

Abteilung II

Seehäfen und Seeschiffsstraßen

(für die gewerbliche und die Sportschifffahrt und den Fischfang)

zu Thema 5:

Thema des deutschen Berichts

Bemessung und Gestaltung von Bootsgassen und Kleinschiffahrtsschleusen

Berichtersteller:

Baudirektor Dipl.-Ing. Siegfried Lasar, Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe

Dipl.-Ing. Bernd Pulina, Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe

Zusammenfassung

Die Probleme bei der Gestaltung einer Bootsgasse werden beschrieben und die Notwendigkeit der durchgeführten großmaßstäblichen hydraulischen Modellversuche erläutert. Aufgrund der Meßergebnisse mit Variation der maßgebenden Parameter im Versuch können jetzt Bemessungshinweise für einen sicheren Betrieb gegeben werden, und zwar für die Ausbildung der Ein- und Ausgänge des Gassenverschlusses, die Reihen mit besonderen Schaufelprofilen und die zulässige Gassenlängsneigung.

Für die Planung und den Betrieb von Kleinschiffahrtsschleusen werden zunächst die allgemeinen Leitsätze aufgezeigt. Für die Ausführung von Einrichtungen für die Füllung und Entleerung werden je nach Fallhöhe jeweils eine Standardkonstruktion vorgestellt, die sich in Modellversuchen und in der Großausführung bewährt haben. Für die Berechnung der Füll- und Entleervorgänge werden wichtige Grenzparameter von bewährten Anlagen übernommen.

Inhalt

- | | |
|---|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1 Beschreibung des Problems bei der Bootsgassengestaltung 2 Strömungsgrößen <ol style="list-style-type: none"> 2.1 Durchflußmengen 2.2 Wassertiefe 2.3 Länge der Beschleunigungsstrecke 2.4 Strömungsgeschwindigkeit 3 Hinweise für die Ausführung von Bootsgassen <ol style="list-style-type: none"> 3.1 Bootsgasseneinlauf 3.2 Gassenverschluß 3.3 Gassenrinne 3.4 Bootsgassenauslauf | <ol style="list-style-type: none"> 4 Allgemeine Leitsätze für Kleinschiffahrtsschleusen <ol style="list-style-type: none"> 4.1 Füll- und Entleerungssysteme 4.2 Berechnung der Füll- und Entleerungsvorgänge 4.3 Zufluß und Entleerungswassermengen 5 Hinweise für die konstruktive Gestaltung der Kleinschleusen <ol style="list-style-type: none"> 5.1 Fülleinrichtungen 5.2 Entleerungseinrichtungen 5.3 Schleusenvorhöfen 6 Schlußfolgerungen 7 Verwendete Symbole und Abkürzungen |
|---|--|

Literatur

1 Beschreibung des Problems bei der Bootsgassengestaltung

Die Bootsgasse ist eine Einrichtung für den Wanderwassersport. Mit dieser Einrichtung können Gefällesten ohne Inanspruchnahme der Schleuse schnell talwärts durchfahren werden.

In der Bootsgasse werden die Strömungsvorgänge durch Querschnittsveränderungen und Veränderungen der Sohlenhöhe durch Schaufeln auf relativ kurzen Fließstrecken gesteuert. Es sind dabei folgende Abflüßvorgänge zu unterscheiden:

1. Stark ungleichförmiger Abflüß am oberen und unteren Bootsgassenende, d. h. Beschleunigung im Einlauf und Verzögerung im Auslauf.
2. Normalabflüß in der Bootsgassenrinne, d. h. (gleichförmiger Abflüßzustand).

Die physikalischen Vorgänge unterscheiden sich dabei dadurch, daß sich beim ungleichförmigen Abflüß die Strömungscharakteristika, wie Tiefe, Geschwindigkeit und Geschwindigkeitsverteilung in Strömungsrichtung ändern.

Auf den Strecken des ungleichförmigen Abflusses entwickeln sich die Geschwindigkeitsprofile und die Wassertiefen passen sich den Normaltiefen Y_n des gleichförmigen Abflusses an.

Die gleichförmigen Abflüßzustände sind von den Bedingungen der Schwerewirkung abhängig. In der Praxis haben sich 2,3 m breite Universalgassen bewährt (s. /1/). An einigen bereits ausgeführten Bootsgassen wurden dennoch erhebliche funktionelle Unzulänglichkeiten im Betrieb erkennbar.

Aus dem Grunde wurden Fragen über die bestehenden Abhängigkeiten zwischen grundlegenden Parametern der Strömung und der Gassengestaltung im physikalischen Modell, im Maßstab 1 : 3 geklärt. Die Untersuchungen einer 2,3 m breiten Universalgasse waren auf

- den Gasseneinlauf
- die Gassenrinne
- den Gassenauslauf

ausgerichtet. Die folgenden Ergebnisse wurden dabei erfaßt.

2 Strömungsgrößen

Es ist üblich, den auf einer gewissen Strecke unterstrom des verlusterzeugenden Störkörpers (Schaufelreihe) verteilten Energieverlust konzentriert in einem Querschnitt

in Ansatz zu bringen (siehe auch /2/).

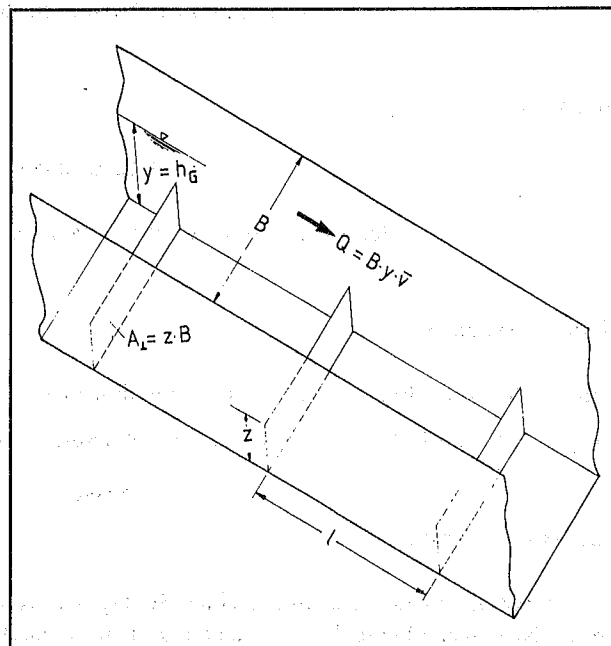


Bild 1: Schematische Darstellung einer Bootsgasse mit Schaufeln

Gleichzeitig läßt sich dabei der örtliche Energieverlust ΔH mit der Widerstandsziffer c_w über eine direkte Beziehung in der Form (1) darstellen.

$$\frac{\Delta H}{C_w} = \frac{A_{\perp}}{A_1} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (1)$$

Hierin ist

- $A_{\perp}$ - senkrecht zur Strömungsrichtung projizierte Fläche der Schaufelreihen
- A_1 - $B \cdot y$ durchflossene Querschnittsfläche im ungestörten Bereich mit B : Breite des Gerinnes und y : Wassertiefe

Die beiden Größen ΔH und C_w stehen zueinander in einem festen Verhältnis (Gl. 1). Das aber bedeutet, daß diese Verhältniszahl $\Delta H/C_w$ für die Erfassung des gesamten Strömungswiderstandes, d. h. des Oberflächenwiderstandes und des Formwiderstandes der Bootsgassenrinne genutzt werden kann.

Aus der Gleichung (1) kann der Zusammenhang zwischen dem Verhältniswert kH sowie der Strömungsgeschwindigkeit

$$\bar{v} = (C_w/\Delta H)^{-0.5} [(2g B h_0) / A_{\perp}]^{0.5} \quad (2)$$

und der Wassertiefe in der Gassenrinne

$$h_G = [(C_w/\Delta H) (A_L \cdot Q^2)]^{1/3} / (2,7 B) \quad (3)$$

benutzt werden, um noch verbleibende lückenhafte Kenntnisse über die Strömungsverhältnisse zu erweitern.

2.1 Durchflusssmengen

Die Durchflusssmenge Q ist eine Funktion der Einlaufwassertiefe h_E . Sie kann durch die konstruktiven Elemente der Bootsgasse nur wenig beeinflusst werden (Bild 1).

2.2 Wassertiefe

Unterhalb der Beschleunigungsstrecke stellt sich in der Gassenrinne eine konstante Wassertiefe h_G ein (s. Gl. 3). Die Tiefe h_G ist bei einer konstanten Einlaufwassertiefe h_E primär von der Formwiderstandszahl der Schaufelreihen C_w sowie der zur Strömungsrichtung projizierten Schaufelfläche A_L abhängig (s. Bild 2).

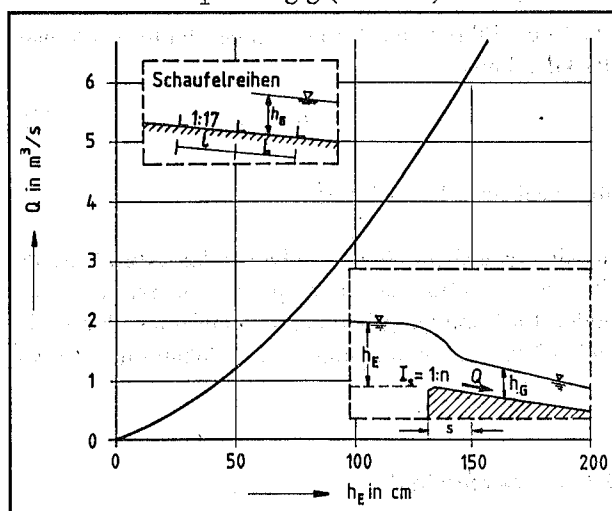


Bild 2a: Durchflusssmengen Q in Abhängigkeit von den Einlaufwassertiefen h_E (Neigung der Gassenrinne 1 : 17)

I_s	ΔQ	h_E in m			
		0,60	0,90	1,20	1,50
1:20	m³/s	0,12	0,30	0,11	0,06
	%	8	10	2	1
1:25	m³/s	0,22	0,47	0,40	0,36
	%	15	15	8,6	5,6

Bild 2b: Abnahme ΔQ bei flacheren Neigungen ($0,6 \leq h_E \leq 1,5$ m)

2.3 Länge der Beschleunigungsstrecke

Der Bootsgassenabschnitt vom Einlauf mit der Einlauf

wassertiefe h_E bis zu einer Stelle x in der Rinne, an der die Wassertiefe ($h_G = \text{konst.}$) sowie die mittlere Strömungsgeschwindigkeit ($\bar{v} = \text{konst.}$) den Beharrungszustand erreicht haben, wird als Beschleunigungsstrecke benannt und mit dem Buchstaben "s" gekennzeichnet.

Sie ist im wesentlichen von der Einlaufwassertiefe abhängig und wird geringfügig durch

- die Neigung der Gassenrinne und
- den Widerstand der Schaufelreihen $C_w/\Delta H$

beeinflusst. Für den praktischen Gebrauch können folgende Größen angenommen werden.

J_s	Anordnung der Schaufelreihen	Einlaufwassertiefe h_E			
		0,60 m	0,90 m	1,20 m	1,50 m
1 : 17	Normalstellung	17,20	16,70	11,90	9,60
	40°	23,80	21,40	14,60	12,80
	0,5	18,90	17,60	13,20	10,40
1 : 20		18,30	18,20	14,30	13,90
1 : 25		18,50	16,70	14,00	13,20
1 : 25		20,60	20,90	17,40	16,10
1 : 25	Pfeilstellung 5 : 1 im Grundriss	36,70	28,30	23,60	22,10

Bild 3: $C_w/\Delta H$ -Werte (1/m) für unterschiedlich angeordnete Schaufelreihen und dem Sohlgefälle der Bootsgassenrinne $I_s = 1 : 17 - 1 : 25$ (Abstand der Schaufelreihen 0,50 m)

h_E in m	0,60	0,90	1,20	1,50
s in m	5	8	15	25

Tab. 1: Länge der Beschleunigungsstrecke s in Abhängigkeit von der Einlauftiefe h_E

2.4 Strömungsgeschwindigkeit

Die Strömungsgeschwindigkeiten sind von der Einlaufwassertiefe abhängig. In der Ebene des Einlaufs können sich bei $h_E = 0,6$ m Geschwindigkeiten von 0,5 m/s und bei $h_E = 1,5$ m von 1,0 m/s einstellen (Bild 4).

