

# **KULTURWEHR BREISACH**

**Rhein-km 224.800**

**Modellversuche im Vollmodell**

**Maßstab 1 : 80**

**Bundesanstalt für Wasserbau  
Karlsruhe, Februar 1960**

# KULTURWEHR BREISACH

Rhein-km 224.800

Modellversuche im Vollmodell

Maßstab 1 : 80

Bundesanstalt für Wasserbau  
Karlsruhe, Februar 1960

Inhaltsverzeichnis

	<u>Seite</u>
1. Anlaß und Zweck der Untersuchungen	1
2. Modell und Versuchsverfahren	2
2.1. Modellgesetze	2
2.2. Bau und Betrieb des Modells	4
2.3. Hydraulische Unterlagen	5
2.4. Nachweis der Naturähnlichkeit	7
3. Formgebung des Wehres	8
4. Anströmung und Lage des Wehres	9
5. Bestimmung des Rückstaus	11
5.1. Grundlagen	11
5.2. Messen der maximalen Wasserspiegelhöhen	12
5.3. Einfluß der Baggerung	15
5.4. Einfluß der Höckerhöhe	16
5.5. Ausführungsvorschlag	17
5.6. Rückstauhöhen	21
6. Wehreichung, Wehrbedienungsplan	22
7. Energieumwandlung unterhalb des Wehres	23
7.1. Grundlagen und Aufgabe der Kolkversuche	23
7.2. Energievernichtung	24
7.3. Kolksicherung	26
8. Bauzustände	27
8.1. Grundlagen und Aufgabe der Versuche	27
8.2. Kolkbildungen	28
9. Zusammenfassung	29

Anlagen:

43 Blatt Zeichnungen  
22 Bildtafeln

Verzeichnis der Anlagen

- 1 Uebersichtsplan 1:25 000
  - 2 Lageplan 1:2000
  - 3 Wasserspiegelmessungen, Sohlenlage, Talweg 1953 - 1958
  - 4 Abflußkurven Naturzustand km 225.000; UW des Kulturwehres km 224.000
  - 5 Wasserspiegellinien, Vergleich Natur - Modell
  - 6 Abflußkurven Flußbett und Vorland (Naturzustand)
  - 7 Tabelle zu Anlagen 6 und 7
  - 8 Form Wehrhöcker und Sektorwehr
  - 9 Wasserspiegellagen Flußbett, Vergleich Modellmessung - Berechnung
  - 10 Uebersicht der untersuchten Varianten
  - 11 Einfluß einer Baggerung, Wasserspiegellängsschnitt Flußbett, Tabelle
  - 12 Einfluß der Höckerhöhe, Wasserspiegellängsschnitte im Flußbett
  - 13 Tabelle zu Anlage 12
  - 14 Abhängigkeit der Wasserspiegel von der Höckerhöhe
  - 15 Abhängigkeit der Wasserspiegel von der Oeffnungsbreite des Möhlinwehres
  - 16 Rückstau durch einen Höcker im Möhlinwehr,  
Geschwindigkeitsverteilung bei  $Q_{max}$
  - 17 Schnitt durch das Sektorwehr, Ausführungsvorschlag 1:100
  - 18 Grundriß, Schnitt Möhlinwehr 1:200
  - 19 Tabelle der Rückstauhöhen
  - 20 Abflußkurven für  $n = 4$  Oeffnungen am Kulturwehr gelegt
  - 21 Abflußkurven für  $(n - 1) = 3$  Oeffnungen am Kulturwehr gelegt
  - 22 Rückstauhöhen bei gelegten Sektoren für  $n = 4$  Oeffnungen am Kulturwehr gelegt
- Wasserspiegellinien im Flußbett
- 23  $Q = 6000 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $n = 4$  Oeffnungen am Kulturwehr gelegt
  - 24  $Q = 6000 - 1000 = 5000 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $(n - 1) = 3$  und  $n = 4$  Oeffnungen  
am Kulturwehr gelegt
  - 25  $Q = 5500 - 1000 = 4500 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $(n - 1) = 3$  und  $n = 4$  Oeffnungen  
am Kulturwehr gelegt
  - 26  $Q = 5000 - 1000 = 4000 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $(n - 1) = 3$  und  $n = 4$  Oeffnungen  
am Kulturwehr gelegt

- 27  $Q = 4500 - 1000 = 3500 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $(n - 1) = 3$  und  $n = 4$  Oeffnungen  
am Kulturwehr gelegt
- 28  $Q = 4000 - 1000 = 3000 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $(n - 1) = 3$  und  $n = 4$  Oeffnungen  
am Kulturwehr gelegt
- 29 Wasserspiegel unter Einhaltung des Stauziels am Kulturwehr
- 30 Wehreichung für  $n = 4$  Oeffnungen am Kulturwehr funktionsfähig
- 31 Wehreichung für  $(n - 1) = 3$  Oeffnungen am Kulturwehr funktionsfähig
- 32 Entfernung und Tiefe der Kolke in Abhängigkeit von der Sturzbett-  
länge
- 33 Kolkbettuntersuchungen
- 34 Kornverteilung Natur- und Modellgeschiebe; Bestimmung der Korn-  
größe für die Abdeckschicht der Kolksicherung
- 35 Kolkbettsicherung Ausführungsvorschlag 1:250
- 36 Bauzustände 1 bis 5, Grundrisse 1:2000
- 37 " " 1 " 5, Schnitte 1:1000
- Wasserspiegellagen für die Bauzustände 1 bis 5
- 38  $Q = 2200 - 1200 = 1000 \text{ m}^3/\text{s}$
- 39  $Q = 3200 - 1000 (3400 - 1200) = 2200 \text{ m}^3/\text{s}$
- 40  $Q = 4000 - 1000 = 3000 \text{ m}^3/\text{s}$
- 41 Abflußkurven für die Bauzustände 1 bis 5
- 42 Tabelle der Wasserspiegelhöhen Bauzustände 2 bis 4,  
 $Q = 5000 - 1000 = 4000 \text{ m}^3/\text{s}$
- 43 Baugrubenumschließungen mit Stromabweiser und Leitwand  
für die Bauzustände 2 bis 4, 1:500

Verzeichnis der Bildtafeln

- 1 Ansicht des Modells von unterstrom
- 2 Ansicht des Modells von oberstrom
- 3 Abflußbild  $Q = 500 \text{ m}^3/\text{s}$  Naturzustand
- 4 Abflußbild  $Q = 6000 \text{ m}^3/\text{s}$  Naturzustand
- 5 Anströmung des Kulturwehres, Ausgangszustand;  
Höckerhöhe  $p = 4,00 \text{ m}$
- 6 Anströmung des Kulturwehres nach Verbesserungen im OW;  
Höckerhöhe  $p = 4,00 \text{ m}$
  
- Abflußbild und Oberflächengeschwindigkeiten
- 7  $Q = 2000 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $n = 4$  Oeffnungen am Kulturwehr funktionsfähig
- 8  $Q = 6000 - 1000 = 5000 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $n = 4$  Oeffnungen am Hauptwehr gelegt,  
Möhlinwehr zu
- 9  $Q = 6000 - 1000 = 5000 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $(n - 1) = 3$  Oeffnungen am Hauptwehr  
gelegt, Möhlinwehr zu
- 10  $Q = 6000 - 1000 = 5000 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $(n - 1) = 3$  Oeffnungen am Hauptwehr  
gelegt, Möhlinwehr geöffnet
  
