



Aufgabe 003:

## EINMÜNDUNG EINES SCHIFFFAHRTSKANALS IN EINEN FLUSS

Im Rahmen der Planungen für einen Schifffahrtskanal der Wasserstraßenklasse IV/Vb ist dessen Einmündung in einen Fluss zu entwerfen, vergl. Abb. 1, Abb. 2.

Günstige wasserwirtschaftliche Gegebenheiten machen besondere Maßnahmen zur Wasserersparnis in der anschließenden Kanalhaltung entbehrlich mit der Folge, dass weder die Anordnung von Schiffshebewerken noch die Anordnung von Sparschleusen untersucht zu werden braucht.

Gegeben:

1. Normalwasserspiegel der Kanalhaltung auf NN + .....m.

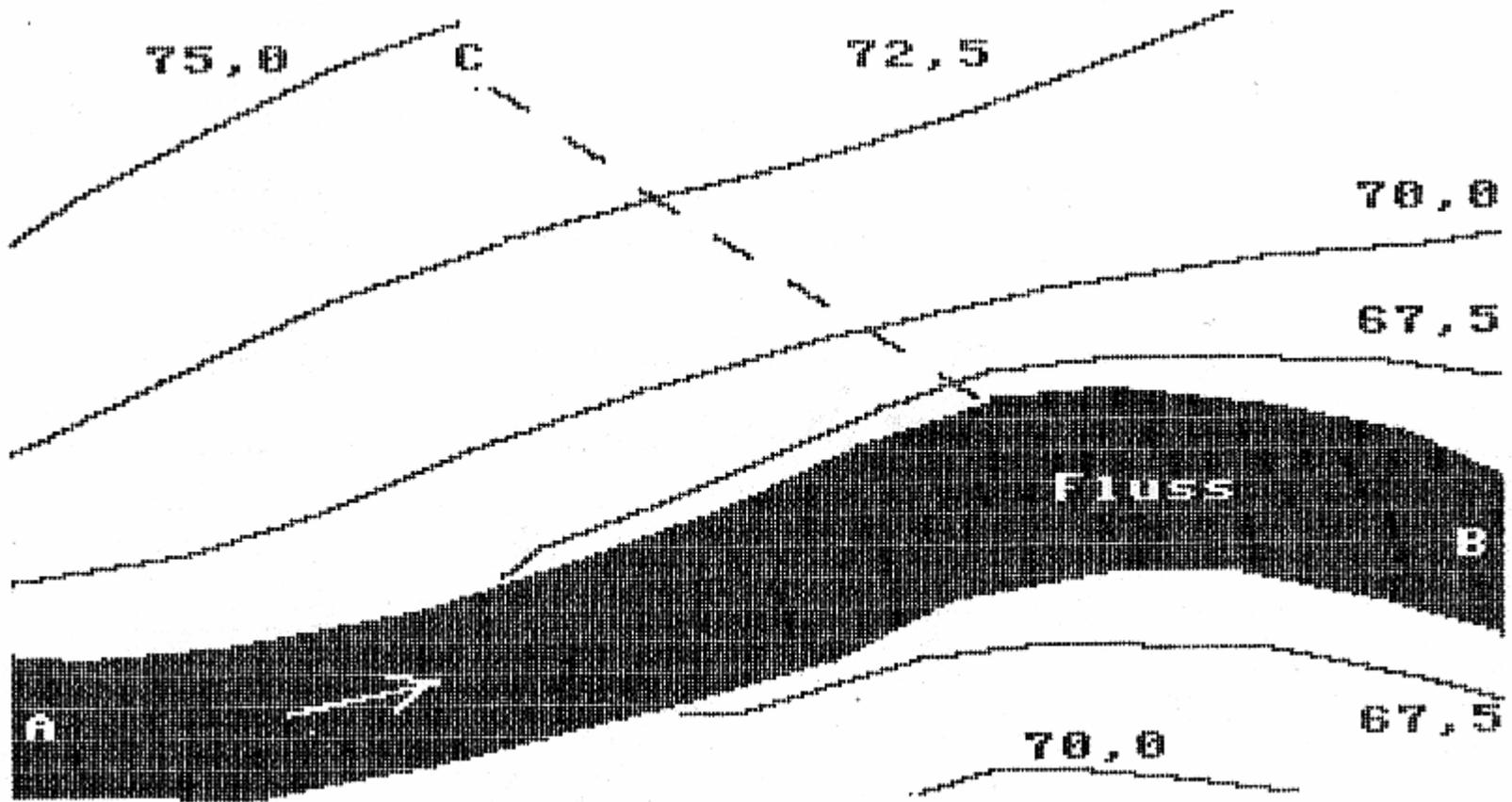


Abb. 1: Topographie



# FLUSSQUERSCHNITT

Wasserstände

Wasserstand	Wasserstand	Wasserstand	Wasserstand	Wasserstand	Wasserstand
HHW	HSW	MW	NSW	NNW	NN
...	...	...	...	...	...