Diese Anfangsgeschwindigkeiten werden dann auf einer Fließstrecke von 6 - 12 m auf gleichbleibende End-

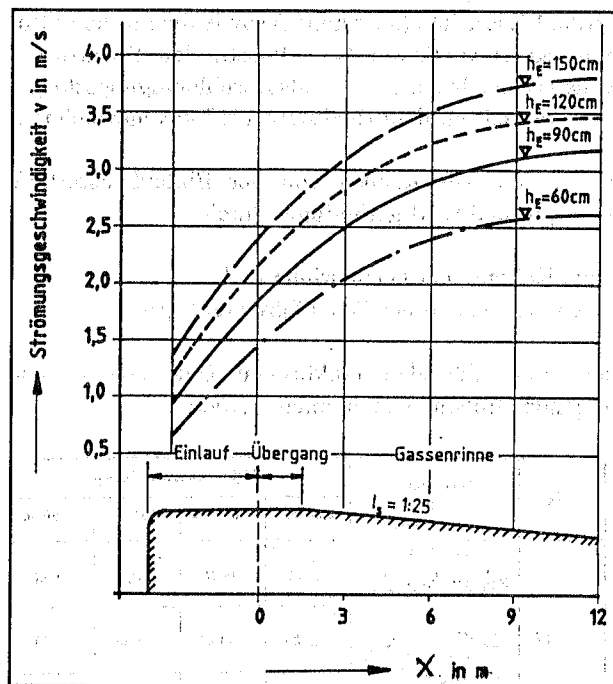


Bild 4: Strömungsgeschwindigkeit in der Gassenrinne in Zuordnung zur Entfernung vom Gassen-einlauf (Einlauf s. Bild 5)

größen von rd. 2,5 m/s bei $h_E = 0,60$ m und 3,7 m/s bei $h_E = 1,5$ m beschleunigt.

3 Hinweise für die Ausführung von Bootsgassen

In den nachstehenden Abschnitten werden die im Modell gemachten Beobachtungen und erfaßten Zusammenhänge beschrieben.

3.1 Bootsgasseneinlauf

Aus Gründen der Zweckmäßigkeit und geforderten Verkehrssicherheit sollte die Gestaltung des Bootsgasseneinlaufes folgenden Aspekten entsprechen:

- Den Abfluß unter Berücksichtigung der Richtungsänderung kontinuierlich beschleunigen (Fließwechsel vom strömenden zum schießenden Abfluß).
- Den Wasserspiegel aus der horizontalen Oberwasserlage allmählich parallel und wellenfrei zu dem Gefälle der Bootsgasse überführen.
- Einer wirtschaftlichen Bauweise entsprechen.
- Vor Ort unterhaltungs- und wartungsarm bleiben.

Im Einlaufbauwerk wird der Querschnitt durch Verringerung der Gerinnenbreite und Änderung der Sohlenhöhe reduziert. Im Bereich großer Wassertiefen empfiehlt es sich, die Seitenkontraktion durch gekrümmte Seitenwände vorzunehmen, weil in diesem Abschnitt noch eindeutig strömende Abflußbedingungen herrschen. Je mehr sich jedoch die Tiefen der Grenztiefe nähern, um so steiler wird der Wasserspiegel innerhalb des Übergangsbauwerks verlaufen und umso größer wird die Tendenz zur Bildung stehender Wellen.

An Gerinnebauwerken mit schießendem Abfluß können die Höhen der stehenden Wellen durch eine allmähliche Änderung der Strömungsrichtung ermäßigt werden. Grundsätzlich sind die Verengungen in Gerinnen mit überkritischem Abfluß

- düsenförmig,
- fächerförmig,
- trichterförmig

auszubilden.

Die Linienführung des Bootsgasseneinlaufes sollte nach der Gleichung

$$x = y^{1,85/0,25} \quad (4)$$

abgesteckt werden (Bild 5).

Im Übergangsbereich zum schießenden Abfluß ist die Einlaufkontraktion fächerförmig nach oberstrom ausgebildet. Im Verengungsbereich sind auf der Sohle in der fächerförmigen Verengung keine Schaufelreihen anzuordnen.

3.2 Gassenverschluß

Im Übergang kann der Gassenverschluß eingebaut werden (s. Bild 6). Bei geöffneter Gasse soll die Stauhaut eine waagerechte Lage einnehmen. Auf der Stauhaut so zeigen die Versuche, sollen im Abstand von 0,50 m Schaufelreihen angeordnet werden.

Damit das Wasser beim Öffnen der Gasse aus der Verschlußgrube ausströmen kann, sind beidseitig 0,15 x 0,30 m große Spülkanäle erforderlich. Darüber hinaus sind an beiden Gassenseiten Belüftungsrohre vorzusehen. Durch die Belüftungsrohre soll ein Druckausgleich unter dem Verschluß ermöglicht werden, um eine Erhöhung der Aufzugskräfte beim Schließen der Gasse zu verhindern.

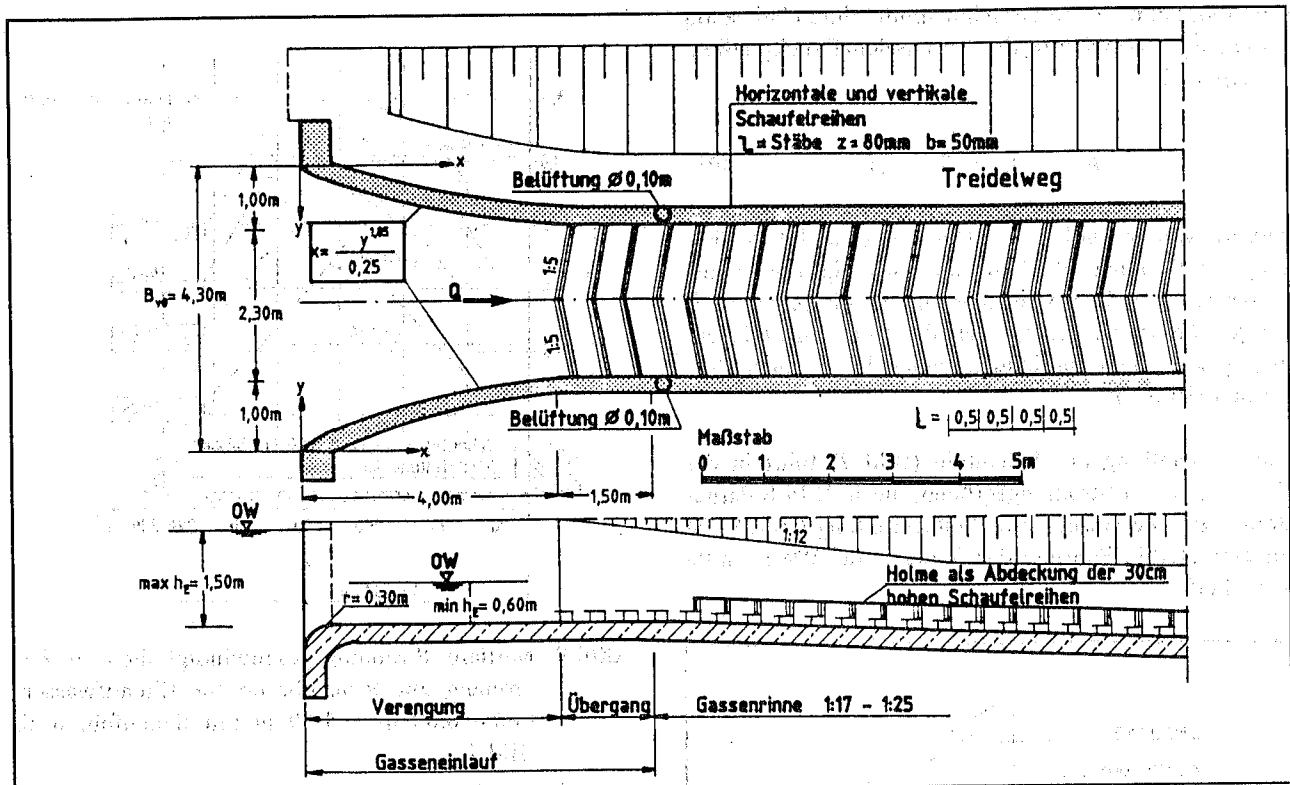


Bild 5: Ausführungsvorschlag für einen Bootsgasseneinlauf

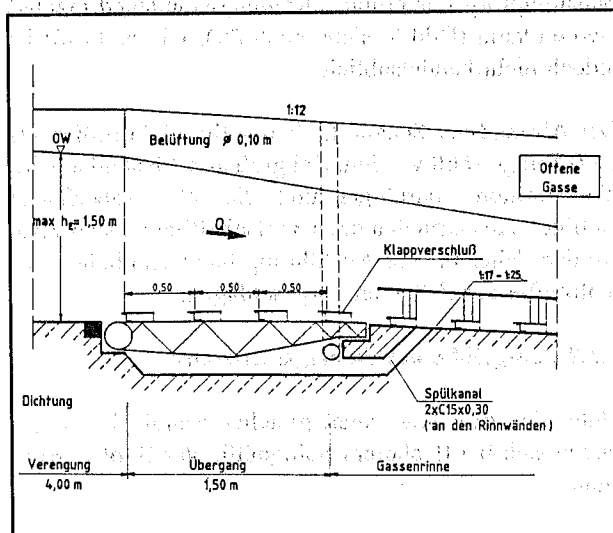


Bild 6: Anordnung und Ausbildung des Gassenverschlusses

3.3 Gassenrinne

In der Gassenrinne lassen sich die Strömungs- und Fahrwasserverhältnisse mit dem Profil der Schaufeln, der Stellung der Schaufeln zur Gassenlängsachse, der senkrecht zur Strömungsrichtung projizierten Fläche $A_{\perp}$ der Schaufeln, der Einlaufwassertiefe h_E ,

dem Sohlgefälle der Bootsgassenrinne J_g , beeinflussen. Von diesen Einflußgrößen sind sowohl der Energieverlust ΔH als die Widerstandsziffer c_w abhängig.

3.3.1 Schaufelreihen

Für stabile Strömungs- und Fahrwasserverhältnisse sowie für die erforderliche Verkehrssicherheit sind an die Strömungsgeschwindigkeit in der Gassenrinne zweierlei Forderungen zu stellen:

- Der Mittelwert der Strömung über den Abflußquerschnitt soll sich dem theoretisch erreichbaren Minimalbetrag, bei gleichbleibender Einlaufwassertiefe h_E nähern. Dadurch kann die Fahrgeschwindigkeit der Sportboote klein gehalten werden.
- Im Abflußquerschnitt soll sich über der Rinnenachse ein Strömungskern mit großen Geschwindigkeiten und an den Wänden eine Randströmung mit großen Geschwindigkeitsgradienten ausbilden. Im Bereich der größten Strömungsgeschwindigkeiten werden Druckminima und an den Rinnenwänden Druckmaxima erzeugt. Daraus muß sich ein Druckgradient

$$\bar{p} = \frac{(\max \bar{v} - \min \bar{v})^2}{2} \rho \quad (5)$$

einstellen.

Das Boot kann also in der Rinnenmitte durch beidseitig entgegengesetzte Kräfte, die sich aus dem Druckgradienten ergeben,

$$F = L \cdot T \cdot \bar{p} \quad (6)$$

geführt werden, wobei L = Bootslänge und T = Tiefgang des Bootes sind. Damit die unter Pkt. b genannte Forderung erreicht werden kann, müssen die Schaufelreihen gegenüber der Längsachse der Rinne in Pfeilrichtung gegen die Fließrichtung unter 1 : 5 angeordnet werden (Bild 7).