- 11 Kolkbilder für  $Q_{\text{max}} = Q_{\text{krit}} = 6000 - 1000 = 5000 \text{ m}^3/\text{s}$  bei verschie-  
denen Sturzbettlängen;  $n = 4$  Oeffnungen am Kulturwehr gelegt,  
Ausführungsvorschlag der Kolksicherung
- 12 Kolkbilder für  $Q_{\text{max}} = Q_{\text{krit}} = 6000 - 1000 = 5000 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  
 $(n - 1) = 3$  Oeffnungen am Kulturwehr gelegt
- 13 Anströmung und Oberflächengeschwindigkeiten  
für  $Q = 2200 \text{ m}^3/\text{s}$  und  $3000 \text{ m}^3/\text{s}$  im Flußbett, Bauzustand 1
- 14 wie vor, Bauzustand 2
- 15 wie vor, Bauzustand 3
- 16 wie vor, Bauzustand 4
- 17 wie vor, Bauzustand 5
- 18 Kolkbilder der Bauzustände 1, 2 u. 5,  $Q = 2200 \text{ m}^3/\text{s}$  im Flußbett
- 19 " " " 3 u. 4,  $Q = 2200 \text{ m}^3/\text{s}$  im Flußbett
- 20 " des Bauzustandes 2,  $Q = 2200, 3000, 4000 \text{ m}^3/\text{s}$  im Flußbett
- 21 " " " 3,  $Q =$  " " " " "
- 22 " " " 4,  $Q =$  " " " " "

## Kulturwehr Breisach

Rhein-km 224,800

Modellversuche im Vollmodell

Maßstab 1:80

### 1. Anlass und Zweck der Untersuchungen

Entsprechend Artikel 10 des Oberrheinvertrages vom 27. Oktober 1956 wird die Bundesrepublik oberhalb von Breisach ein Kulturwehr bauen. Damit sollen von deutscher Seite befürchtete land- und forstwirtschaftliche Schäden verhütet werden, die infolge Absenkung der Rheinwasserstände nach Inbetriebnahme der Haltung Vogelgrün des Rheinseitenkanals entstehen können.

Das Kulturwehr wird bei Rhein-km 224,800 errichtet. Das Stauziel liegt auf NN + 192,00 m. Die Wehrachse liegt senkrecht zur Achse des Stromes, der hier eine Gerade bildet (Anlagen 1 und 2).

Die Abmessungen des Wehres betragen: 4 Oeffnungen zu je 45,00 m Lichtweite, Pfeilerbreite 5,00 m. Am linken Ufer ist ein Fischpaß, am rechten Ufer eine Bootsschleuse vorgesehen.

Der Entwurf für das Wehr sieht eine feste Wehrschwelle und Sektoren vor, deren Konstruktionsoberkante auf NN + 192,00 m liegt (= Stauziel).

Der Gesamtentwurf sieht vor: Ab km 224,800 wird der linksrheinische Hochwasserdamm längs des Strombettes bis zum Anschluß an den Damm des Rheinseitenkanals einige km oberhalb geführt. Auf der rechten Rheinseite verläuft der neu zu erstellende Hochwasserdamm von der Schleusenplattform bis km 224,500 längs des Strombettes. Er verläuft dann in weitem Bogen durch das Vorland bis zum Anschluß an den alten Hochwasserdamm III (ungefähr bei km 1,400 des Hochwasserdammes).

Modellversuche an einem Flächenmodell sollen folgende Probleme klären:

- a) Formgebung des Wehres
- b) Anströmung und Lage des Wehres
- c) Bestimmung des Rückstaus
- d) Wehreichung, Wehrbedienungsplan
- e) Energieumwandlung
- f) Bauzustände.

Anlagen 1  
und 2

## 2. Modell und Versuchsverfahren

Das Modell wurde im Maßstab 1:80 unverzerrt gebaut. Es umfaßt das Rheinbett und das Rheinvorland auf der rechten (badi-schen) Seite von Rhein-km 223,200 bis Rhein-km 225,300 sowie das Vorland auf der linken (elsässischen) Seite unterhalb Rhein-km 224,800 auf eine Breite von 120 m. Die Stromachse ist im Mo-dellbereich eine Gerade. Das linksrheinische Vorland oberhalb km 224,800 (Wehr) wird nach Inbetriebnahme des Kulturwehres nicht mehr durchflossen werden (Anlage 2).

Anlage 2

Bildtafel 1

Bildtafel 2

Bildtafel 1 zeigt das Modell von unterstrom vom elässischen Ufer aus, Bildtafel 2 von oberstrom.

### 2.1. Modellgesetze

Bei der Uebertragung des Naturzustandes in das Modell ist sowohl die geometrische als auch die hydraulische Aehnlichkeit zu wahren.

Bei Strömungsvorgängen in der Natur herrscht fast ausschließlich turbulenter Abfluß. Er ist gekennzeichnet durch eine ausgeprägte Flechtströmung (Verflechtung der einzelnen Wasserfäden) im Gegensatz zur Laminarströmung (schichtartiges, un- vermischtes Fließen der einzelnen Wasserfäden). Die kritische Reynolds'sche Zahl  $Re = 580$  gibt die Grenze zwischen beiden Strömungsarten an.

$$\text{Reynolds'sche Zahl } Re = \frac{v \cdot t}{\nu}$$

$v$  = Strömungsgeschwindigkeit

$t$  = Wassertiefe

$\nu$  = kinematische Zähigkeit des Wassers

Aus dieser Fließbedingung bestimmt sich der Verkleine- rungsmaßstab.

Beim Ueberwiegen der Schwerekräfte über die Reibungs- und Kapillarkräfte gilt das Froude'sche Aehnlichkeitsgesetz. Dies ist bei flußbaulichen Modellversuchen allgemein der Fall, also auch bei den Modellversuchen für das Kulturwehr Breisach.

Setzt man Trägheits- und Schwerekräfte zueinander ins Verhältnis, erhält man die Froude'sche Zahl Fr.

$$\begin{array}{l} \text{Trägheitskräfte} \quad K = \rho \cdot V \cdot b \\ \text{Schwerekräfte} \quad K = \rho \cdot g \cdot V \end{array}$$

$$\begin{array}{l} V = \text{Volumen (m}^3\text{)} \\ b = \text{Beschleunigung (m/s}^2\text{)} \\ \rho = \text{Dichte (kg} \cdot \text{s}^2\text{/m}^4\text{)} \\ g = \text{Erdbeschleunigung (m/s}^2\text{)} \\ v = \text{Geschwindigkeit (m/s)} \\ l = \text{Länge (m)} \\ t = \text{Zeit (s)} \end{array}$$

$$Fr = \frac{\rho \cdot V \cdot b}{\rho \cdot g \cdot V} = \frac{b}{g} = \frac{v}{t \cdot g} = \frac{v}{v \cdot g} = \frac{v^2}{g \cdot l}$$

Das Froude'sche Aehnlichkeitsgesetz besagt, daß die Froude'sche Zahl sowohl im Modell als auch in der Natur gleich sein muß.