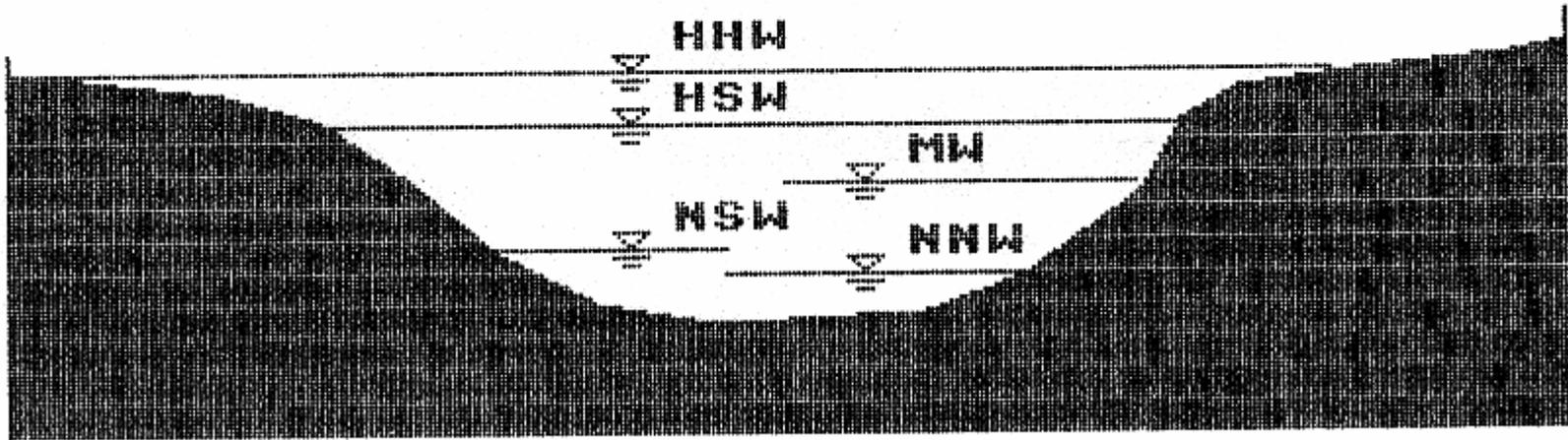


Abb. 2: Flußquerschnitt (unmaßstäblich)



2. Verkehrsbelastung .....Mio t in jeder Richtung.

Für die Zukunft ist eine Steigerung auf den 1,5-fachen Wert zu berücksichtigen.

80% des Verkehrs gehen von C nach B und umgekehrt,

20% des Verkehrs gehen von C nach A und umgekehrt.

Es ist mit der folgenden Verteilung von Schiffen zu rechnen:

30 % 1.350 t - Europaschiffe

50 % 2.100 t - Großmotorgüterschiffe

10 % 1.240 t – Europaleichter I

10 % 1.000 t – Schiffe.

Die Ausnutzung des Laderaumes beträgt im Mittel 75%.

Die Anzahl der schiffbaren Tage ist der Wasserstandsdauerlinie zu entnehmen.



3. Es soll eine sog. kleine Schleuse geplant werden, bei der die Ausspiegelungsvorgänge über Öffnungen in den Torkonstruktionen erfolgen kann.