Die Pfeilstellung der Schaufeln (Bild 7) führt in der Gassenrinne zu Strömungsgrößen, die in Bild 8 dargestellt sind. Die Geschwindigkeitsverteilung (Bild 8) ist für eine stabile Führung der Boote in der Gassenmitte vorteilhaft.

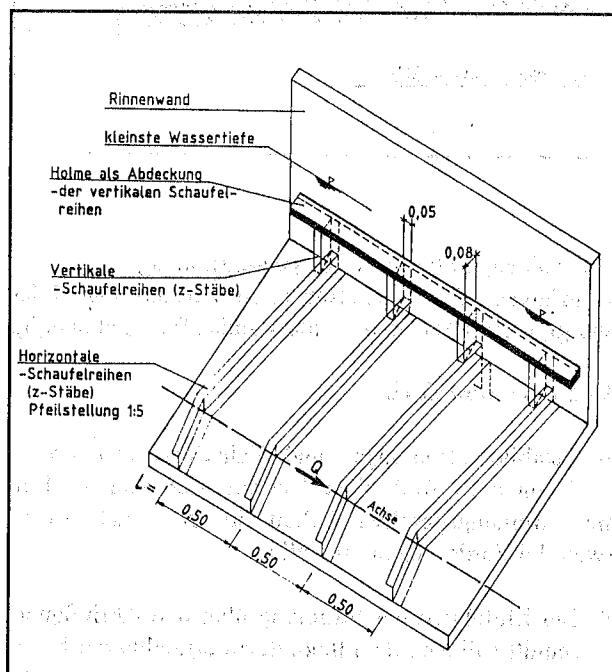


Bild 7: Anordnung der Schaufelreihen aus Z-Profilstäben in Pfeilstellung (Ausführungsvorschlag)

Die Schaufelreihen sollten bei den hier anstehenden Betriebsanforderungen folgende Wirkungen zeigen:

- 1) Große Wassertiefen in der Beharrungstrecke der Bootsgassenrinne h_G ,
- 2) minimale Strömungsgeschwindigkeiten $\bar{v}$ bei allen Einlaufwassertiefen h_E ,
- 3) hohe örtliche Energieverluste ΔH , somit große Widerstandszahlen c_w .

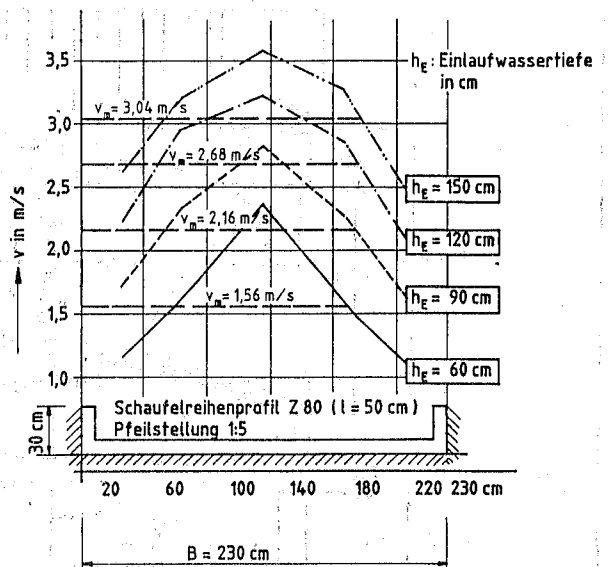


Bild 8: Mittlere Strömungsgeschwindigkeiten in Zuordnung zur Rinnenbreite für Einlaufwassertiefen $0,60 \text{ m} < 1,50 \text{ m}$ mit Schaufeln nach Bild 7

Die Untersuchungen selbst ergaben, daß mit dem unter 40° gegen die Sohle und Strömungsrichtung geneigten Schaufelprofil der größte Strömungswiderstand erzeugt werden kann (Bild 3, siehe auch /3/). Dieses Profil ist jedoch nicht handelsüblich.

Der Abstand der Schaufelreihen sollte nicht größer als $l = 0,5 \text{ m}$ gewählt werden. Bei größeren Abständen wird die Strömung unruhiger und die Wasseroberfläche welliger. Aus Gründen einer wirtschaftlichen Bauweise werden daher für die Ausführung handelsübliche Normalprofile aus Z-Stäben vorgeschlagen.

3.3.2 Sohlgefälle der Bootsgassenrinne

Unter der Annahme sonst gleicher Randbedingungen lassen sich bei flacherem Sohlgefälle der Bootsgassenrinne

- größere Wassertiefen h_G ,
- kleinere Strömungsgeschwindigkeiten $\bar{v}$ und
- erhöhte Sicherheiten für die Benutzer

erzielen.

Die Rinnenneigung 1 : 25 erfüllt das technisch-wirtschaftliche Optimum des Systems Sportboot/Bootgasse annähernd. Diese Neigung sollte immer dann gewählt werden, wenn bei stark wechselnden Einlaufwassertiefen ein sicherer Betrieb gewährleistet werden soll. Die Rinnenneigung sollte jedoch keinesfalls steiler als 1 : 20 gewählt werden.

3.4 Bootsgassenauslauf

Der Gassenauslauf ist eine seitliche Gerinneerweiterung bei schießendem Abfluß. Erfolgt die Erweiterung zu rasch, so kommt es zu Verzögerungen der Strömung mit Druckanstieg, dies wiederum führt zu Strömungsablösungen. Unterhalb des Querschnittes, in dem der Ablösungspunkt liegt, müßte demzufolge die effektiv durchströmte Breite abnehmen. Als Begleiterscheinung würden dabei immer störende Kreuzwellen entstehen.

Beim Entwurf eines Bootsgassenauslaufes geht es also darum, die Form zu finden, mit der sich bei möglichst geringer Baulänge Strömungsablösungen vermeiden lassen. Im vorliegenden Fall kann also der Auslauf als optimal bezeichnet werden, in dem die Strömung bei Vermeidung von Ablösungen möglichst rasch verbreitert und danach möglichst störungsfrei wieder parallel ausgerichtet wird.

Im Modell wurde eine Form des Bootsgassenauslaufes bestimmt, mit der Strömungsablösungen und damit verbundene

- Kreuzwellen und
- zum Ufer hin gerichtete plötzliche Strömungsumlenkungen auf jeden Fall vermieden werden können.

Damit die Hauptströmung sich nicht seitlich anlegen kann (Coanda-Effekt), sollte die landseitige Wand des Bootsgassenauslaufes in die Uferböschung zur Rinnen-

achse unter der Neigung mindestens 1 : 2 eingebunden werden (Bild 9).

4 Allgemeine Leitsätze für Kleinschiffahrtsschleusen

Bootsschleusen werden an Flußläufen gebaut an denen:

- I) Ein starkes Verkehrsaufkommen von Kleinfahrzeugen und Fahrgastschiffen vorhanden ist,
- II) Der Umfang gewerblicher Schifffahrt die Nutzung der Großschleusen für die Kleinschifffahrt ausschließt,
- III) Die Wasserersparnis bei den Schleusungen aufgrund geringer Wasserführung oder Energiegewinnung in Laufwasserkraftwerken bedeutsam ist und die Gefällestufen wegen des Freizeitwertes der Landschaft durchgehend befahrbar bleiben sollen.

Eine wichtige Grundlage für die Größenwahl der Schleusenkammer ist die Kenntnis über den vorhandenen und den zu erwartenden Verkehr der Kleinfahrzeuge nach Art und Menge. Dabei ist eine Aufteilung in

- a) Ruderboote und Kanus,
- b) Motorboote und Segelboote,
- c) Fahrgast- und Fahrgastkabinenschiffe

denkbar.

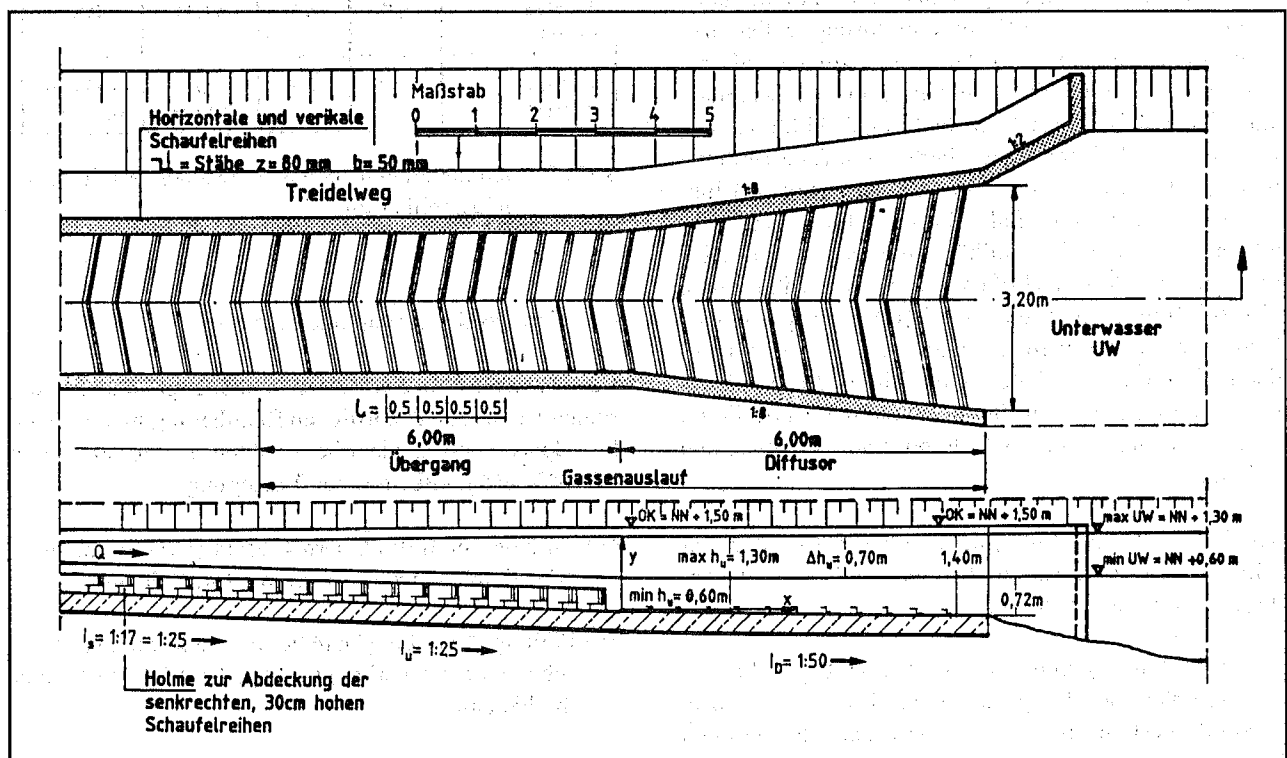


Bild 9: Ausführungsvorschlag für den Bootsgassenauslauf

Hierbei ist aus Erfahrungen zu beachten, daß der Bau nutzungsgerechter Anlagen die Kleinschiffahrt attraktiv macht.

Nach bisherigen Erfahrungen soll die Schleusenammer folgende Abmessungen nicht überschreiten:

1. Nutzbare Länge $L_n = 20 - 25$ m
Nutzbare Breite $B = 4,0 - 4,5$ m
bei einem überwiegendem Anteil der Boote, die unter Pkt. a) und b) genannt sind.
2. Nutzbare Länge $L_n = 25 - 40$ m
Nutzbare Breite $B = 6,5 - 7,5$ m
wenn alle Boote die unter Pkt. a) bis c) genannt sind, die Schleuse benutzen sollen.

Die nachstehende Tabelle 2 zeigt die Abmessungen einiger Kleinschiffahrtsschleusen, die in den letzten 20 Jahren an deutschen Binnenwasserstraßen gebaut wurden.