Daraus lassen sich die Maßstabszahlen für die physikalischen Grundgrößen Länge, Kraft und Zeit ableiten.

$$\text{Länge: } \frac{L_{\text{Natur}}}{l_{\text{Modell}}} = \lambda = \text{Maßstabszahl}$$

$$\text{Kraft: } \frac{\rho_{\text{Natur}} \cdot V_{\text{Natur}} \cdot g}{\rho_{\text{Modell}} \cdot V_{\text{Modell}} \cdot g} = \frac{L^3}{l^3} = \lambda^3$$

$$\text{Zeit: } \frac{v^2_{\text{Modell}}}{g \cdot l_{\text{Modell}}} = \frac{v^2_{\text{Natur}}}{g \cdot L_{\text{Natur}}}$$

$$\frac{l^2}{g \cdot t^2 \cdot l} = \frac{L^2}{g \cdot T^2 \cdot L} \rightarrow \frac{T}{t} = \sqrt{\frac{L}{l}} = \lambda^{0,5}$$

$$\text{Geschwindigkeit: } \frac{v_{\text{Modell}}^2}{g \cdot l_{\text{Modell}}} = \frac{v_{\text{Natur}}^2}{g \cdot l_{\text{Natur}}}$$

$$\frac{v_{\text{Natur}}}{v_{\text{Modell}}} = \sqrt{\frac{l_{\text{Natur}}}{l_{\text{Modell}}}} = \lambda^{0,5}$$

Auf Grund der ermittelten Maßstabsfaktoren für die physikalischen Grundgrößen lassen sich die Maßstabsfaktoren für alle anderen zu übertragenden Größen durch Zurückführen auf die physikalischen Grundgrößen leicht ermitteln, z.B.

$$\text{Wassermengen } \frac{Q_{\text{Natur}}}{Q_{\text{Modell}}} = \lambda^3 \cdot \lambda^{-0,5} = \lambda^{2,5}$$

Für  $\lambda = 80$  ergibt sich  $\lambda^{2,5} = 57.243,52$ . Damit entsprechen 100 m<sup>3</sup>/s in der Natur

$$\frac{100 \cdot 10^3}{57.243,52} = 1,75 \text{ l/s im Modell}$$

## 2.2. Bau und Betrieb des Modells

Das Modell für Untersuchungen am Kulturwehr Breisach wurde in der üblichen Weise aus Beton auf einer entsprechenden Auffüllung aufgebaut.

Die in der Natur aufgemessenen Querprofile wurden, dem Maßstab entsprechend verkleinert, aus Zinkblech ausgeschnitten und dem Grundriß und der Höhenlage nach genau eingebaut. Die Auffüllung der Zwischenräume erfolgte mit Sand. Die Modelloberfläche wurde mit einer 2 bis 5 cm starken Betonschicht nach den Blechprofilen und genauen Kartenunterlagen modelliert.

Die Querprofile des Flußbettes wurden im Juli 1958 aufgenommen. Die Nachbildung des Vorlandes basierte auf einer tachymetrischen Geländeaufnahme (Lageplan 1:1500).

Ebenfalls in der üblichen Weise war die Wasserversorgung des Modells nach dem Kreislaufverfahren geregelt. Das Wasser wird durch eine Pumpe aus dem Tiefbehälter in einen Hochbehälter gehoben. Im Hochbehälter halten eine Reihe von Ueberfallkannten den Druck konstant und gleichen damit geringe Schwankungen der Pumpenleistung aus. Vom Hochbehälter wird durch ein Rohrlei-

tungssystem das Wasser dem Meßwehr zugeleitet, an dem die erforderlichen Modellwassermengen gemessen werden. Es wurde hier ein Meßwehr mit scharfkantiger, horizontaler Krone, ohne Seitenkontraktion, mit einer Breite von 1,00 m verwendet. Die Grenzbedingungen beim Abfluß über das Meßwehr erlaubten Modellabflusssmengen, die Abflusssmengen in der Natur von  $435 < Q < 30\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$  entsprachen. Die Verteilung und Gleichrichtung der Wassermenge im Modelleinlauf und die Anströmung des Modells wurde mit Tauchwänden, durch Abschotten und mit Dränrohren erreicht.

Zur Messung der Wasserspiegellagen im Modell waren in 9 Meßquerschnitten 18 Spitzentaster über dem Flußbett und dem Vorland angebracht (Anlage 2).

Die Spitzentaster sind mit Millimetereinteilung und Nonius versehen. Das erlaubt eine Ablesungsgenauigkeit von  $1/10\ \text{mm}$  im Modell =  $8\ \text{mm}$  Natur.

Alle Wasserspiegelmessungen wurden mindestens dreimal ausgeführt und die Ergebnisse gemittelt.

Das Einstauen des Wasserspiegels auf den jeweiligen Wert an der Meßstelle T 7 (Rhein-km 225.000) erfolgte durch eine bewegliche Klappe am Auslauf.

### 2.3. Hydraulische Unterlagen

Die hydraulische Aehnlichkeit der Fließvorgänge wird durch Vergleich der Wasserspiegellagen im Modell und in der Natur nachgewiesen.

Im vorliegenden Fall wurden dafür neben den zur Verfügung gestellten Unterlagen auch die Unterlagen der WSD Freiburg herangezogen, die der Bundesanstalt für Wasserbau für die 1957 ausgeführten Modellversuche am "Kulturwehr Breisach, Rhein-km 224.00" zur Verfügung standen.

Im einzelnen war an Naturwasserspiegellinien vorhanden:

a)		Niedrigwasserfixierung	1953
b)		" "	1955
c)	$Q = 525\ \text{m}^3/\text{s}$	" "	1958
d)	$Q = 573\ \text{"}$		3.11. 1955

e)	Q = 1020 m <sup>3</sup> /s	(MW)	1955
f)	Q = 1180 "	(MWS <sub>0</sub> )	1958
g)	Q = 3800 "		Juni 1953
h)	Q = 5500 "	(HHQ)	1955
i)	Q = 6000 "	(KHQ)	1958

Anlage 3

Wie aus der Anlage 3 ersichtlich ist, liegt die mittlere Sohle 1958 und zum Teil auch der Talweg 1958 (von km 224.00 an abwärts) im Vergleich zu 1954 tiefer. (Die Werte von 1954 stammen aus einem Längsschnitt der WSD Freiburg vom 13.2.1957, die Werte von 1958 aus den neuen, der Bundesanstalt für das Vollmodell übergebenen Unterlagen (Längsschnitt und Querprofile.))

Nach Angaben der WSD Freiburg sind sowohl die Niedrigwasserfixierungen als auch die Wasserspiegelmessung bei  $Q = 3800 \text{ m}^3/\text{s}$  im Juni 1953 mit Fehlern behaftet.

Die Wasserspiegellagen aus dem Jahr 1958 zeigen gegenüber denen aus früheren Jahren ein flacheres Gefälle. Das deutet ebenfalls auf Veränderungen der Sohle im Modellbereich hin. Daher wurde davon abgesehen, die Wasserspiegellagen aus früheren Jahren um das Maß der Erosion am Pegel Breisach (Rhein-km 225.600) herunterzusetzen.

Somit standen dann zur Herstellung der hydraulischen Ähnlichkeit nur die Niedrigwasserfixierung 1958 und die auf Grund neuerer Profilaufnahmen von der WSD Freiburg berechneten Wasserspiegellagen für  $Q = 1180 \text{ m}^3/\text{s}$  und  $Q = 6000 \text{ m}^3/\text{s}$  zur Verfügung. Angaben über Hochwasserhöhen auf dem Vorland waren nicht vorhanden.

Die für das Modell maßgebenden und verwendeten Abflußkurven zeigt Anlage 4.

Anlage 4

#### 2.4. Nachweis der Naturähnlichkeit

Die Rauhmigkeit der Betonsohle des Modells erweist sich in den meisten Fällen als zu gering gegenüber der Rauhmigkeit in der Natur, hervorgerufen durch Geschiebe und Unebenheiten zwischen den aufgenommenen Profilen. Im Modell ist daher auf die "glatte" Betonoberfläche flächenhaft eine Ersatzrauhmigkeit aufzubringen. Das Maß für die Rauhmigkeit ist die Forderung, die Modell- mit den Naturwasserspiegeln gleicher Wasserführungen in Uebereinstimmung zu bringen.

