Sohle des Umlaufs — in Fließrichtung gesehen — oberhalb des Schützes als dreieckförmige Rinne herzustellen. Wird das Schütz gehoben, so öffnet sich der Umlauf wie ein auf die Spitze gestelltes Dreieck (Winklersches Dreieck), so daß die Wasserbewegung ganz allmählich eingeleitet wird.

Rollkeilschützen laufen auf Rädern und Schienen, um sie unter Wasserdruck leicht öffnen zu können; der Druck des Wassers kann sehr erheblich sein, z. B. bei der Hindenburg-Schleuse in Anderten rund 105 t. Damit die teilweise geöffneten Schützen nicht in Schwingungen geraten, müssen außer den Tragrollen noch abgefederte Gegenrollen angeordnet werden, die das Schütz gegen die Schienen drücken. Diese Federn müssen einen kräftigen Druck ausüben, bei der Hindenburg-Schleuse z. B. rund 3 t. Dabei müssen sie mindestens 20 mm Spiel haben, damit die Hauptrollen über kleine Hindernisse hinüberlaufen können. Größere Hindernisse werden durch Bahnräumer zur Seite geschoben.

Bei großem Schleusengefälle erhalten die Rollkeilschützen auf der Rückseite zweckmäßig eine Holzausfütterung zwischen den Trägern, damit die sich dort bei teilweiser Öffnung des Schützes aus dem Sog ergebenden Wirbel möglichst wenig Angriffsflächen am Schütz finden.

Die so ausgebildeten Rollkeilschützen haben sich in jahrzehntelangem Betrieb bewährt.

Wegen Raummangel konnte hier nur das wichtigste aus der Entwicklung des Schleusenbaues an den westdeutschen Kanälen berichtet werden. Hinsichtlich der hydromechanischen Vorgänge und ihrer Einwirkungen auf die Schiffe beim Füllen und Entleeren von Schleusen, die meistens im voraus durch Modellversuche geklärt wurden, wird auf den Aufsatz von Wittmann verwiesen.