An die Füll- und Entleerungssysteme der Schleusen werden folgende Anforderungen gestellt:

- kurze Füll- und Entleerzeiten,
- ruhige Schiffslage, d. h. turbulenz- und wellenarmes Einstömen des Füllwassers in die Kammer,
- geringe Beanspruchung der Festmachetrossen,
- optimale Bau- und Betriebskosten.

Diese Forderungen widersprechen sich und sind daher nur auf dem Wege einer Kompromißlösung realisierbar. Kurze Füllzeiten erfordern hohe sekundliche Zuflüsse und große Steiggeschwindigkeiten in der Kammer. Dabei ist aber die Tatsache bedeutsam, daß Füllsysteme, bei denen die Füllung vom Oberhaupt erfolgt (Füllung über das Torschütz oder über kurze Torumläufe) hinsichtlich Füllzeit und Fallhöhe eine Leistungsgrenze aufweisen. Wenn die Fallhöhe ein bestimmtes Maß überschreitet, dessen Größenordnung bei zeitgemäßen Kleinschiffahrtsschleusen etwa bei 4 m liegen dürfte, dann werden die Anforderungen an die Füllzeit zu einem Wechsel des Füllsystems führen. In der Regel werden Längskanäle mit Stichkanälen realisiert, die im Querschnitt der Kammerwände oder der Kammersohle verlaufen.

Der Vorteil dieser Füllsysteme liegt darin, daß der Füllschwall stark vermindert, Fließ- und Wellenbewegungen vermieden werden.

Der Spiegelanstieg in der Kammer verläuft gleichmäßiger ohne merkbare Längsneigungen. Das wesentlichste Ergebnis besteht aber darin, daß bei gleichgroßen Trossenkräften die Füllzeiten merklich verkürzt werden können.

Schleuse/ Wasserstraße	Breite B [m]	Län- ge m	Fallhö- he m	Baujahr
Bad Abbach (Donau)	4	20	5,70	1975
Regensburg (Donau)	4	20	5,20	1977
Riedenburg (Altmühl)	4	20	8,40	1977
Mühlheim (Main)	4	20	3,77	1980
Krotzenburg (Main)	4	20	2,74	1983
Kehlheim (Altmühl)	4	20	8,40	1989
Wahnhausen (Fulda)	6,75	35	8,50	1980
Wilhelmshau- sen (Fulda)	7,50	35	2,44	1990
Bonaforth (Fulda)	7,50	35	2,41	1986
Kanzem (Saar)	6,75	40	11,75	1982
Serrig (Saar)	6,75	40	14,50	1985
Rehlingen (Saar)	6,75	40	8,00	1983
Mettlach (Saar)	6,75	40	11,00	1984
Bremen (Weser)	6,50	25	3,70 (Mittel)	1994-96 (geplant)

Tab. 2: Abmessungen neuer deutscher Kleinschiffahrtsschleusen

4.1 Füll- und Entleerungssysteme

Bei der Wahl eines wirtschaftlichen Füll- und Entleerungssystems je nach örtlichen Randbedingungen stehen für Sport- und Freizeitbootsschleusen grundsätzlich folgende Möglichkeiten zur Verfügung:

- 1a) Füllung durch das Obertor direkt (Drehsegmenttor) oder durch Torschütze (Stemmtor, Schlagtor).
- 1b) Füllung über Längskanäle mit zusätzlichen Füllschützen am Oberhaupt und einer Vielzahl kleiner Stichkanäle.
- 2a) Entleerung durch Torschütze (Stemmtor, Schlagtor).

- 2b) Entleerung über Längskanäle mit zusätzlichen Entleerungsschützen und Stichkanälen (analog der Füllung).

Durch diese Füll- und Entleerungssysteme lassen sich teilweise bauliche Einsparungen durch geringe Gründungstiefen erzielen, wenn die Kammerwände so konstruiert werden, daß die Längskanäle integriert werden können.

4.2 Berechnung der Füll- und Entleervorgänge

Bei der Berechnung des Füllvorganges ist es notwendig zu wissen, wann der Kammerwasserspiegel die Höhe der Füllöffnung, d. h. die Drempeloberkante erreicht hat. Der Zufluß zum Zeitpunkt t kann nach der allgemein bekannten Gl. (7) berechnet werden.

$$Q_t = \mu (a_0 + nt) \sqrt{2g} \cdot \sqrt{H_t} \quad (7)$$

Für die Ermittlung der Druckhöhe H_t zum Zeitpunkt t ist zu unterscheiden, ob der Füllquerschnitt tiefer oder höher als das Unterwasser liegt. (Füllung mit tiefliegendem oder hochliegendem Drempel: Bild 10 und 11.)

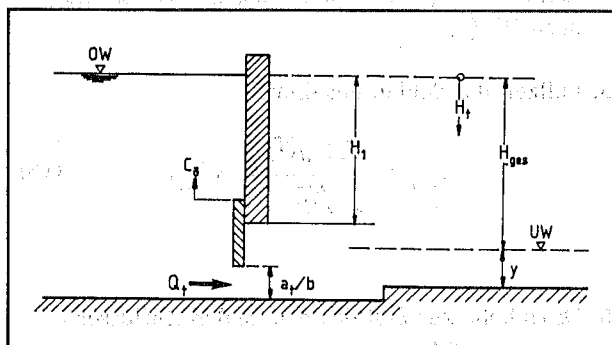


Bild 10: Zufluß während der ersten Füllphase mit tiefliegendem Drempel

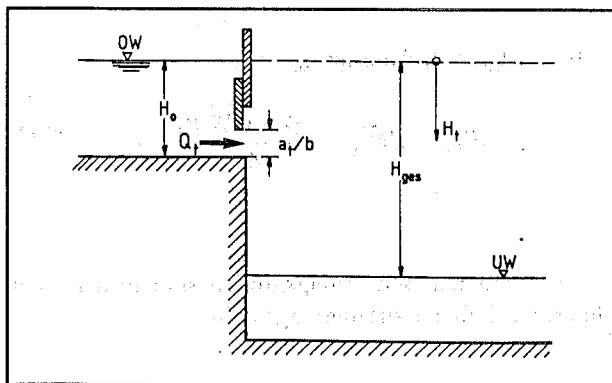


Bild 11: Zufluß während der ersten Füllphase mit hochliegendem Drempel

Die Berechnung der Füllkurven kann dann nach den allgemein bekannten Gleichungen durchgeführt werden.

- Mit tiefliegendem und
- Mit hochliegendem Drempel.

Grundsätzlich gilt für die Entleerung der Kammer analoges wie für die Füllung, jedoch kann die Freigabe der Entleerungsquerschnitte wesentlich schneller vorgenommen werden, da einerseits das Schiff zu Beginn in der Kammer wegen des hohen Wasserstandes ruhiger liegt und sich andererseits die Energieumwandlung außerhalb der Kammer vollzieht. Nähere Einzelheiten über die Hydraulik des Füll- bzw. Entleerungsvorganges können den umfangreichen Veröffentlichungen (z. B. /4/) entnommen werden.

4.3 Zufluß- und Entleerungswassermengen

Die am Schiff während des Füllvorganges angreifende Gesamtkraft ist von

- dem Füllsystem (siehe Abschnitt 4.1),
- der Zuflußwassermenge (Q),
- der Zunahme des sekundlichen Wasserzuflusses in die Schleusenkammer (dQ/dt)

abhängig.

Für die Festlegung einer maximalen Zuflußmenge $max. Q_0$ ist daher die Kenntnis der Grenzen für die Beanspruchungen der Kleinschiffe erforderlich. Die Betriebserfahrungen an den Kleinschiffahrtsschleusen, die unter Abschnitt 4 tabellarisch erfaßt sind, können Hinweise und Aufschlüsse über diese wohl noch höher festzulegenden Grenzen liefern.

Für die weitere Betrachtung werden zwei Prototypen mit großer und geringer Fallhöhe, und zwar die Saarschleuse Serrig (Hubhöhe $H_{Ges} = 14,5$ m; Füllsystem über Längskanäle) und die Mainschleuse Mülheim (Hubhöhe $H_{Ges} = 3,47$ m; Füllsystem am Oberhaupt) herangezogen. Die beiden Schleusenanlagen sind seit 12 bzw. 7 Jahren für den Benutzerkreis verfügbar. Beanstandungen über unzulässige Trossenkräfte oder starke Turbulenzerscheinungen während des Betriebs, sind nicht bekannt oder beobachtet worden.

- Saarschleuse Serrig

$$H_{Ges} = 14,5 \text{ m; } A = 51,7 \cdot 6,75 = 349 \text{ m}^2$$

$$t_{Ges} = 12 \text{ min.} = 720 \text{ s; } V = 5060 \text{ m}^3$$

$$Q_{Mittel} = 5060/720 = 7,03 \text{ m}^3/\text{s;}$$

$$a_1 = 2 \times 0,80 \times 1,0 = 1,6 \text{ m}^2; c_s = 2,0 \text{ mm/s}$$

$$t_1 = 1000/2 = 500 \text{ s; } n = 0,0032 \text{ m}^2/\text{s}$$

Mittlerer Füllbeiwert:

$$\mu_m = \frac{2A \cdot \sqrt{H_{Ges}}}{\sqrt{2g} a_1 (t_{Ges} - t_{1/2})} \approx 0,80 \quad (8)$$

Zeit bis zum Erreichen von Q_{max} :

$$t_{max} = \sqrt{\frac{4A \sqrt{H_{Ges}}}{3\mu n \cdot \sqrt{2g}}} = 395,45 \text{ s} < 500 \text{ s} \quad (9)$$

Q_{max} vor der Schützöffnung:

$$Q_{max} = \sqrt{16/27 \mu \cdot \sqrt{2g} n \cdot A H_{Ges}^{1,5}} = 11,36 \text{ m}^3/\text{s} \quad (10)$$

damit die Steiggeschwindigkeit des Kammerspiegels:

$$v_{max} = \frac{Q_{max}}{A} = 1,95 \text{ m/min}; v_{Mittel} = 1,20 \text{ m/min} \quad (11)$$

Bei der Hubgeschwindigkeit der Schütze ($2 \times 0,8 \times 1,0 = 1,6 \text{ m}^2$) von $c_d = 2,0 \text{ mm/s}$ ergibt sich eine Füll- bzw. Entleerzeit von 12 Min. = 720 s. Die Hub- und Zuflußmengenkurve bei der Füllung der Schleusenkammer Serrig durch 20 Düsen je Längskanalseite sind auf Bild 12 graphisch dargestellt:

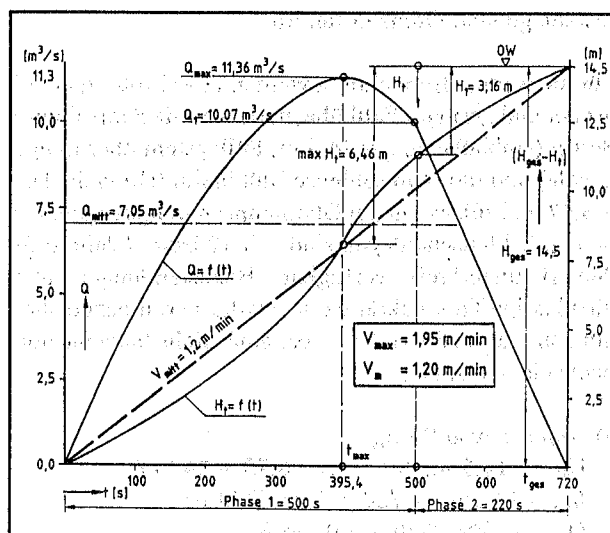


Bild 12: Hub- und Zuflußmengenkurve bei der Füllung der Schleusenkammer Serrig (Füllung mit tiefliegendem Drempel)

Mit den Größen der Saarschleuse Serrig

$$Q_{max} \approx 11,36 \text{ m}^3/\text{s}, \mu_m = 0,80$$

lassen sich für andere Schleusenfallhöhen nachstehende Bemessungsansätze festlegen:

1. Sekundliche Freigabe des Füllquerschnittes

$$n = \frac{Q_{max}^2}{16/27 \mu \sqrt{2g} A H_{Ges}^{1,5}} \text{ [m}^2/\text{s]} \quad (12)$$

2. Öffnungsgeschwindigkeit des Füllschützes

$$c_d = n/b \text{ [m/s]} \quad (13)$$

3. Öffnungszeit

$$t_1 = n/a_1 \text{ [s]} \quad (14)$$

4. Zeitpunkt t_{max} bis zum Erreichen der Zuflußspitze nach Gl. (9)

5. Füllzeit der Schleusenkammer

$$t_{Ges} = \frac{2A \sqrt{H_{ges}}}{\mu \sqrt{2g} \cdot a_1} + t_{1/2} \quad (15)$$

6. Druckhöhe zur Zeit des maximalen Zuflusses

a) $t_{max} < t_1$

$$\sqrt{H_t} = \sqrt{H_{Ges}} - \frac{\mu \cdot n \sqrt{2g}}{4A} \cdot t_{max}^2 \quad (16)$$

b) $t_{max} > t_1$ dann ist $t_{max} = t_1$

$$\sqrt{H_1} = \sqrt{H_{ges}} - \frac{\mu \cdot \sqrt{2g} a_1}{4 A} \cdot t_1 \quad (17)$$

Die berechneten Bemessungsgrößen sind in der nachstehenden Tabelle zusammengestellt.