Verlustbeiwert  $\mu_i = \dots\dots\dots$

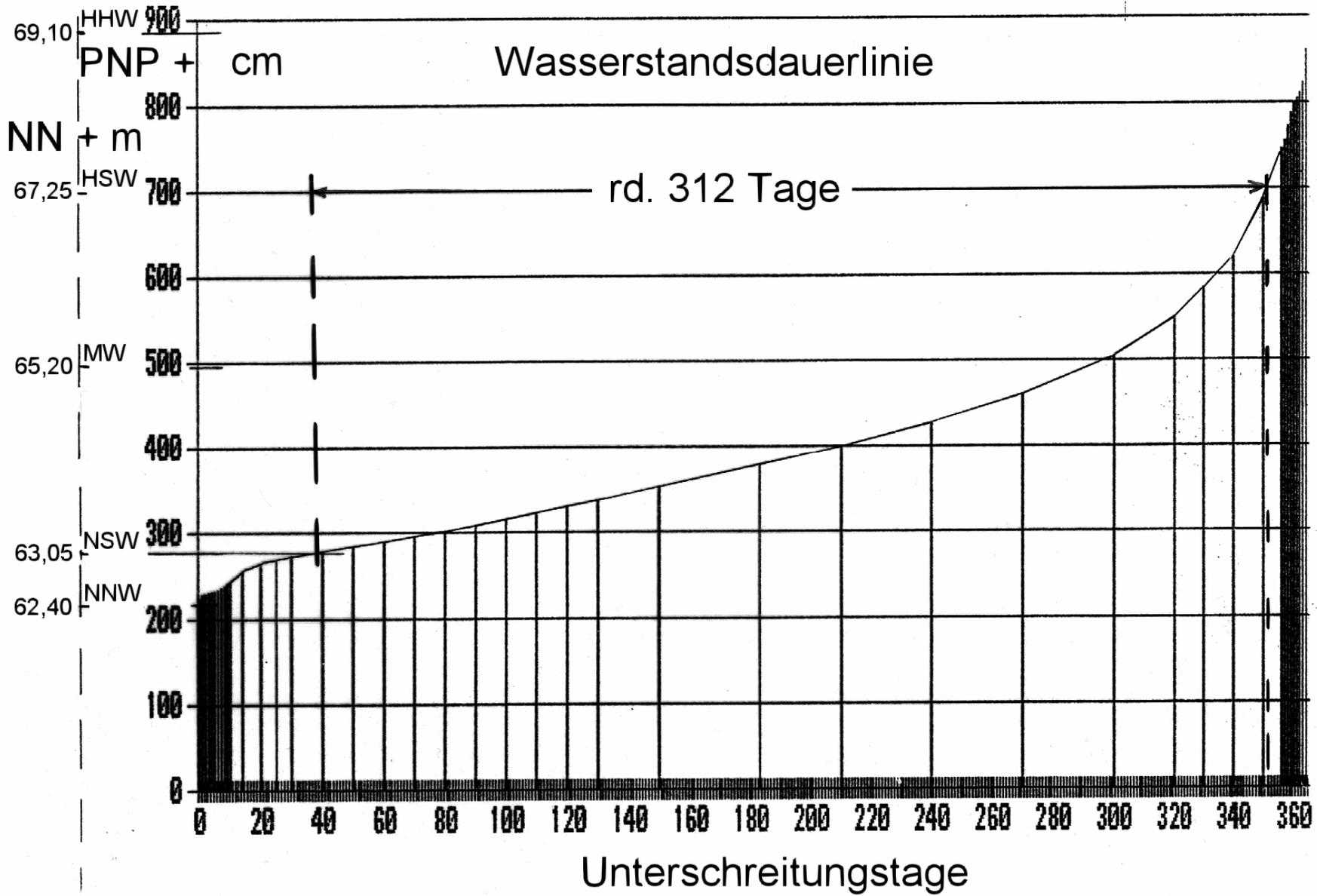
Zulässige Strömungsgeschwindigkeit im Unterwasser

$u = \dots\dots\dots$ m/s

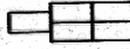
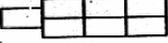
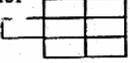
Einzuhaltende Ausspiegelungsdauer  $T = \dots\dots\dots$ Min.

Es sind die folgenden Punkte zu bearbeiten:

1. Nachweis der Leistungsfähigkeit des Abstiegsbauwerkes, Festlegung der Abmessungen und Berechnung der Ausspiegelungsdauer.
2. Darstellung der Kanalmündung in Grundriss und Längsschnitt. Die Angaben der Abbildungen 1 und 2 sind hierzu in einem geeigneten Maßstab zu berücksichtigen.
3. Darstellung des Abstiegsbauwerkes und Vorschlag für die konstruktive Durchbildung.



# Bemessungsschiffe:

Wasserstraßenklasse	Motorschiff					Schubleichter					Schubverband	
	Bezeichnung	Länge <sup>1)</sup> Breite <sup>1)</sup>		Charakteristische Tragfähigkeit	Abladetiefe <sup>2)</sup> bei der in Spalte 5 angegeben. Tragfähigk.	Bezeichnung	Länge Breite		Charakteristische Tragfähigkeit	Abladetiefe <sup>2)</sup> bei der in Spalte 10 angegeben. Tragfähigk.	Formation <sup>1)</sup>	Gesamtlänge <sup>3)</sup>
		m	m				t	m				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
I	Peniche	38,50	5,05	300	2,20							
II	Kempenaar	50,00	6,60	600	2,50							
III	Gustav Königs	67,00	8,20	1 000	2,50							
IV	Johann Welker sog. Europaschiff	80,00 bis 85,00	9,50	1 350	2,50	Europa I	70,00	9,50	1 240	2,50		bis 85
V	Großmotorschiff	110,00 <sup>1)</sup>	11,40 <sup>1)</sup>	2 400	2,80	Europa II	76,50	11,40	1 850	2,80		bis 105
VP												bis 185
VI	Großmotorschiff	110,00 <sup>1)</sup>	11,40 <sup>1)</sup>	2 400 bis 4 400	2,80 bis 4,50	Rhein: Erz, Kohle Europa IIa	76,50	11,40	1 800 bis 2 800	2,80 bis 4,00		<sup>4)</sup> bis 195
VI P											 oder 	bis 270 bis 195

- 1) Die zulässigen Abmessungen (Länge und Breite) der Fahrzeuge und Verbände sind für die einzelnen Wasserstraßen durch Polizeiverordnungen festgelegt.
- 2) Die zulässige Abladetiefe ist bei staugeregelten Flüssen und Kanälen im allgemeinen ebenfalls durch Polizeiverordnungen festgelegt, im übrigen richtet sie sich nach den jeweiligen hydrologischen Verhältnissen.
- 3) Die Schubboote sind nicht genormt. Für die Gesamtlänge der Schubverbände können daher nur Höchstmaße angegeben werden.
- 4) Das Schubboot und ein Schubleichter können durch ein schiebendes Gütermotorschiff ersetzt werden.