Im Modell für das Kulturwehr Breisach wurde als Rauhmigkeit im Flußbett Splitt von 10 mm Durchmesser abschnittsweise zwischen den Meßstellen in regelmässigen Abstand aufgebracht.

Auf dem Vorland wechseln dichtes Gebüsch, Schilffelder, Schonungen, lichter Wald mit und ohne Unterholz und kahle Stellen miteinander ab. Nach den bei einer Geländebegehung gemachten Fotografien, den vorhandenen topographischen Unterlagen und den Luftbildern des Geländes aus dem Jahre 1957 wurde die Vorlandbepflanzung durch Aluminiumwolle nachgebildet, die auf der Betonsohle befestigt wurde. Jahreszeitlich bedingte Aenderungen der Abflußverhältnisse über dem Vorland konnten im Modell nicht berücksichtigt werden.

Anlage 5

Die Wasserspiegellinien sind auf Anlage 5 dargestellt. Beim Vergleich zwischen Modell und Natur ergeben sich nur unbedeutende Unterschiede, die bei der Niedrigwasserführung hauptsächlich darin begründet sind, daß bei Naturspiegelfixierungen die Wasserstandshöhen am Flußufer mit den dort vorhandenen örtlichen Störungen aufgenommen wurden. Im Modell werden sie in Stromachse gemessen. Dadurch verlaufen die Modellwasserspiegellinien ausgeglichener als Naturwasserspiegellinien. Das im Modell stärkere Gefälle bei Wasserführungen  $Q \approx 3500 \text{ m}^3/\text{s}$  zwischen Rhein-km 224.750 und Rhein-km 225.000 (Meßstellen T 6 und T 7) gegenüber der Naturspiegellinie ist durch den in der Berechnung für die Wasserspiegellage bei  $Q = 6000 \text{ m}^3/\text{s}$  wahrscheinlich nicht genügend berücksichtigten Einfluß der Engstelle an der Breisacher Rheinbrücke zu erklären.

Anlage 6

Zur Aufstellung von Abflußkurven (siehe Anlage 6) wurden zahlreiche Wasserspiegellagen gemessen, die zwischen denen zur Herstellung der hydraulischen Aehnlichkeit verwendeten lagen.

Bildtafel 3

Die Bildtafel 3 zeigt eine Strömungsaufnahme bei  $Q = 500 \text{ m}^3/\text{s}$  Abfluß im Flußbett. Die Strömungsrichtung ist durch den Lauf von Kerzen dargestellt. Durch intermittierende Belichtung von 1 Sekunde erhielt man die auf der Bildtafel eingetragenen Geschwindigkeiten. Es ist deutlich das Schwingen der Strömung, der Schiffahrtsrinne folgend, zu sehen.

Bildtafel 4

Die Bildtafel 4 zeigt eine Strömungsaufnahme bei  $Q = 6000 \text{ m}^3/\text{s}$  Abfluß im Flußbett und über das Vorland. Die Strömung wurde durch eingestreute Papierschnitzel und eine lange Belichtungszeit sichtbar gemacht. Die eingeschriebenen Geschwindigkeiten wurden wie oben beschrieben gemessen.

### 3. Formgebung des Wehres

Der Entwurf für das Kulturwehr Breisach sieht vor, den geplanten Aufstau durch einen Höcker (fester Teil) und einen Sektorkörper (beweglicher Teil) als Wehrverschluß zu errichten.

Die geometrischen Formen sowohl des Wehrhöckers als auch des Sektorverschlusses wurden auf Grund der in der Bundesanstalt für Wasserbau gemachten Erfahrungen und gewonnenen Erkenntnisse ausgeführt<sup>1)</sup>.

Die jeweiligen Maße des Höckers sind sämtlich eine Funktion der Höckerhöhe, die des Sektors eine Funktion der vom Sektor gebildeten Stauhöhe. Dadurch werden alle in dieser Art konstruierten Höcker und Sektorkörper geometrisch ähnlich.

Die allgemeinen Bezeichnungen und Abhängigkeiten sind auf Anlage 8 zu ersehen.

Anlage 8

1) Siehe "Bautechnik", 36. Jahrgang, S. 221/228 und S. 297/300, Heft 6 und 8, Juni und August 1959. Dr.-Ing. Jambor: Mögliche Erhöhung und Entwicklung der festen Wehrschwelle sowie Gestaltung der damit verbundenen Wehrkonstruktionen, insbesondere des Sektorwehres.

#### 4. Anströmung und Lage des Wehres

Entsprechend den von der WSD Freiburg zur Verfügung gestellten Unterlagen wurde das Kulturwehr mit einer Höckerhöhe von  $p = 4,00$  m und der Verschlusshöhe  $h = 4,00$  m des Sektorwehres mit den vorgesehenen Nebenanlagen in das Modell eingebaut. Die vorgesehene Stauhöhe am Wehr von  $NN + 192,00 - 184,00 = 8,00$  m war unterteilt in eine Wehrschwellerhöhe (fester Teil) von  $p = 4,00$  m und einer auf das Sektorwehr (beweglicher Teil) entfallenden Stauhöhe von  $h = 4,00$  m. Fischpaß, Bootsschleuse, Deich auf dem linken Rheinufer und Flügeldeich durch das rechte Rheinvorland wurden ebenfalls entsprechend eingebaut.

Bei dem nach Errichten des Rheinseitenkanals im Rhein verbleibenden Hochwasser von  $HHQ = 6000 - 1000 = 5000$  m<sup>3</sup>/s (siehe auch Abschnitt 5.1.) sind die Sektoren des Wehres vollständig gelegt und das Vorland im Oberwasser überströmt. Für diesen Zustand (hohe Wasserführung mit Vorlandüberströmung) war die Anströmung zu überprüfen. Bei kleineren Wasserführungen (bis bordvoll) wird sich wegen der geraden Flußstrecke im Oberwasser und der senkrecht zur Stromachse liegenden Wehrachse eine gerade Anströmung einstellen. Das Schwingen der Strömung, hervorgerufen durch Talweg und Schiffahrtsrinne bei kleineren Wasserführungen wird nach Errichten des Wehres bei Halten des Stauziels wesentlich gemindert, und zwar um so stärker, je kleiner die Wasserführung ist (Bildtafel 7).

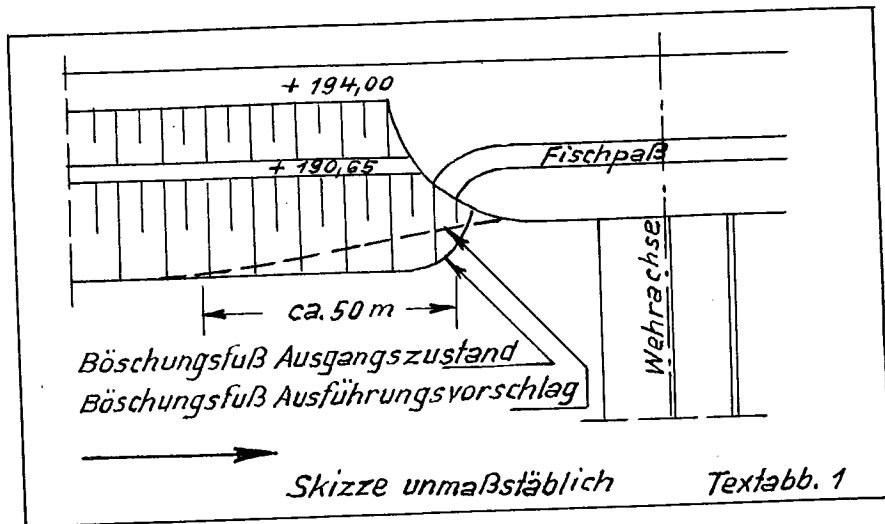
Bildtafel 7

Bei HHQ zeigte sich an der Oberfläche und der Sohle eine Schrägströmung des Wehres (Bildtafel 5), und zwar nicht einheitlich für alle Felder gleich.