H_{Ges}	n	c_o	t_1	t_{max}	H_t	t_{Ges}	
m	m ² /s	mm/s	s	s	m	s	min.
5	0,0148	9,2	108	108	3,23	329	5,48
6	0,0112	7,0	142	142	3,50	373	6,2
7	0,0089	5,6	179	179	3,68	415	6,9
8	0,0073	4,6	217	217	3,79	457	7,6
9	0,0061	3,8	263	254	4,00	500	8,34
10	0,0052	3,3	303	283	4,43	541	9,01
11	0,0045	2,8	357	311	4,97	587	9,78
12	0,0040	2,5	400	337	5,42	626	10,44
13	0,0035	2,2	454	368	5,85	670	11,2
14	0,0032	2,00	500	392	6,31	710	11,84
15	0,0028	1,8	555	426	6,77	754	12,57
16	0,0026	1,6	625	450	7,20	804	13,40
Kammerfläche der Schleuse $A = 349 \text{ m}^2$							

Tab. 3: Bemessungsgrößen für die Füllung von Kleinschleusen unter Berücksichtigung der Fallhöhe.

Die Zunahme des sekundlichen Wasserzuflusses in die Schleusenkammer über 20 dösenartige Stichkanäle je Seite ist bedeutungslos. Dies liegt daran, daß die über die Kammerlänge angeordneten Stichkanäle ein Wasserspiegelgefälle in Längsrichtung nahezu verhindern.

Der maximale Zufluß zur Schleuse Q_{max} und die Kammerfläche A stehen in dem mit der Gl. (18) definiertem Verhältnis

$$\frac{Q_{max}}{\sqrt{A}} = \sqrt{\frac{16}{27}} \mu \cdot \sqrt{2g} n \cdot H_{Ges}^{1,5} \quad (18)$$

Für die hier betrachtete Kleinschiffahrtsschleuse Serrig ergibt sich

$$Q_{max}/\sqrt{A} = 0,61 \text{ [m}^2/\text{s]}$$

und daraus

$$Q_{max} = 0,61 \sqrt{A}$$

der maximale Zufluß zu einer Kleinschleuse Q_{max} unter Berücksichtigung der Kammerfläche A kann der nachstehenden Tabelle 4 entnommen werden.

$A \text{ [m}^2\text{]}$	350	300	250	200	150	100
$Q_{max} \text{ [m}^3/\text{s}\text{]}$	11,36	10,57	9,65	8,63	7,47	6,10

Tab. 4: Richtwerte für maximale Zuflüsse in Abhängigkeit von der Kleinschleusenkammerfläche A

b) Mainschleuse Mühlheim

$$H_{Ges} = 3,77 \text{ m}; A = 30,7 \times 4,0 = 122,8 \text{ m}^2$$

$$t_{Ges} = 6,5 \text{ min.} = 390 \text{ s}; v = 463 \text{ m}^3$$

$$Q_{Mittel} = 463/390 = 1,19 \text{ m}^3/\text{s}; q_{Mittel} = 0,30 \text{ [m}^3/\text{s}\text{]}/\text{m}$$

$$a_1 = 2,2 \times 0,3 = 0,66 \text{ m}^2; c_o = 2,2 \text{ mm/s}$$

$$t_1 = 300/2,2 = 137 \text{ s}; n = 0,66/137 = 0,0048 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$H_o = 2,30 \text{ m}, H_{Ges} - H_o = 1,47 \text{ m}$$

Mittlerer Füllbeiwert:

$$\mu_m = \frac{A (H_{Ges} + H_o)}{\sqrt{2g} \cdot a_1 \sqrt{H_o} (t_{Ges} - t_{1/2})} = 0,523 \quad (19)$$

Zeit bis zum Einstauen des Füllspaltes am Drempel:

$$t_D = \frac{A (H_{Ges} - H_o)}{\mu \cdot \sqrt{2g} \cdot a_1 \cdot \sqrt{H_o}} + \frac{t_1}{2} = 146,3 \text{ s} \quad (20)$$

Größte Zuflußmenge:

$$Q_{max} = \mu \cdot \sqrt{2g} \cdot \sqrt{H_o} \cdot a_1 = 2,32 \text{ m}^3/\text{s} \quad (21)$$

Druckhöhe nach beendigter Öffnung des Füllspaltes:

$$H_1 = H_{Ges} - \frac{\mu \cdot \sqrt{2g} \cdot \sqrt{H_o} \cdot a_1 \cdot t_1}{2A} = 2,47 \text{ m} \quad (22)$$

Steiggeschwindigkeiten des Kammerwasserspiegels:

$$v_{max} = Q_{max}/A = 1,13 \text{ m/min.}, v_{Mittel} = 0,58 \text{ m/min.}$$

Bild 13 zeigt die Hub- und Zuflußmengenkurve während der Kammerfüllung der Bootschleuse Mühlheim/Main durch ein im Schlagtor eingebautes Schütz ($a_1 = 2,2 \times 0,30 = 0,66 \text{ m}^2$), das linear mit $c_o = 2,2 \text{ mm/s}$ geöffnet wird. Der maximalen Hubgeschwindigkeit des Kammerwasserspiegels $v_{max} = 1,13 \text{ m/min}$ ist die maximale Zuflußwassermenge $Q_{max} = 2,32 \text{ m}^3/\text{s}$ zuzuordnen.

Beim Beginn des Füllvorganges der Kammer vom Oberhaupt aus, stellt sich ein zum Unterhaupt der Schleuse geneigtes Wasserspiegellängsgefälle ein. Auf die in der Kammer liegenden Schiffe wird dadurch eine Neigungskraft

$$F_w = G_s \cdot I_w \quad (23)$$

ausgeübt.

Die Größe des Wasserspiegellängsgefälles (Neigung der Wellenfront des Füllschwalls) zu Beginn des Schleusungsvorganges ist im wesentlichen von der sekundlichen Zunahme der Zuflußmenge dQ/dt abhängig. Die zulässige größte Zunahme des sekundlichen Wasserzuflusses in die Schleusenkammer läßt sich mit der Gleichung (24) bestimmen.

$$\left(\frac{dQ}{dt}\right)_{max} = \left(\frac{dQ}{dt}\right)_{t=0} = \mu_m \cdot n \cdot \sqrt{2g} \sqrt{H_o} \quad (24)$$

$$I_w = \frac{1000}{g \cdot B \cdot y_o} \frac{dQ}{dt} \% \quad (25)$$

wobei:

B - Kammerbreite und
 y_o - Wassertiefe in der Schleuse zu Beginn des Füllvorganges

bedeuten.

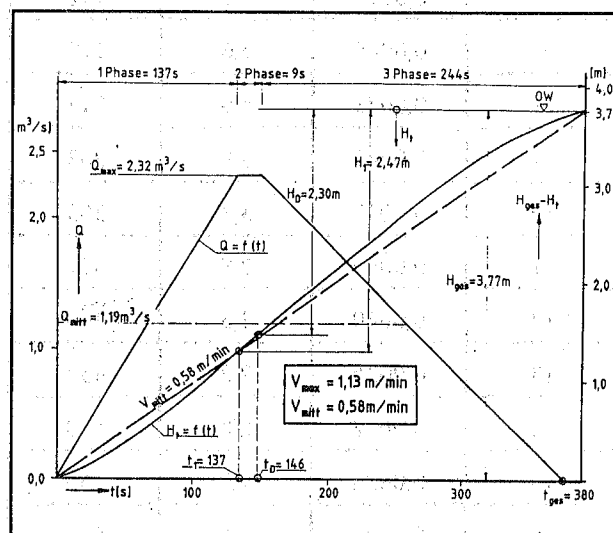


Bild 13: Hub- und Zuflußmengenkurven bei der Füllung der Bootschleuse Mühlheim/Main (Füllung mit hochliegendem Drempel).

Für die Schleuse Mühlheim mit $y_o = 1,8 \text{ m}$; $B = 4,0 \text{ m}$; $n = 0,005 \text{ m}^2/\text{s}$; und $H_{ges} = 3,77 \text{ m}$ läßt sich $I_w = 0,25 \%$ berechnen.

Mit Hilfe dieses Wertes $I_w = 0,00025$ kann die zulässige Zunahme des sekundlichen Wasserzuflusses in eine Kleinschleuse dieser Art allgemein als Richtwert angegeben werden (Gl. 22).

$$\frac{dQ}{dt} = 0,0025 \cdot B \cdot y_o \quad (26)$$

Der maximale Zufluß sollte bei Vorkopffüllungen aus Erfahrung soweit begrenzt werden, daß Steiggeschwindigkeiten des Kammerwasserspiegels den Wert $0,60 \text{ m/min}$ nicht überschreiten.

5 Hinweise für die konstruktive Gestaltung von Kleinschleusen

Die Strömungsvorgänge in der Schleusenkammer lassen sich durch die bauliche Gestaltung der Füll- und Entleerungseinrichtungen wesentlich beeinflussen. Neben Wirtschaftlichkeitsaspekten müssen daher bei der

Lösung konstruktiver Probleme die Fragen der heutigen Sicherheitsanforderungen bei der Benutzung der Kleinschleusen berücksichtigt werden.

An allen Schleusen sind daher Einrichtungen zur Energieumwandlung erforderlich, welche eine möglichst ruhige Lage der Kleinfahrzeuge während des ganzen Füll- oder Entleerungsvorganges gewährleisten.

5.1 Fülleinrichtungen

Wie bereits unter Abschnitt 4 gesagt wurde, muß hierbei zwischen der Füllung über Seitenkanäle und der vom Oberhaupt unterschieden werden.

- a) Füllung über Seitenkanäle
Für die Wasserzuführung sind folgende baulichen Elemente zu bemessen und zu gestalten.

- Einlaufbauwerke in der Einfahrt zur Schleuse.
- Falleitungen mit Krümmern herunter zu den Schützverschußquerschnitten.
- Längskanäle mit relativ großen Querschnitten zur Verminderung von Druckunterschieden.
- Düsenartige Stichkanäle nach Anzahl und Querschnittsgröße.
- Prallwand vor den Ausmündungen besonders für den Fall der Füllung durch nur einen Kanal.

Jede dieser Stationen, die das Wasser passiert, wurde in der BAW' in einem wasserbaulichen Modell im Maßstab 1 : 7,5 untersucht und optimiert (siehe /5/). Die Einlaufgestaltung muß die Wirbelbildung und den Lufteinzug verhindern. Dafür wurde eine gestreckte Einlauffrompete in erforderlicher Wassertiefe und mit Ausrundung der oberen Kante des Einlaufes im Modell entwickelt (Bild 14 und 15).