Bild 5 Vorschlag für eine neue Zuordnung der Schiffsgrößen zu Wasserstraßenklassen



## Weitere Hinweise zur Bearbeitung:

Beispielhaft sind folgende Werte angenommen:

Kanalspiegel auf NN+77,00m;

Verkehrsbelastung: 2,8 Mio t je Richtung;

Verlustbeiwert der Füll- und Entleerungseinrichtungen  $\mu_i = 0,4$ ;

Zul. Strömungsgeschwindigkeit im UW:  $u = 1,0 \text{ m/s} = v_{\text{krit}}$ ;

Nutzlänge der Schleuse  $L_N = 110\text{m}$  (wäre nicht für das Großmotorgüterschiff bzw. den Schubverband ausreichend);

Ausspiegelungsdauer  $T < 11$  Minuten, vergl. Statistik weiter unten.

Der Bearbeitung im Detail sind keine Grenzen gesetzt !!!

Literatur: z.B. Kuhn, Partenscky, Press, Dehnert u.a.



Verkehrsaufkommen:

Mit welcher Anzahl von Schiffen bzw. Schleusungen ist zu rechnen ?

Tragfähigkeit eines „Durchschnittsschiffes“ je nach prognostiziertem Verkehr, vergl. Aufgabenstellung.

Hier abweichend von der Aufgabenstellung:

$$0,5 \cdot 1350 = 675$$

$$0,4 \cdot 1240 = 496$$

$$\underline{0,1 \cdot 1000 = 100}$$

1271t

Auslastung 75% ergibt Durchschnittstonnage:

$$0,75 \cdot 1271 = 950\text{t/Schiff}$$



## Anzahl der Schiffsfahrten/Jahr:

$$n_j = \frac{2,8 \cdot 10^6}{950} = 2947,37 \approx 2950 \quad \text{Schiffe pro Jahr u. Richtung}$$

## Prognose :

$$n_{j,p} = \frac{1,5 \cdot 2,8 \cdot 10^6}{950} = 4421,05 \approx 4425 \quad \text{Schiffe pro Jahr u. Richtung}$$

## Anzahl der schiffbaren Tage/Jahr:

Aus der beigefügten langjährigen Wasserstandsdauerlinie zwischen HSW und NSW abgreifbar: 310 Tage.

(Das ist ein hoher Wert. Ein solcher wird auf Teilstrecken der Donau beispielsweise nicht erreicht !)

Anzahl zu schleusender Schiffe pro Tag unter Berücksichtigung eines *Spitzenverkehrszuschlages*:  $1,3 \leq \alpha \leq 1,5$

Gewählt:  $\alpha = 1,5$

Ggf. durch Zählungen zu untermauern.



$$n_d = \frac{2950 \cdot 1,5}{310} = 14,27 \approx 15 \quad \text{Schiffe pro Tag und Richtung}$$

Prognose :

$$n_{d,p} = \frac{4425 \cdot 1,5}{310} = 21,4 \approx 22 \quad \text{Schiffe pro Tag und Richtung}$$

Erforderlicher Umfang der Baumaßnahme:

Ist eine kleine Schleuse ausreichend ? Welche Vorkehrungen werden für eine künftige Erweiterung (Doppelschleuse ?) getroffen?

Für den Nachweis muss der Zeitbedarf für eine Kreuzungsschleusung zunächst *abgeschätzt* werden.



Mittelwerte aus 2 unabhängig voneinander durchgeführten statistischen Erhebungen (60er Jahre): Zeitangaben in Minuten.

Einfahren:	10	
Einfahren inklusive Festmachen:		10
Festmachen:	05	
Tor schließen:		01
Füllen:	12	13
Tor öffnen:	01	
Ausfahren:	06	10
Summen je Richtungsschleusung:	34Min.	35Min.
(von unten nach oben)		

Fazit: Rund 60% der erforderlichen Zeit für das sog. Verholen benötigt. Das Verholen kann durch die Anlage und Ausrüstung der Vorhäfen beeinflusst werden. Für das Abschleusen sind die Verholzeiten etwa die gleichen. Da die Schiffslängskräfte, vergl.unten, jedoch kleiner sind, kann die Entleerung ggf. schneller erfolgen.



Für die Richtungsschleusung von oben nach unten wird von einer schnelleren Kammerentleerung ausgegangen:  $T = 32\text{Min.}$  vergl. Weiter unten.

Annahme der Dauer einer Kreuzungsschleusung:  
 $34 + 32 = 66\text{Min.}$  (Müsste nachgewiesen werden!)