Bildtafel 5

Durch relativ geringfügige Baumaßnahmen konnte die Anströmung, vor allen Dingen an der Oberfläche, wesentlich verbessert werden. Die Maßnahmen waren:

1. Der Uferbau der linken Seite ist im OW nicht durch einen Kegel an den Fischpaß anzuschließen, sondern die Böschungsneigung ist von 50 m oberhalb des Fischpasses beginnend derart stetig zu verziehen, daß der Fußpunkt der Böschung in der Flucht der Wehrwange an den Fischpaß anschließt (Textabb. 1).



2. Die Buhne bei km 224.667 wurde entfernt.
3. Die Sohle am badischen Ufer wurde vom Wehr (NN + 184.00 m) bis ausschließlich der Buhne Rhein-km 224.538 (NN + 185.00 m) ausgebaggert.

Bildtafel 6

Den Erfolg dieser Maßnahmen zeigt Bildtafel 6.

Eine Drehung der gesamten Wehrachse war nicht in Erwägung zu ziehen, da die schräge Anströmung der einzelnen Felder nicht einheitlich war und eine Verbesserung auf der einen eine Verschlechterung auf der anderen Seite gebracht hätte. Ausserdem hätte sich eine Verdrehung der Wehrachse wiederum auf die Anströmung bei kleineren Wasserführungen ungünstig bemerkbar gemacht.

Eine Verbesserung war daher von vornherein nur mit Maßnahmen zu suchen, die ausserhalb der Wehrkonstruktion lagen.

Bildtafel 6

Weiter wurde eine sehr ungleichmässige Verteilung der Geschwindigkeiten über den Querschnitt festgestellt (Bildtafel 6). Damit ist eine unterschiedliche Leistungsfähigkeit der vier Wehröffnungen bedingt. Die linke Mittelöffnung leistet am meisten, die rechte Seitenöffnung am wenigsten. Da die Abströmung im Unterwasser im Gegensatz zur Zuströmungsgeschwindigkeit im

Oberwasser gleichmässig ist, erklärt sich daraus als Folge eines Querausgleichs der Wassermengen im Oberwasser die Schräganströmung der weniger leistungsfähigen Wehröffnungen.

Eine vollkommene Beseitigung der Schräganströmung einzelner Wehrfelder bei Hochwasser wäre nur mit einer geknickten Wehrachse oder evtl. durch verschieden hohe Wehrhöcker in den einzelnen Feldern zu erreichen gewesen. Das wäre jedoch nicht im Sinne der Gesamtplanung gewesen, da sich daraus Verschlechterungen für die Anströmung bei dem weit öfters vorkommenden Fall niedriger Wasserführung und ausserdem bauliche und betriebliche Schwierigkeiten ergeben hätten.

Die Bildtafeln 5 und 6 geben die Verhältnisse bei einer Höckerhöhe von  $p = 4.00$  m wieder. Bei der endgültig gewählten Höckerhöhe (siehe Abschnitt 5.5.) von  $p = 3.00$  m liegen die Verhältnisse ebenso.

Eine Baggerung bis zur Buhne bei km 224.538 ist auf jeden Fall zu empfehlen, nicht nur der besseren Anströmung wegen, sondern auch wegen der Ausfahrt von Schiffen aus der Schleuse nach oberstrom bei gelegtem Stau (NN + 187.00 m).

## 5. Bestimmung des Rückstaues

### 5.1. Grundlagen

Zur Festlegung der Kronenhöhen

- a) des neuen Flügeldeiches auf dem rechten Vorland vom Wehr bis zum Anschluß an den bestehenden Hochwasserdamm III und
- b) des Dammes auf dem linken Rheinufer entlang des Strombettes

waren die von der WSD Freiburg aufgestellten Wasserspiegelberechnungen im Modell zu überprüfen. Weiter war festzustellen, ob die zu erwartenden Hochwasserhöhen oberhalb des Anschlusses des neuen Flügeldeiches an den Hochwasserdamm III unter der Krone des Hochwasserdammes III liegen. Gegebenenfalls waren dazu geeignete Maßnahmen vorzuschlagen, um eine Erhöhung der bestehenden Hochwasserdämme vermeiden zu können.

Nach Angaben der Wasser- und Schifffahrtsdirektion war den Versuchen zur Bestimmung des maximal auftretenden Rückstaus folgendes zu Grunde zu legen:

1. Die Gesamtwasserführung des Rheins beträgt  $6000 \text{ m}^3/\text{s}$  (Katastrophenhochwasser). Davon fließen ab: im Rheinbett  $5000 \text{ m}^3/\text{s}$ , im Rheinseitenkanal  $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ .
2. Die Deichanlagen sind für den Fall auszulegen, daß eine der vier Wehröffnungen des Kulturwehres blockiert ist: Der Abfluß erfolgt durch  $(n - 1) = 3$  Oeffnungen. Da die linke Mittelöffnung die größte Leistungsfähigkeit hat, ist die Oberkante des Sektors dieser Oeffnung auf Stauziel (NN +192.00 m) zu belassen.

#### 5.2. Messen der maximalen Wasserspiegelhöhen

Anlage 9

Den Vergleich der im Modell gemessenen zu den errechneten Wasserspiegellagen zeigt Anlage 9. Die Erhöhung des Wasserspiegels gegenüber der Rechnung ist auf die unterschiedliche Leistungsfähigkeit der einzelnen Wehröffnungen zurückzuführen. Die geringe Leistungsfähigkeit der rechten Mittel- und Seitenöffnung konnte nicht vorausgesehen und daher auch in einer Berechnung nicht erfaßt werden.

Anlage 10

Auf Grund der Tatsache, daß die im Modell gemessenen Wasserspiegel bis zu 80 cm höher liegen als die durch Rechnung ermittelten, waren nach Erkenntnis der Gründe hierfür Gegenmaßnahmen zu suchen. Anlage 10 gibt eine Uebersicht über die im Modell untersuchten Varianten.

Die vor dem Wehr vorhandene ungleichmässige Geschwindigkeitsverteilung (Maximum der Geschwindigkeit stark von der Stromachse nach links verschoben) rührt von der Einströmung der Wassermengen aus dem Vorland in das Flußbett her, wodurch hier diese Wassermengen erst beschleunigt werden müssen und dadurch die Fließgeschwindigkeit herabsetzen. Um so größer muß dafür die Geschwindigkeit auf der linken Flußhälfte und damit das Gesamtfließgefälle werden. Dieses Einströmen ist stärker als im

Bildtafel 4

Naturzustand, wo ein großer Teil der über das Vorland abfließenden Wassermengen nicht in das Strombett gelangt, sondern durch die Vorlandöffnungen der Breisacher Rheinbrücke auf badischer Seite abfließen konnte (Bildtafel 4). Durch den Bau des Kulturwehres und den Anschluß der Schleusenplattform durch einen Flügeldeich an den alten Hochwasserdamm III wird die gesamte Wassermenge aus dem Vorland gezwungen, in das Strombett einzufließen. Dadurch nimmt die aus dem Vorland in das Strombett einfließende Wassermenge pro lfm zu. Auch der Winkel gegen die Stromachse, mit dem die Wassermenge aus dem Vorland einströmt, wird größer (Bildtafel 4 im Vergleich zu Bildtafeln 8, 9 und 10). Die Engstelle des früheren Zustandes war die Breisacher Rheinbrücke, jetzt liegt sie am Kulturwehr bzw. von hier bis zum Rhein-km 224.500.