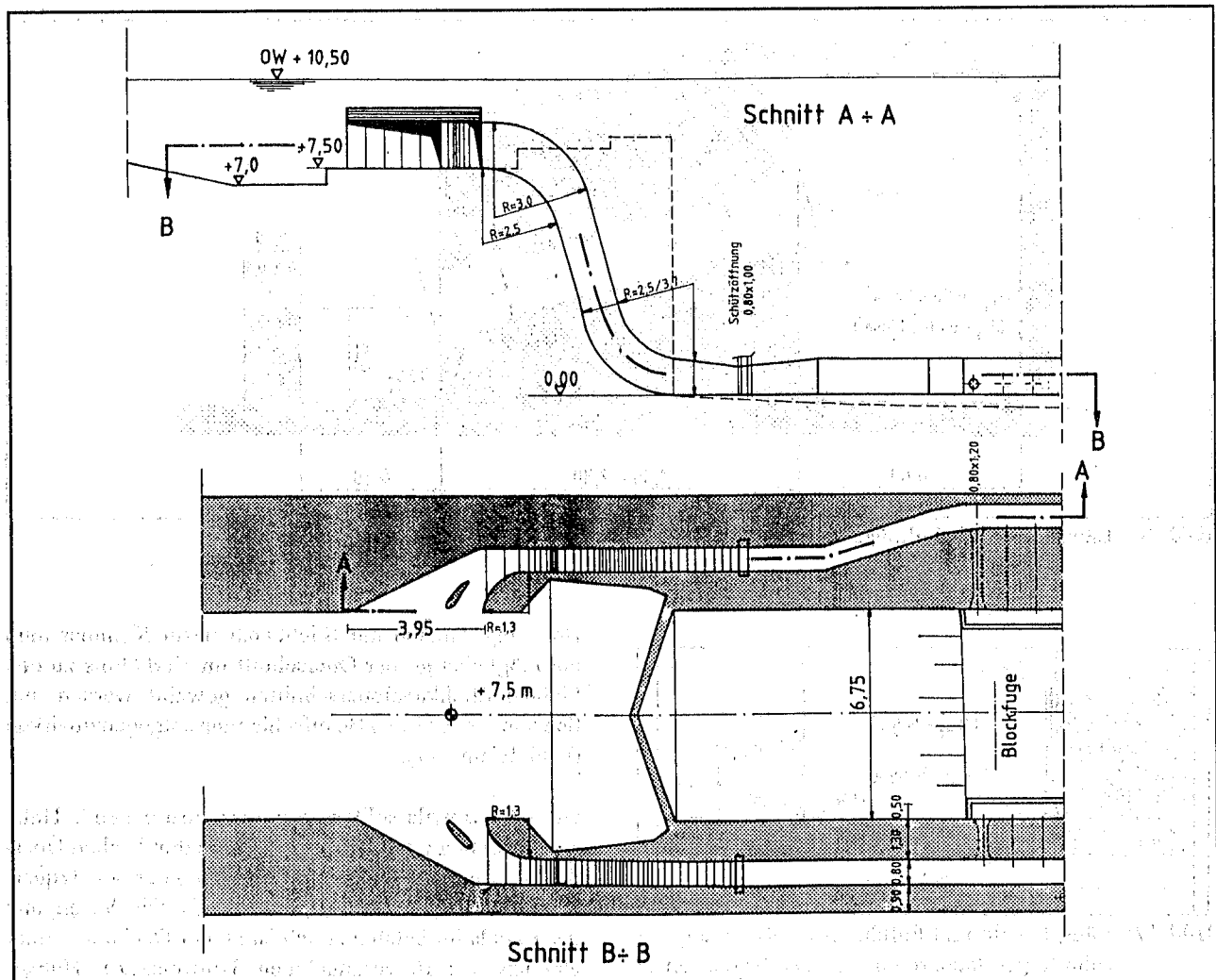


Bild 14: Gestaltung der Fülleinrichtungen am Oberhaupt nach /5/.

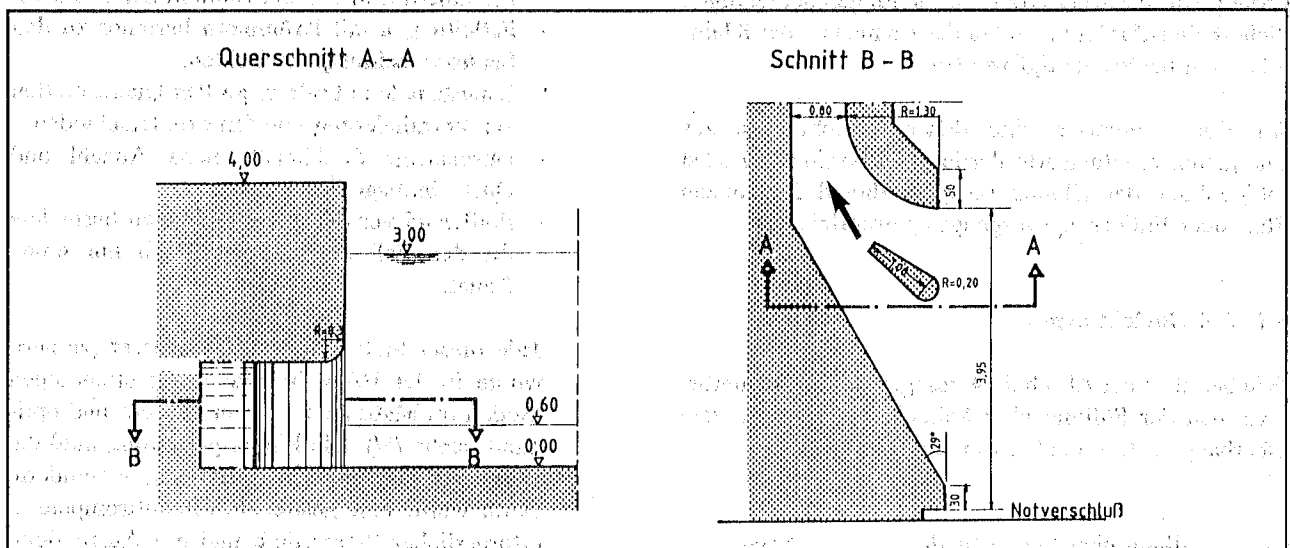


Bild 15: Längskanaleinlauf am Oberhaupt (Ausführungsempfehlung nach /5/)

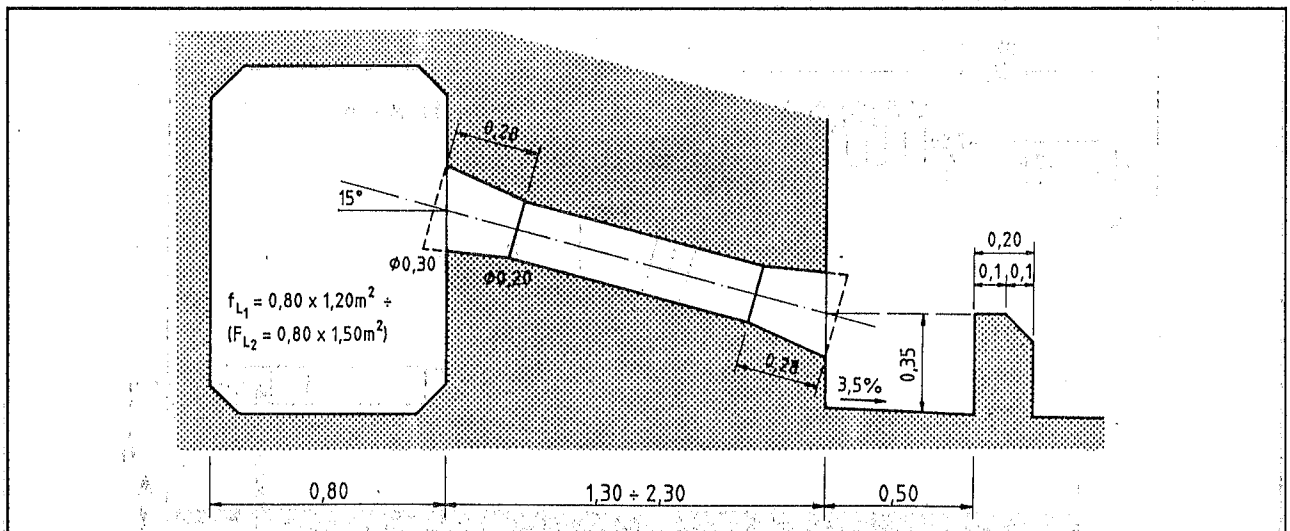


Bild 16: Längskanal mit Fülldüse und Prallwand (Ausführungsempfehlung nach /5/)

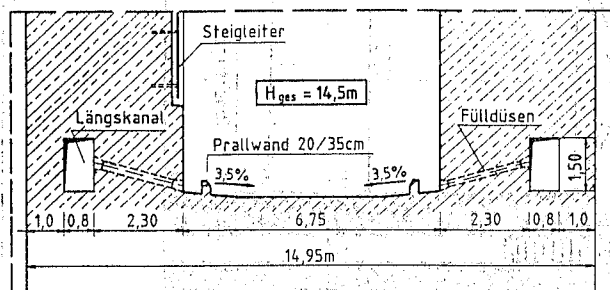


Bild 17: Längskanäle und Fülldüsen im Kammerquerschnitt (Bestandszeichnung der Saarschleuse Serrig)

Bei Längskanälen mit Stichkanälen zur Kammer muß ein möglichst großer Querschnitt im Verhältnis zu den kleinen Stichkanalquerschnitten gewählt werden, um Schwankungen in der Beaufschlagung entgegenzuwirken (Bild 16 und 17).

Die Längskanäle sollten zumindest ausreichende Höhe zur Begehung erhalten. Wegen der hydraulischen Überdimensionierung des Längskanals kann der Schützquerschnitt verengt werden ($0,8 \times 1,0 \text{ m}^2$). Die Verengung des Kanals im Schützbereich ist an der Decke mit einer Neigung 1 : 10 vorzunehmen. Hinweise zur Hubgeschwindigkeit des Schützes können der Tabelle 3 entnommen werden. Wegen der Trägheit der Wassersäule im Längskanal werden die dem Oberhaupt nächst-

gegen Ende schwächer, unter Umständen sogar negativ beaufschlagt. Diese negativen Erscheinungen lassen sich durch die Vielzahl enger Düsen im Abstand von 1,0 m weitgehend unterdrücken (Bild 18).

In der Kammer ist im Bereich der Düsen eine Prallwand wirksam, da die Düsenstrahlen dadurch in viele Kleinturbulenzen zerlegt werden. Das führt zu einer raschen Energieumwandlung und damit zu einem extrem ruhigen Kammerwasserspiegel, besonders auch dann, wenn nur ein Längskanal betrieben wird.

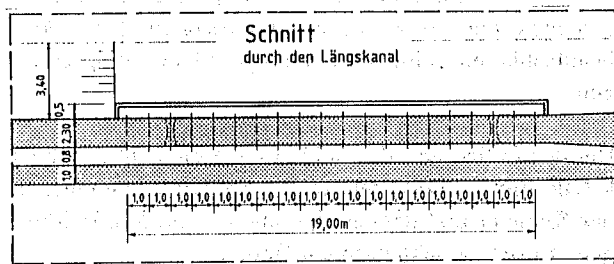


Bild 18: Verteilung der Fülldüsen in Kammerlängsrichtung (Bestandszeichnung der Saarschleusen)

b) Füllung vom Oberhaupt

Am Oberhaupt ist eine Energieumwandlung erforderlich, die eine möglichst ruhige Lage der Kleinfahrzeuge während des ganzen Schleusungsvorganges ermöglicht.