Das Fassungsvermögen einer sog. kleinen Schleuse ist  $m = 1$  Schiffseinheit (Selbstfahrer bzw. Eingliedriger Schubverband = Schubboot + 1 Schubleichter):

$15/m = 15/1 = 15$  Schleusungen/Tag

$15 \cdot 66\text{Min.} = 16,5$  Stunden. Das wäre etwa mit 2 Arbeitsschichten zu bewältigen. Ein gesonderter Nachweis wäre zu erbringen für den Fall, dass bei den Füll- und Entleerungszeiten durch vorzeitiges Öffnen der Tore Zeiteinsparungen vorgenommen werden.

Prognose:  $22/m = 22/1 = 22$  Schleusungen/Tag bei Vorhandensein nur einer Schleuse.

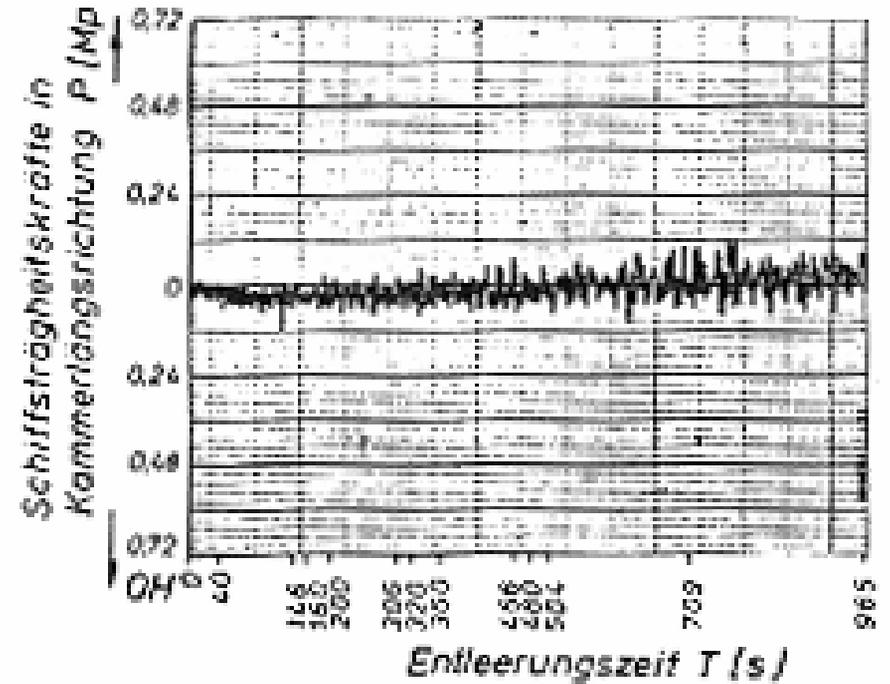
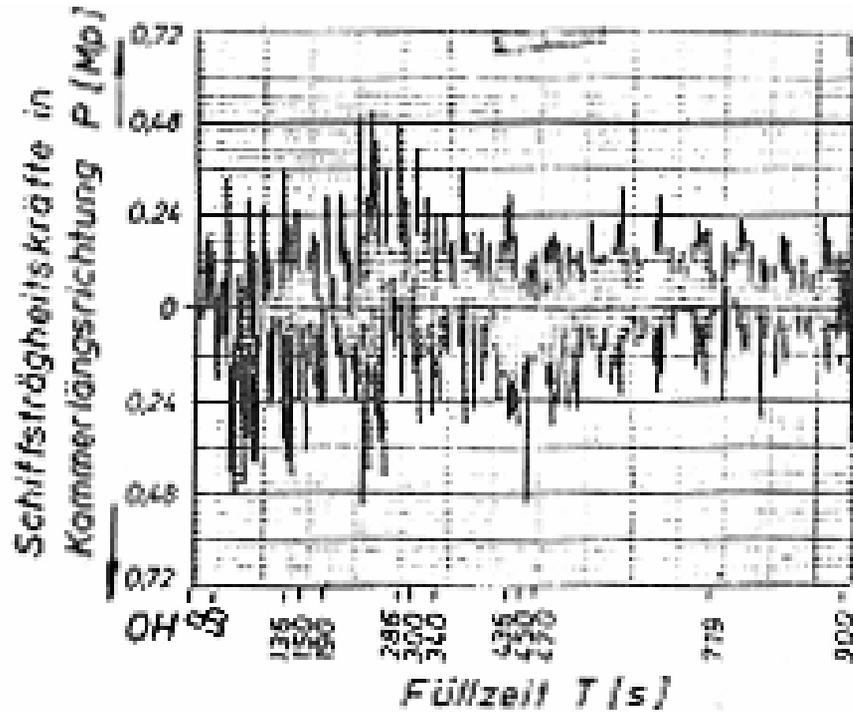


Für eine Übergangszeit ggf. Nachtschiffahrt betreiben mit einer dritten Arbeitsschicht. Je nach verändertem Verkehrsaufkommen käme längerfristig der Bau einer 2. großen oder kleinen Schleuse in Betracht. Die Verlängerung der kleinen Schleuse wäre bei Aufrechterhaltung des Schiffsbetriebes wirtschaftlich kaum möglich. Es ist zu prüfen, ob bereits bei der Projektierung der Vorhäfen deren ggf. erforderliche Erweiterung berücksichtigt wird.