Bildtafeln 8,  
9 u.10

Die aus dem Vorland zum Teil fast senkrecht in das Flußbett einströmenden Wassermengen werden umgelenkt und nehmen einen Teil des Abflußquerschnittes ein. Eine Beschleunigung und evtl. Querausgleich dieser Wassermengen mit der bereits im Fluß befindlichen wird dadurch verhindert, daß die Quereinströmung, einmal vorhanden, auch unterhalb sich fortsetzt. Die Strecke von Rhein-km 224.500 bis zum Wehr ist für einen wirksamen Querausgleich nicht ausreichend.

Zur hydraulischen Erklärung sei die Formel

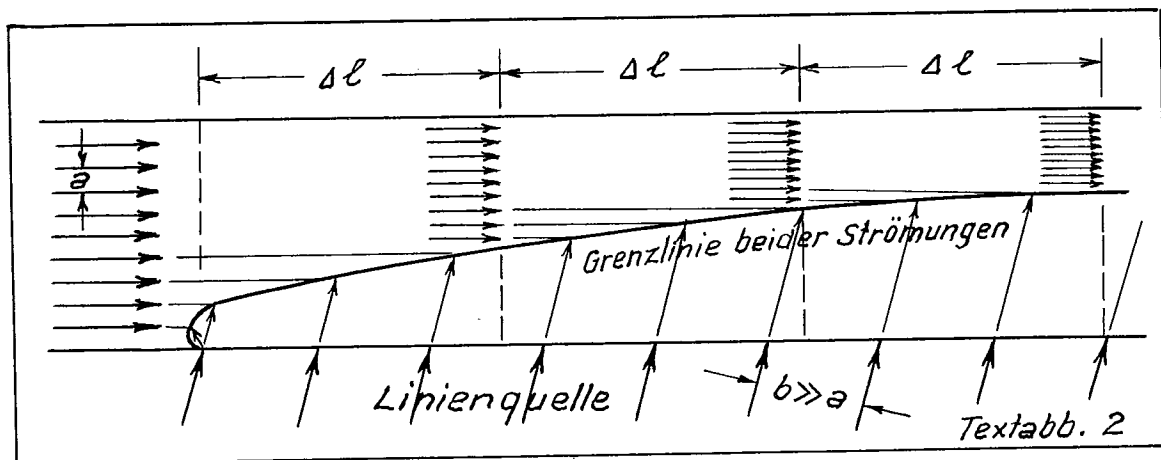
$$Q = F \cdot k \cdot R^\alpha \cdot J^\beta$$

angeführt.

Die Umlenkung der Wassermengen nimmt einen gewissen Teil der Abflußfläche weg und wirkt daher wie eine Querschnittsverbauung. Die größere innere Turbulenzrauigkeit im Bereich der Umlenkung kann mit einer Erniedrigung des k-Wertes ausgedrückt werden (was in diesem Fall nicht einer erhöhten Sohl- oder Wandrauigkeit entspricht). Die Abnahme von k und F wird zwar durch eine ebenfalls vorhandene Abnahme von Q nach oberstrom zu überdeckt, jedoch in keiner Weise kompensiert. Dadurch ergibt sich eine Vergrößerung des Gefälles J.

Die Energie für die Umlenkung kann nur die Wassermenge des Strombettes liefern. Durch das damit entstehende größere Energieliniengefälle wird die Energiehöhe und damit auch die Wasserspiegellinie angehoben (in der Hauptsache von km 224.5 bis 224.0).

Trotz voll ausgebildeter Turbulenz kann hier eine Analogiebetrachtung aus der Potentialtheorie angestellt werden. Die im Strombett befindliche Wassermenge wird als Parallelströmung, die aus dem Vorland kommende Wassermenge als Linienquelle angesehen (Textabb. 2). Je kleiner der Abstand der Stromlinien, um



so größer ist die Geschwindigkeit. Werden die entsprechenden Stromlinien zum Schnitt gebracht, erhält man die Grenzlinie beider Strömungen. Der Parallelströmung wird Fläche entzogen, so daß ihre Stromfäden enger zusammenrücken. Nach jedem Querschnitt (Abstand  $\Delta l$ ) kann dann die darauffolgende Grenzlinie gezeichnet werden. Durch den geringeren Abstand der Stromlinien der Parallelströmung wird die Grenzlinie immer flacher, nahezu parallel zum Rand der Parallelströmung. Die Grenzlinie ist auf den Bildtafeln 8, 9 und 10 deutlich als stärkerer weißer Strich zu sehen. (Konzentration der zur Darstellung der Strömung verwendeten Papierschnitzel.) Entlang der Grenzlinie, der Mischungszone beider Strömungen, treten durch die Mischung erhöhte Verluste auf. Durch die dichteren Stromlinien dem linken Rand zu ergibt sich die Verlagerung des Geschwindigkeitsmaximums. Die Energie zur Umlenkung liefert der Hauptstrom.

Bildtafeln 8,  
9 u. 10

Das größere Energielinien- und damit Wasserspiegelgefälle beim Abfluß mit Vorland gegenüber dem Abfluß ohne Vorland zeigte sich bei allen im Modell eingebauten Varianten (Anlagen 11 und 12).

Anlagen 11  
und 12

Die Form des Flügeldeiches hat keinen wesentlichen Einfluß auf die hier beschriebenen Gründe der Energielinien- und damit Wasserspiegelerhöhung. Eine Veränderung der Lage des Flügeldeiches würde nur eine Verlagerung des Problems, nicht aber eine Beseitigung bringen.

### 5.3. Einfluß der Baggerung

Als einfachstes Mittel zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit des Strombettes erschien eine Baggerung der Bühnenfelder am badischen Ufer von Rhein-km 223.435 an nach unterstrom. Diese Stelle ist der Scheitelpunkt der Fahrrinne am badischen Ufer, von dort aus schwingt sie zum linken Ufer, wo sie ihren Scheitel ungefähr bei km 224.400 hat. Selbst im Bereich, wo die Fahrrinne am badischen Ufer entlang verläuft, lag das Geschwindigkeitsmaximum am linken Ufer über den dortigen Bühnenfeldern.

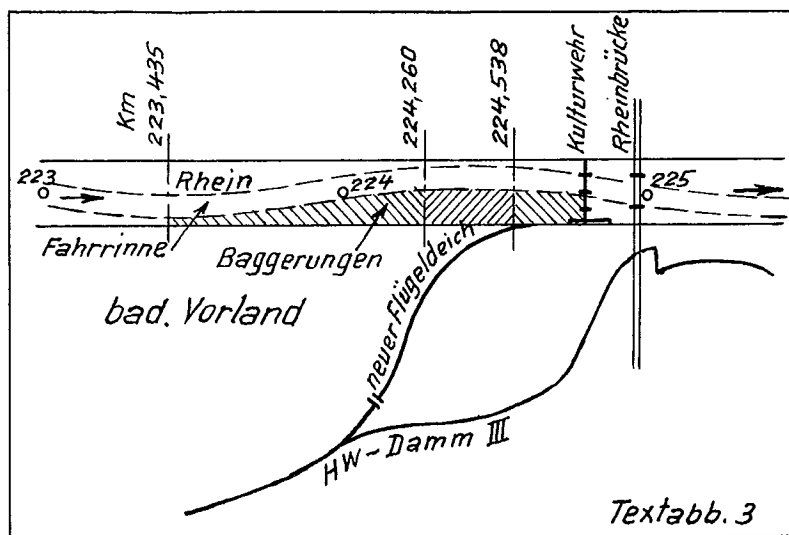
Anlage 11

Auf Anlage 11 ist der Einfluß von Baggerungen auf die Wasserspiegellagen im Flußbett aufgetragen. Es wurden drei verschiedene Baggerstrecken im Modell untersucht:

- vom Wehr km 224.800 (Sohlenhöhe NN + 184.00 m) bis
- a) ausschl. Bühne km 224.538 (vorgesehene Sohlenhöhe NN +185.00 m)
  - b) " " " 224.260 ( " " " NN +185.00 m)
  - c) " " " 223.435 ( " " " NN +184.50 m)

(siehe Textabb. 3)

Die Bühnen waren als Stützkörper für das erste nicht gebaggerte Bühnenfeld belassen.