Es muß also der Füllstrom schon im näheren Torbereich so beeinflusst werden, daß bei allen Abflußzuständen große Turbulenzballen und ungleichmäßige Geschwindigkeitsverteilungen vermieden werden.

Bild 19 zeigt die Gestaltung der Energieumwandlung an der Bootsschleuse Mühlheim/Main. Alternativ kann auch die Energieumwandlungseinrichtung zur Anführung empfohlen werden, die für den Bau der Moselschleusen im Modell 1 : 25 (siehe auch /6/) entwickelt wurde (Bild 20).

Die Energieumwandlung erfolgt in einem Tosraum, der durch eine Prallwand abgeschrmt ist (Bild 19). Die Wirksamkeit kann mit einem Verteilerbalken noch verstärkt werden (Bild 20). Dies ist darauf zurückzuführen, daß das ausströmende Wasser-Luftgemisch teilweise durch den Verteilerbalken nach oben gelenkt wird. Dabei erfolgt eine Luftabscheidung mit gleichzeitiger Verminderung der Strömungsgeschwindigkeit in Längsrichtung.

Bei dieser an den Moselschleusen ausgeführten Beruhigungseinrichtung wird also eine vorteilhafte Wirkung zwischen dem Verteilerbalken und der Strömung herbeigeführt.

5.2 Entleerungseinrichtungen

Durch Entleerungseinrichtungen soll der Abfluß auf einen niedrigen Turbulenzgrad beruhigt und schwallwellenfrei in den unteren Vorhafen eingeleitet werden. Analog zu den Füllrichtungen muß dabei zwischen der Entleerung über Seitenkanäle und Entleerung unmittelbar am Unterhaupt unterschieden werden.

a) Entleerung über Seitenkanäle

Auf dem Entleerweg fließt das Wasser durch die düsenartigen Stichkanäle zurück in die Längskanäle,

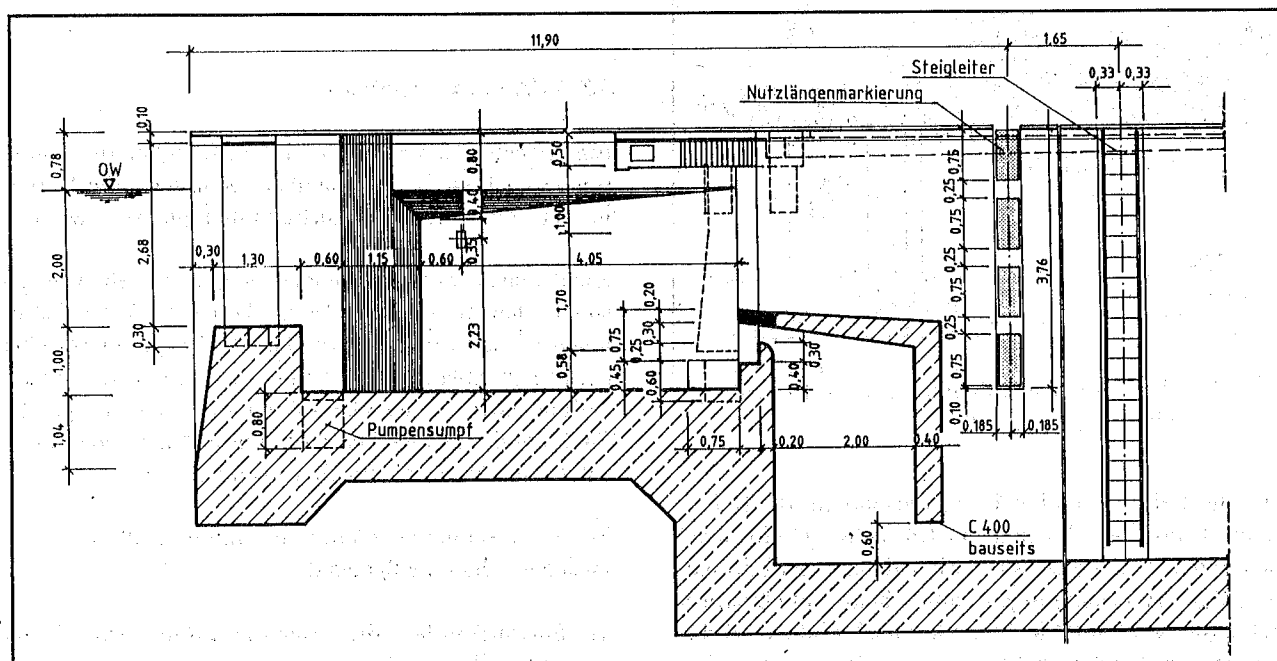


Bild 19: Energieumwandlung an der Bootsschleuse Mühlheim/Main (Bestandszeichnung)

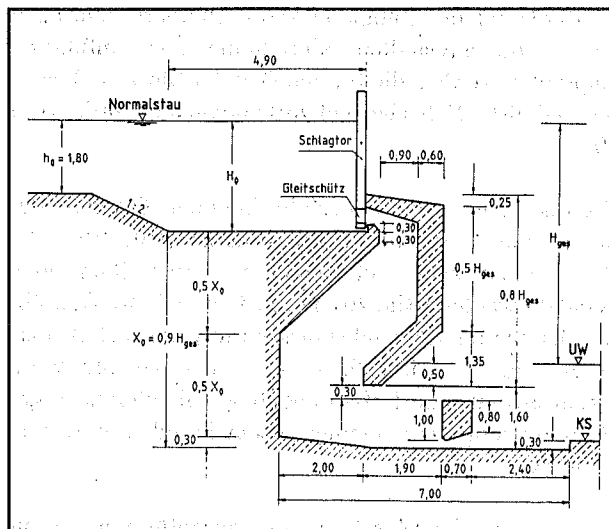


Bild 20: Ausführungsempfehlung für eine weitgehende Energieumwandlung bei der Füllung vom Oberhaupt (Prinzip Moselschleusen)

passiert das untere Schütz und wird dann durch den Auslauf in das Tosbecken geleitet, wo die Energie umgewandelt wird (Bild 21).

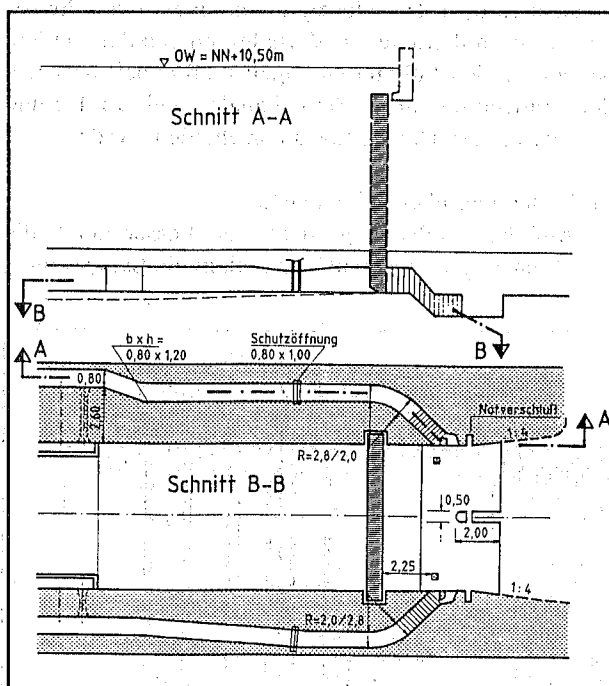


Bild 21: Ausführungsempfehlung für die Entleereinrichtung nach /5/

Um die Leistungsfähigkeit des Systems für die Entleerung zu erhöhen, können die Düsenquerschnitte nach den Enden zu aufgeweitet werden, da zu scharfe Kanten unnötige Einschnürungen und damit Fließverluste erzeugen würden (Bild 16). Aber auch einfache Rohre mit entsprechendem größeren Durchmesser haben sich

im praktischen Betrieb bewährt.

Der Auslauf hat die Aufgabe, den Wasserstrahl aus dem Längskanal im Tosbecken gleichmäßig zu verteilen. Dies ist vor allem bei gestörtem Betrieb (Ausfall eines Längskanals für die Entleerung) bedeutsam (Bild 21). Vor den Ausläufen im Tosbecken ist dafür je ein Störkörper und in der Längsachse ein Sporn anzuordnen (Bild 22).

Dadurch läßt sich in der Mitte des Tosbeckens ein stabiler Schwallkopf, auch bei gestörtem Betrieb, erzeugen und trotz der asymmetrischen Tosbeckenbeaufschlagung eine gleichmäßige Abströmung erzeugen.

Bei der Entleerung der Schleusenammer über Längskanäle gibt es praktisch keine Schwallbewegungen in der Kammer und demzufolge auch kaum Kraftwirkungen auf die zu schleusenden Boote.

- b) Kammerentleerung durch Schütze im Untertor
Bei der Kammerentleerung durch Entleerungsschütze im Tor stellt sich beim Beginn des Entleerungsvorganges zunächst ein zum Unterhaupt der Schleuse geneigtes Wasserspiegelgefälle ein. Dadurch wird auf die Kleinfahrzeuge eine Längskraft ausgeübt. Wegen des größeren Wasserpolsters in der Kammer wirkt sich jedoch die Wasserentnahme aus der Kammer unter sonst gleichen Randbedingungen weniger stark aus, als bei einem vergleichbaren Füllvorgang.

In Bild 23 ist das Auslaufbauwerk der Bootsschleuse Mühlheim/Main als Ausführungsbeispiel dargestellt.

5.3 Schleusenvorhöfen

Eine zweckentsprechende Funktionsfähigkeit der Bootsschleuse ist nur dann erreichbar, wenn auch die Vorhöfen und Zufahrten benutzerfreundlich gestaltet werden.

Es müssen daher bis zum höchsten Sportverkehrswasserstand Querströmungen, Wellenhöhen und Rückströmungseffekte vermieden werden. Rückströmungseffekte können zu Ablagerungen von Geschwemmsel, Schwebstoffen sowie Geschiebe führen und demzufolge die Funktion des Bauwerkes stark einschränken oder sogar zeitweise völlig unbrauchbar machen.

Für die Gestaltung der Vorhöfen sind Einflußgrößen aus zwei Bereichen maßgebend:

- a) Entwurfsgrößen, die durch die Strömungsmechanik vorgegeben sind, d. h.

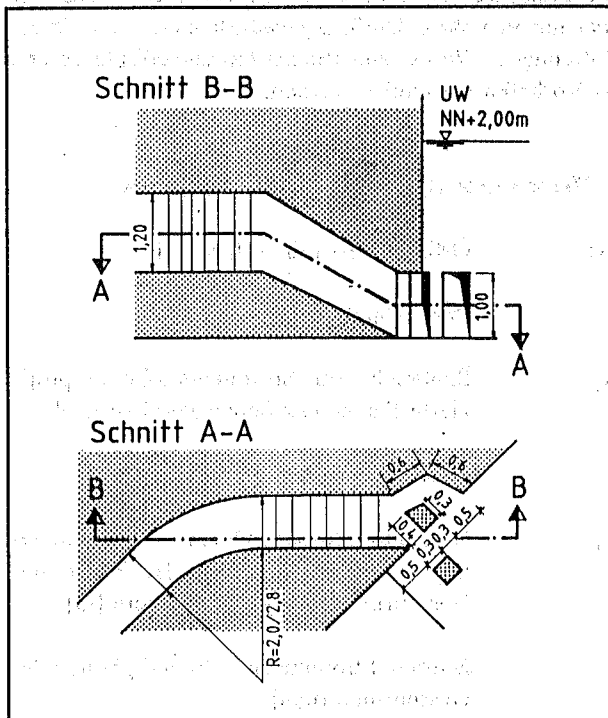


Bild 22: Längskanalauslauf am Unterhaupt (Ausführungsempfehlung nach /5/)

- Querströmungen,
- Wellenhöhen,
- Rückströmungseffekte.

b) Planungsgrundlagen aus praktischer Erfahrung, die mit sogenannten zulässigen Grenzwerten für die Aufgaben und Funktionen des Bauwerks erforderlich sind, d. h.