### Nachweis der Ausspiegelungsdauer:

<u>Fallstufenhöhe:</u>	Kanalspiegel auf NN+ 77,00m
	<u>-NSW = 63,05m</u>
_____	max $h_{F_-}$ = 13,95m
_____	Kanalspiegel auf NN+ 77,00m
	<u>-HSW = 67,25m</u>
_____	min $h_{F_-}$ = 9,75m

Die anzustrebende Ausspiegelungsdauer soll sich auf max  $h_{F_-}$  = 13,95m beziehen.



Trossenzugkräfte beim  
Füllen der Kammer

Trossenzugkräfte beim  
Entleeren der Kammer



Zum Nachweis der Leistungsfähigkeit:

2 Forderungen:

A. Ausspiegelungsdauer  $T = t_1 + t_2$  soll möglichst kurz sein.

B. Beim Füllvorgang erzeugte Wasserspiegelstörungen (Schwall) sollen gering sein:

Gefahr des Trossenbruches --> Lebensgefahr !

Krafteinleitung in Massivbauwerk begrenzt.

Forderung nach Wittmann (1953):

$$\boxed{\frac{\max Q}{\max t} \leq 0,1} \quad , \text{ damit Trossenkräfte} \quad F_T \leq \frac{1}{700} \text{ des Schiffsgewichtes}$$

Bedingung nur direkt erfüllbar, wenn maxQ in Füllphase 1 fällt.



Falls Phase 1 vor Erreichen des Maximums  $\max Q$  beendet ist, besteht als gleichwertige Forderung

$$\max\left(\frac{dQ}{dt}\right) \leq 0,15$$

$\frac{dQ}{dt} = \dot{Q}$  ergibt sich aus Gl. (21). Diese nochmals nach der Zeit abgeleitet ergibt als Maximalwert für  $t=0$ :

$$\max\left(\frac{dQ}{dt}\right) = \mu_i \cdot \frac{a_1}{t_1} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h_F}$$

Die angegebenen Vorgaben sollen durch Variation des Durchströmquerschnittes  $a_1$  und der Schützöffnungszeit  $t_1$  erfüllt werden. Dabei darf die anzustrebende Ausspiegelungsdauer  $T$  um 6% überschritten werden.



Beispiel: (Nach Proberechnung erhaltenes Ergebnis)

$$A_1 = 12\text{m}^2; \quad t_1 = 540\text{s}; \quad \mu_i = 0,4.$$

Berechnete Werte:

$$Q_{(t_1)} = 33,18\text{m}^3 / \text{s}$$

$$\max Q = 40,04\text{m}^3 / \text{s}$$

$$\max t = 408,6\text{s}$$

$$\frac{\max Q}{\max t} = 0,098 < 0,1$$

Ersatzwert :

$$\max\left(\frac{dQ}{dt}\right) = 0,4 \cdot \frac{12}{540} \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 13,95} = 0,147 < 0,15$$