Die maximale Wasserspiegelniedrigung durch die Baggerungen beträgt 6 cm beim Abfluß allein im Flußbett. Bei Einbeziehung des Vorlandes für den Abfluß lagen die Differenzen im Genauigkeitsbereich der Messungen (siehe Tabelle auf Anlage 11).

Mit Maßnahmen im Fluß (Herausnahme von Buhnen, Baggerung von Buhnenfelder) ist keine oder nur eine unwesentliche Erniedrigung der Wasserspiegel zu erreichen, jedenfalls nicht in einem den Aufwand rechtfertigenden Maße.

#### 5.4. Einfluß der Höckerhöhe

Eine wesentliche Erniedrigung des Rückstaues kann nur durch eine Steigerung des Abflußvermögens des Kulturwehres herbeigeführt werden, d.h. durch eine Erniedrigung des festen Teils des Staukörpers.

Die Anlagen 12, 13 und 14 zeigen den Einfluß der vorgenommenen Erniedrigungen des Wehrhöckers auf den Wasserspiegel. Es wurden außer der Höckerhöhe des Entwurfs von  $p = 4.00$  m solche von  $p = 3.50$  m,  $p = 3.00$  m und  $p = 2.50$  m untersucht.

Anlagen 12,  
13 u.14

Bei Einbeziehung des Vorlandes in den Abflußquerschnitt nimmt der Wasserspiegel bis zu einer Höckerhöhe von  $p = 3.00$  m stark ab, um dann geringere Abnahme zu zeigen. Das liegt daran, daß der Abfluß über das Wehr zwischen einer Höckerhöhe von  $p = 3.00$  m und  $p = 2.50$  m vom schießenden Bereich in den Bereich gewellten Abflusses übergeht.

### 5.5. Ausführungsvorschlag

Unter Betrachtung der wirtschaftlichen Gesichtspunkte des Gesamtprojektes ist der Erniedrigung des Wehrhöckers eine Grenze gesetzt, da damit eine Erhöhung der Gründungskosten und der Kosten des Stahlbauteiles verbunden ist. Nach Ueberschreiten dieser Grenze wird ein Höherlegen der Hochwasserdämme billiger als die erhöhten Kosten durch den niedrigeren Höcker.

Im Gesamtprojekt ist vorgesehen, die Möhlin mit einem Wehr im neuen Flügeldeich zu stauen. Durch dieses Wehr ist auch das Hochwasser der Möhlin, das zeitlich nicht mit dem Rheinhochwasser zusammenfällt, abzuführen. Es lag demnach auf der Hand, die Breite dieses Wehres so zu wählen, daß bei  $(n - 1) = 3$  Oeffnungen am Hauptwehr durch das Möhlinwehr soviel Wasser abgeführt wird, daß der Wasserspiegel am alten Hochwasserdamm III mit einem genügenden Sicherheitsmaß unterhalb der Krone liegt. Bei  $n = 4$  Oeffnungen am Hauptwehr besteht kein Grund, das Möhlinwehr zur Entlastung heranzuziehen.

Anlage 15

Anlage 15 zeigt die Wasserspiegelmöhen im Vorland und im Flußbett bei verschiedenen Oeffnungsbreiten des Möhlinwehres.

Die in Anlage 13 bei geschlossenem Möhlinwehr gemessenen Wasserspiegel liegen höher als die der in Anlage 11 dargestellten Variante K, obwohl sie sich entsprechen müßten. Zwischen diesen Messungen lag die Unterrichtung der Bundesanstalt für Wasserbau vom endgültigen Entwurf der Zufahrtsstraße zum Kulturwehr im Unterwasser auf der badischen Seite. Sie wurde unverzüglich ins Modell eingebaut. Die Höhenlage der Straße ist ein wesentlicher Faktor für die Abflußverhältnisse im Unterwasser. Sie liegt nunmehr hochwasserfrei bis zu einem Abfluß von  $Q = 3600$  m<sup>3</sup>/s über das Kulturwehr.

Die in Abschnitt 5.3. und 5.4. beschriebenen Versuche wurden unter gleichen Bedingungen gemacht, so daß deren grundsätzliche Aussagen sich nicht ändern.

Die Wassermengen, die durch das Möhlinwehr fließen, stammen aus dem Vorlandteil, der auf der einen Seite durch den Hochwasserdamm III, auf der anderen durch den Möhlinlauf und den geplanten Möhlindurchstich zum Möhlinwehr hin begrenzt ist (Bildtafel 10).

Bildtafel 10

Eine generelle Aenderung der in 5.2. beschriebenen Abströmungsverhältnisse über das Vorland erfolgt durch die Zuhilfenahme des Möhlinwehres zur Abführung des Hochwassers nicht, wohl aber werden die Wasserspiegel erniedrigt.

Der im Unterwasser des Flügeldeiches bei Hochwässern vorhandene Rückstau erhöht sich durch die Abführung eines Teils des Hochwassers durch das Möhlinwehr. Mit einem niedrigen Damm am linken Ufer der Möhlin vom Möhlinwehr nach unterstrom bis zum Anschluß an die Straße am Kulturwehr könnte im Bedarfsfalle dieses Gebiet aber leicht völlig hochwasserfrei gelegt werden.

Zur Ausführung wird vorgeschlagen (siehe Anlage 2): das Kulturwehr mit einer Höckerhöhe  $p = 3.00$  m; folglich einer Verschußhöhe durch den Sektorkörper von  $8.00 - 3.00 = 5.00$  m (Anlage 17).

Anlage 17

Fällt eine Oeffnung des Kulturwehres bei Katastrophenhochwasser aus, ist das Möhlinwehr im Flügeldeich zur Abführung eines Teils des über das Vorland abfließenden Hochwassers heranzuziehen. Die Breite des Möhlinwehres wird zu 15.00 m empfohlen. Eine Wassermengenmessung am Möhlinwehr (Anlage 16) ergab bei einer Wehrbreite von 15.00 m, Höhenlage der Sohle am Wehr auf  $NN + 187.10$  m, einen Gesamtabfluß von  $HHQ = 6000 - 1000 = 5000$  m<sup>3</sup>/s und  $(n - 1) = 3$  Wehröffnungen (linke Mittelöffnung blockiert) am Hauptwehr einen Abfluß durch das Möhlinwehr von  $Q = 503$  m<sup>3</sup>/s. Ein Höcker im Möhlinwehr ist bei einer Wehrbreite von 15.00 m zu vermeiden. Er erzeugt Rückstau im Oberwasser, da er nicht strömend, sondern schießend überfloßen wird (Anlage 16).

Anlage 16

Anlage 16

Die Versuche zur Erniedrigung des Wasserspiegels durch Entlastung durch das Möhlinwehr wurden mit einer Möhlinwehrrbreite von 15,00 m und einer Sohlhöhe von NN + 187.10 m durchgeführt.