- Längen und Breiten der Vorhöfen,
- Abmessungen der Anlegestellen,
- Liegeplatzbreiten und Sicherheitsabstände.

Aus betrieblicher Erfahrung ist bekannt, daß die Abmessungen einer Schleusenkammer und die der Vorhänge in Beziehung stehen müssen (siehe auch 1/1).

Demzufolge wird die Vorhafenbreite (Bild 24) festgelegt durch

- die Fahrstreifenbreite (wird bestimmt durch das Ruderboot): $b_F = 7,50 \text{ m}$
- die Liegeplatzbreite = Mindestschleusenbreite: $b_L = 400 \text{ m} \div 7,5 \text{ m}$
- den Sicherheitsabstand: $s = 0,50 \text{ m}$

Im Vorhafen selbst sollte eine Mindestwassertiefe von 1,8 m vorhanden sein. Die Mindestlänge des Liegeplatzes sollte das 1,5-fache der nutzbaren Schleusenkammerlänge betragen. Die Kleinschiffahrtsschleusen werden überwiegend zur Selbstbedienung eingerichtet.

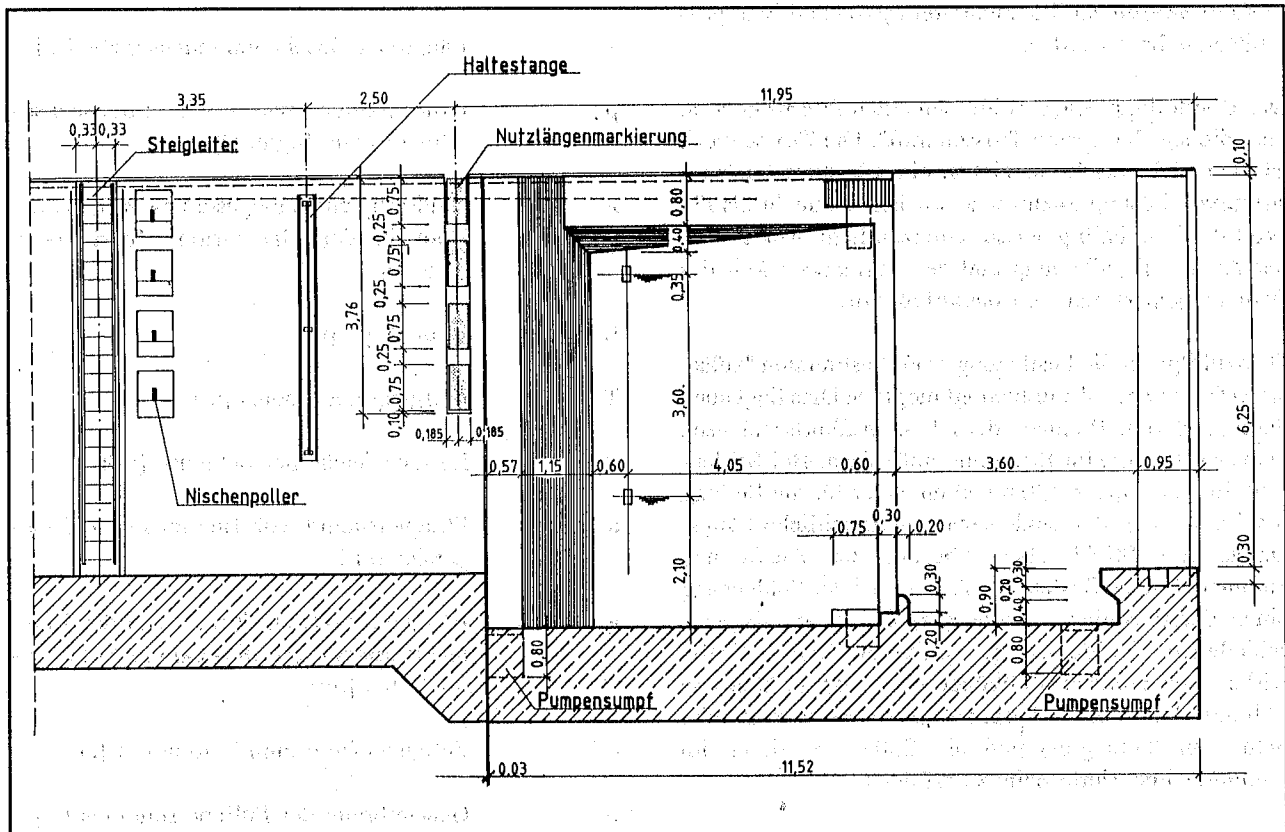


Bild 23: Auslaufbauwerk an der Bootsschleuse Mühlheim/Main (Bestandszeichnung)

Die Benutzer müssen daher im Vorhafen eine Anlegestelle zum Aussteigen vorfinden. Die Anlegestelle sollte aus einer Anlegeplattform mit Zugangstreppen bestehen.

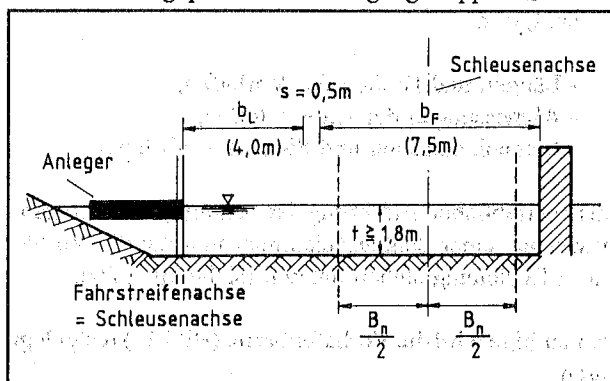


Bild 24: Querschnitt eines Bootsvorhafens nach I/1

6 Schlußfolgerungen

In der Zukunft wird, der jetzt bereits erkennbare, Anstieg der Freizeitschifffahrt weiter zunehmen. Dabei werden die Anforderungen an die Sicherheit Bedeutung gewinnen. Maßnahmen zur Rationalisierung der Verkehrsabläufe müssen diesen Entwicklungen Rechnung tragen. Durch die Bootsgasse ist dem Wassersportler eine fast unbehinderte Überwindung einer Gefällstufe möglich, da die Fahrt durch die Gasse mit Besatzung und Gepäck in kurzer Zeit abläuft.

Kleinschiffahrtsschleusen sollten an Flußläufen mit starkem Verkehrsaufkommen von Sport- und Fahrgastschiffen gebaut werden.

Die Beurteilung eines Schleusenentwurfs erfolgt u. a. über die s.g. "zulässige Trossenkraft". Die Trossenkraft ist aber nicht als Kennzeichen einer bestimmten konstruktiven Lösung anzusehen, sondern vielmehr als ein Wert der innerhalb gewisser Grenzen liegt, weil er von der Art der Handhabung und der Aufmerksamkeit des Bedienungspersonals mit beeinflußt wird.

Demzufolge ist die Festlegung eines bestimmten "zulässigen Grenzwertes" nur bedingt möglich. Dies liegt auch daran, daß viele Benutzer der Kleinschiffahrtsschleusen keine professionelle Erfahrung aufweisen. Bei Schleusenfallhöhen $H_{Ges} > 4,0$ m sollten daher für die Füllung und Entleerung der Schleusenkammer seitliche Längskanäle mit Stichkanälen (Düsen) zur Ausführung kommen. Dieses System ermöglicht bei der Schleusung einen derart ruhigen Wasserspiegel, daß auf die verschiedenen Kleinfahrzeuge praktisch keine Kräfte wirken. Bei Schleusenfallhöhen $H_{Ges} < 4,0$ m kann die Füllung durch das Oberhaupt (Drehsegmenttor oder Schütz im Schlagtor) und die Entleerung durch im Stemmter integrierte Schütze erfolgen.

Die Funktion der Bootsschleusen und Bootsgassen ist aber nur in vollem Umfang gewährleistet, wenn Querströmungen, Wellen und Rückströmungseffekte bereits im Vorhafen vermieden werden.

7 Verwendete Symbole und Abkürzungen

ΔH	Örtlicher Energieverlust [m]
c_w	Widerstandsziffer [-]
A_L	Senkrecht zur Strömungsrichtung projizierte Fläche der Schaufelreihen [m ²]
l	Abstand der Schaufeln
A_1	B · y durchflossene Querschnittsfläche im ungestörten Bereich mit B: Breite der Gassenrinne [m], y: Wassertiefe [m]
$\bar{v}$	Mittlere Strömungsgeschwindigkeit in der Gassenrinne [m/s]
h_G	Wassertiefe in der Gassenrinne [m]
Q	Durchflußmenge in der Gasse [m ³ /s]
h_E	Einlaufwassertiefe in die Bootsgasse [m]
I_s	Rinnenneigung [-]
s	Länge der Beschleunigungsstrecke [m]
p	Druckgradient zwischen der Rinnenachse-Rinnenwand [kg/m·s ²]
F	Beidseitig entgegengesetzte Kraft, die das Boot in der Gassenrinne führt [N = m·kg/s ²]
L	Bootslänge [m]
T	Tiefgang des Bootes [m]
A	Kammerfläche der Schleuse [m ²]
a_0	Füllquerschnitt vor Beginn des Füllvorganges [m ²]
a_D	Füllquerschnitt zur Zeit, wenn der Kammerwasserspiegel die Drempelhöhe erreicht hat [m ²]
a_t	Füllquerschnitt zum Zeitpunkt t [s]
b	Gesamtbreite des Füllquerschnittes [...]

c_0	Öffnungsgeschwindigkeit des Füllschützes [m/s]
H_{Ges}	Schleusenhubhöhe [m]
H_0	Anfangsdruckhöhe [m]
H_t	Druckhöhe zum Zeitpunkt t [m]
Q_t	Zufluß zum Zeitpunkt t [m^3/s]
$V = A \cdot H_{Ges}$	Füllwasservolumen der Schleuse [m^3]
μ	Zuflußbeiwert [-]
t	Zeit [s]
t_1	Zeit [s] bis der Füllquerschnitt a_1 voll geöffnet wird
$n = c_0 \cdot b$	Sekundliche Freigabe des Füllquerschnittes [m^2/s]
H_1	Druckhöhe zum Zeitpunkt t_1
$v_{max} = Q_{max}/A$	Maximale Hub- bzw. Senkgeschwindigkeit des Kammerwasserspiegels [m/min]
v_m	Mittlere Hub- bzw. Senkgeschwindigkeit des Kammerwasserspiegels [m/min]
I_w	Wasserspiegelgefälle in der Schleusenkammer

G_s	Bruttogewicht des Kleinschiffes [t]
B	Kammerbreite [m]
y_0	Wassertiefe in der Schleuse zu Beginn des Füllvorganges [m]

Literaturverzeichnis

- /1/ Der Bundesminister für Verkehr: Empfehlungen für die Gestaltung von von Wassersportanlagen an Binnenwasserstraßen, Verkehrsblatt Heft 12/1979, Bestell-Nr. 3079
- /2/ Naudascher, E.: Hydraulik der Gerinne und Gerinnebauwerke, Springer-Verlag 1987
- /3/ Grünagel, E.: Kantenwiderstand von Schaufelreihen Forschung Band 9/Heft 4, Juli/August 1939, S. 187-196
- /4/ Partenscky, H.W.: Binnenverkehrswasserbau Schleusenanlagen, Springer Verlag 1986
- /5/ BAW (1974): Gutachten über die hydraulischen Einrichtungen der Kleinschiffahrtsschleuse Wahnhausen (Fulda), BAW-Nr. W 335 (unveröffentlicht)
- /6/ BAW (1964): Untersuchungsergebnisse für die Moselschleusen aufgrund von Modelluntersuchungen im Maßstab 1 : 25, Hauptbericht BAW-Nr. 103, (unveröffentlicht)