$$h_{(t_1)} = h_1 = 2,43m \quad (\text{Gl. 19})$$

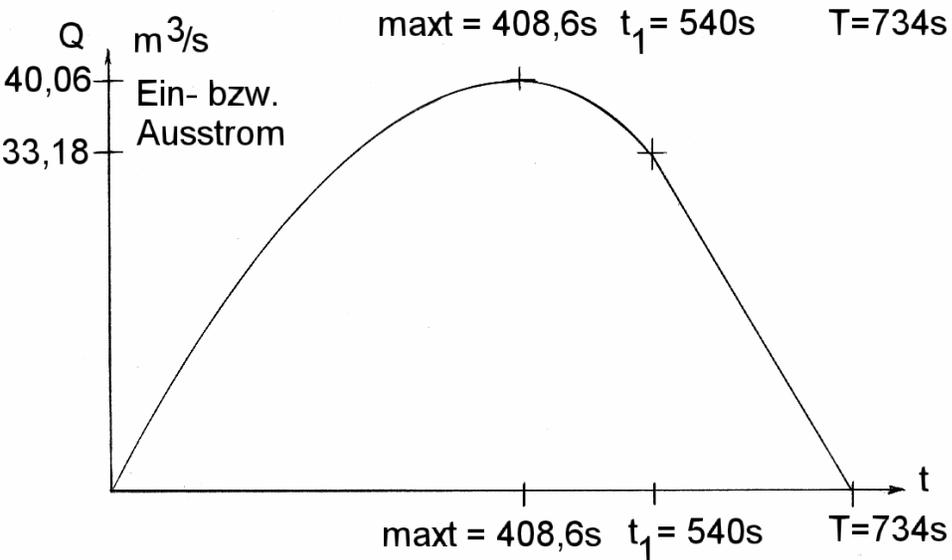
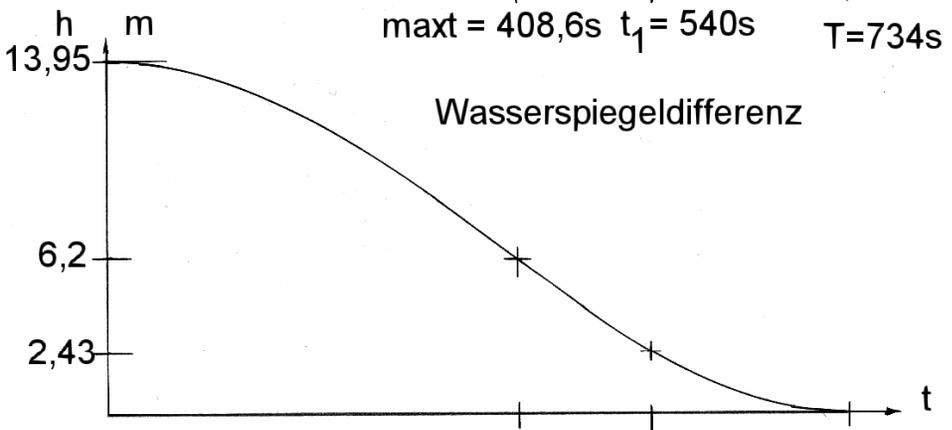
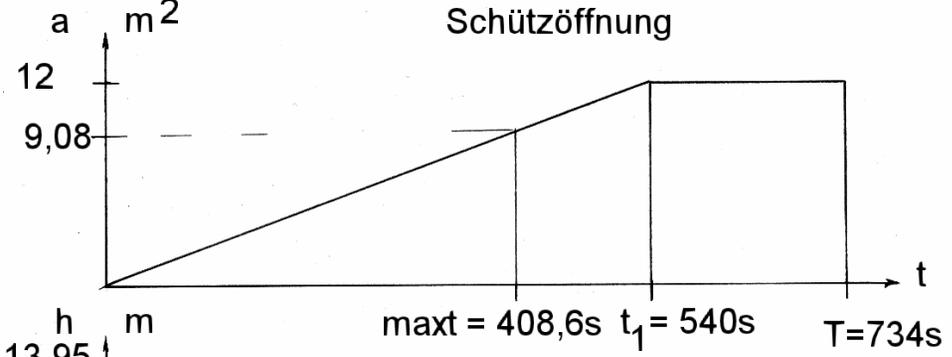
$$T = t_1 + t_2$$

$$t_2 = \frac{2 \cdot A \cdot \sqrt{h_1}}{\mu_i \cdot a_1 \cdot \sqrt{2 \cdot g}} = 194s \quad (\text{Gl. 29})$$

$$T = 540 + 194 = 734s = 12,23\text{Min.}$$

Das Tor wird früher geöffnet!

$$h_{(\max t)} = \frac{4}{9} h_F = \frac{4}{9} \cdot 13,95 = 6,2m$$





## Bedingungen beim Entleerungsvorgang:

Günstigere Verhältnisse als für die Kammerfüllung, da

- keine direkte Anströmung der Schiffswand,
- Querschnittsverhältnis Schleusenkammer / Auslass am Unterhaupt derart, dass kaum Wasserspiegelabsenkung in Tornähe.

Folgen:

- Sunk und anschließende Schwingbewegung gering,
- Trossenkräfte gering.

## Kriterium für die Entleerungsdauer:

Vorgegebene Austrittsgeschwindigkeit  $v_{krit}$  am Drempel bzw. an der Vorhafensohle.

Profilquerschnitt am Unterhaupt:  $A_P = B \cdot d_U$

mit  $B$  = Kammerbreite     $d_U$  = Dempeltiefe am Unterhaupt

$$\rightarrow_{zul.max} Q = A_P \cdot v_{krit}$$



Drempeltiefe:

Bestimmungsgröße ist der Einfahrwiderstand, der vom Quadrat der Strömungsgeschwindigkeit abhängig ist.

Es gilt die Forderung:

$$\frac{A_p}{a} = n \geq 2$$

Darin ist  $a$  = Verdrängungsquerschnitt des Bemessungsschiffes.

Europaschiff:  $a = 9,5 \cdot 2,5 = 23,75\text{m}^2$

Europaleichter II:  $a = 11,4 \cdot 2,8 = 31,92\text{m}^2$

bzw.  $a = 11,4 \cdot 2,5 = 28,50\text{m}^2$

Erforderliche Drempeltiefe:  $d = \frac{n \cdot A_p}{B} = \frac{2 \cdot 11,4 \cdot 2,5}{12} = 4,75\text{m}$

Im Beispiel wurde mit  $d_u = 4,75\text{m}$  gerechnet. Desweiteren ergibt sich mit  $v_{\text{krit}} = 1\text{m/s}$  und  $A_p = 50\text{m}^2 < 12 \cdot 4,75 \text{ m}^2 = 57 \text{ m}^2$  der maximal zulässige Durchfluss zu  $_{\text{max}}Q = 50 \text{ m}^3/\text{s}$ , für den die charakteristischen Werte der folgenden Seite erhalten werden.



Beispiel: (Nach Proberechnung erhaltenes Ergebnis)

$$A_1 = 12\text{m}^2; \quad t_1 = 360\text{s}; \quad \mu_i = 0,4.$$

Berechnete Werte:

$$Q_{(t_1)} = 48,59\text{m}^3 / \text{s}$$

$$h_{(t_1)} = h_1 = 5,22\text{m} \quad (\text{Gl. 19})$$

$$\max Q = 49,06\text{m}^3 / \text{s}$$

$$T = t_1 + t_2$$

$$\max t = 333,62\text{s}$$

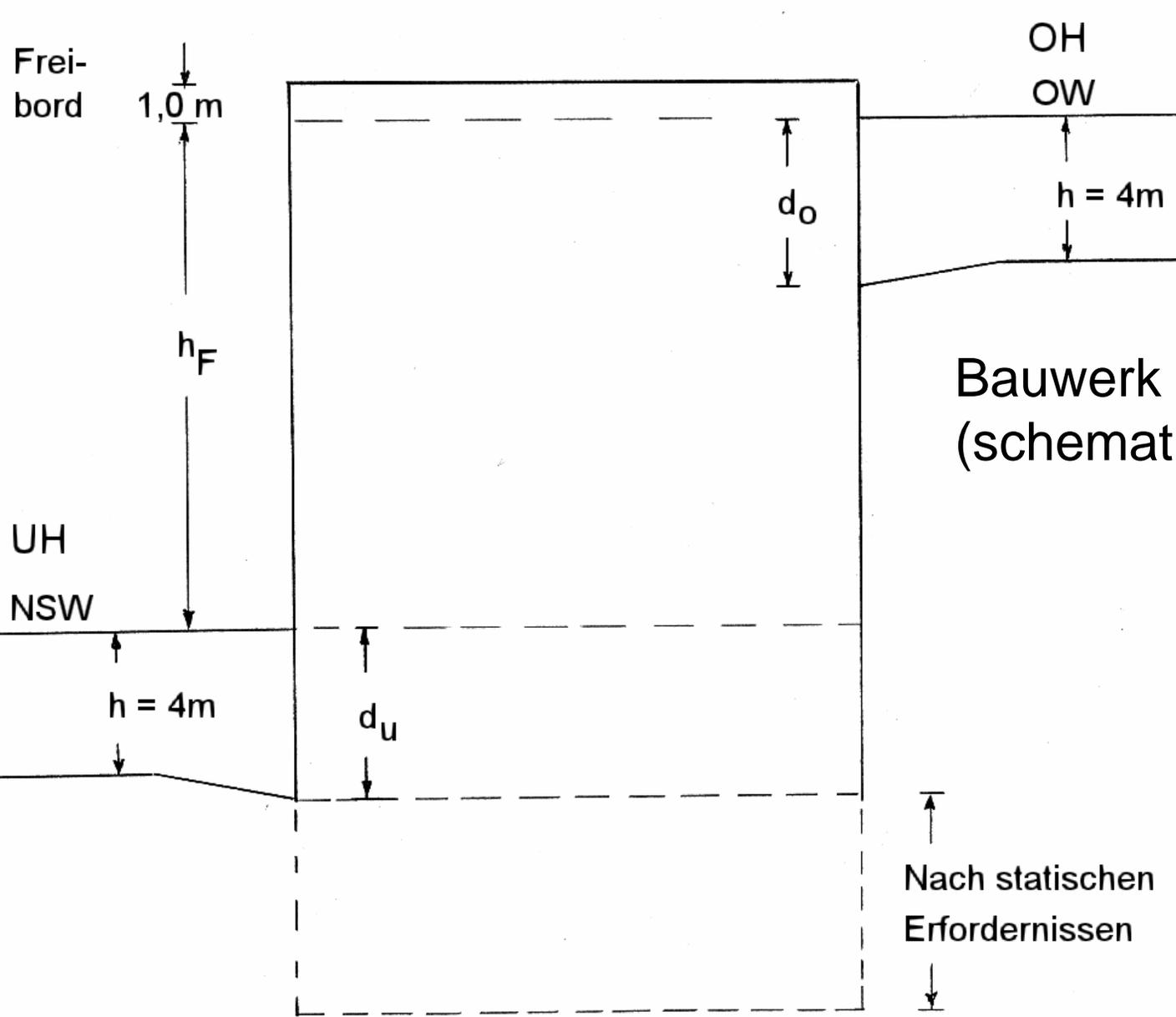
$$t_2 = \frac{2 \cdot A \cdot \sqrt{h_1}}{\mu_i \cdot a_1 \cdot \sqrt{2 \cdot g}} = 283,77\text{s} \quad (\text{Gl. 29})$$

$$\frac{\max Q}{\max t} = 0,147 > 0,1$$

$$T = 360 + 283,77 = 643,77\text{s} = 10,73\text{Min.}$$

Das Tor wird früher geöffnet!

$$h_{(\max t)} = \frac{4}{9} h_F = \frac{4}{9} \cdot 13,95 = 6,2\text{m}$$



Bauwerk unmaßstäblich !  
(schematisch)

Nach statischen  
Erfordernissen