Aus wasserwirtschaftlichen und konstruktiven Gründen soll nach Angabe der WSD Freiburg die Oberkante des Unterbaues (Wehrschwelle) auf NN + 188.00 m liegen. Die Wehrrbreite wurde zu 18.00 m festgelegt (Anlage 18). Verglichen mit dem im Modell eingebauten Zustand ergibt das laut hydraulischer Berechnung einen geringfügigen Aufstau von 0.03 m, der sich nach oberhalb gegenüber den gemessenen Rückstauhöhen noch wesentlich erniedrigt.

Anlage 18

a) B = 15 m; Sohle NN + 187.10 m; Wasserspiegel NN + 194.34 m

$$v \approx 1 \text{ m/s}; \frac{v^2}{2g} = 0.05 \text{ m}; \text{Energierlinie NN} + 194.39 \text{ m}$$

$$t_{gr} = \sqrt[3]{\frac{503^2}{15^2 \cdot 9.81}} = 4.85 \text{ m}; H_{\min} = 1,5 \cdot 4,85 = 7,27 \text{ m}$$

$$\text{Einlaufverluste} \approx 0,02 \text{ m}$$

$$\text{Energierlinie NN} + 187.10 + 7.27 + 0.02 = \underline{\text{NN} + 194.39 \text{ m}}$$

b) B = 18 m; OK Wehrrschwelle NN + 188.00 m

$$t_{gr} = \sqrt[3]{\frac{500^2}{18^2 \cdot 9.81}} = 4.28 \text{ m}; H_{\min} = 1,5 \cdot 4,28 = 6,42 \text{ m}$$

$$\text{Einlaufverluste} \approx 0,02 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Energierlinie NN} + 188.00 + 6.42 + 0.02 &= \\ &= \text{NN} + 194.42 \text{ m} > 194.39 \end{aligned}$$

Die Oberkante des Wehrrverschlusses des Möhlinwehres (Fischbauchklappe) liegt auf NN + 193.90 m. Dadurch soll erreicht werden, daß das Vorland jederzeit bis zu dieser Höhe auch bei kleineren Abflüssen überstaut werden kann (s. Abschnitt 6).

Eine Spülung der Wehrgrube wird nicht für notwendig erachtet, da die Klappe normalerweise gelegt ist und nur bei Hochwasser im Rhein mit Vorlandabfluß gestellt wird. Der Antrieb ist wegen Sandablagerungen auf der Klappe kräftiger zu dimensionieren.

Es ist nur dann nötig, das Möhlinwehr zur Entlastung heranzuziehen, wenn am Hauptwehr nur  $(n - 1) = 3$  Oeffnungen für den Durchfluß zur Verfügung stehen. Im Unterwasser des Möhlinwehres ist dann gewellter Abfluß vorhanden. Deshalb ist es nötig, eine Strecke von mindestens 20 m hinter dem Sturzbett abzupflastern. Die Sturzbettlänge wurde zu 15 m, die Höhe der Endschwelle zu 1.50 m angenommen.

Der Regelquerschnitt des Möhlindurchstiches soll betragen: Sohlbreite 20 m, Böschungen 1:3.

Die Linienführung der Dämme erfolgt in der ursprünglich projektierten Art. Der neue Flügeldeich zieht sich in weitem Bogen von Rhein-km 224.500 ab durch das badische Vorland und schließt dann ungefähr bei km 1.400 des Hochwasserdammes III an diesen an.

Der lange Flügeldeich hat gegenüber einem kürzeren Anschluß den Vorteil, für die Hauptwehr-Anströmung klare Verhältnisse zu schaffen. Er weist keinerlei Queranströmungen auf (siehe Bildtafeln 8, 9 und 10). Der unterwasserseitige Teil des badischen Vorlandes wird bei Katastrophenhochwasser und bei Katastrophenfällen (nur  $n - 1 = 3$  Oeffnungen am Hauptwehr funktionsfähig, dann Entlastung durch Möhlinwehr) zwar überstaut, ausser dem Möhlinbett selbst aber nicht durchflossen (Bildtafel 10). Mit einem Damm von geringer Höhe am linken Möhlinufer von der Höhe des Hauptwehres aus bis zum linken Widerlager des Möhlinwehres ist das Gebiet leicht völlig hochwasserfrei zu legen. Maßgebend zur Festlegung der Dammkronen ist der Zustand: am Kulturwehr  $(n - 1) = 3$  Oeffnungen (linke Mittelöffnung blockiert), Möhlinwehr gelegt. Die Schleuse am Hauptwehr kann ebenfalls zur Hochwasserentlastung herangezogen werden.

Bildtafeln 8,  
9 u.10

Bildtafel 10

### 5.6. Rückstauhöhen

Die Schlußfolgerung der in Abschnitt 3 angeführten Veröffentlichung (geringe Rückstauhöhen durch bestimmte Wahl der Höckerhöhe) wurde beim Kulturwehr Breisach nicht angewendet. Die besonderen Aufgaben dieses Wehres sind nicht mit denen einer Flußstaustufe vergleichbar. Das führte zu einem wesentlich höheren Höcker, als er bei einer Staustufe hätte gewählt werden müssen und damit auch zu wesentlich größeren Rückstauhöhen.

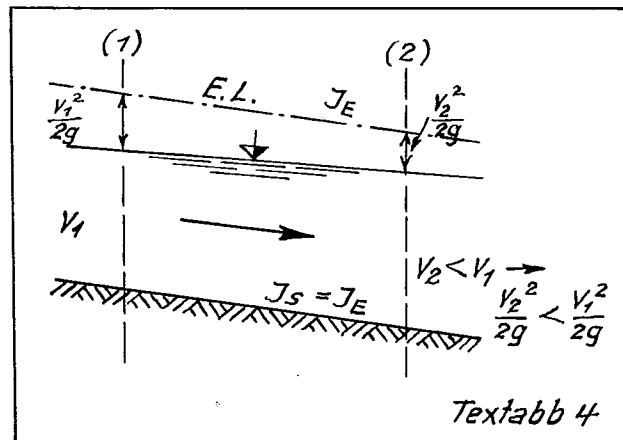
Die bei verschiedenen Wasserführungen gemessenen Rückstauhöhen sind aus den Anlagen 19 bis 28 zu ersehen. Im Hinblick darauf, daß auch die Schleuse am Kulturwehr evtl. zur Hochwasserabführung herangezogen werden kann, wurden bei höheren Wassermengen sowohl bei  $n = 4$  als auch bei  $(n - 1) = 3$  Öffnungen (linke Mittelöffnung blockiert) am Kulturwehr folgende 4 Zustände gemessen:

- a) Schleuse zu, Möhlinwehr zu
- b) " auf, " zu
- c) " zu, " auf
- d) " auf, " auf.

Die Wasserspiegelhöhen in den Anlagen 9 - 16, die denen in den Anlagen 19 - 28 entsprechen müßten, sind nicht gleich. Der Bundesanstalt für Wasserbau wurde von der WSD Freiburg während der Versuche eine verbesserte Unterwasserkurve übergeben, wodurch sich die grundsätzlichen Aussagen der in den Abschnitten 5.3. und 5.4. beschriebenen Versuche in keiner Weise ändern. Die Rückstauhöhen der Anlagen 19 - 28 basieren auf der neuen Unterwasserkurve.

Die Wasserspiegelmessungen bei km 224.750 (T 6) und km 224.500 (T 5) ergaben für T 5 niedrigere Werte als für T 6 (jeweils in Stromachse gemessen). Die Wasserspiegelerhöhung erfolgt durch Geschwindigkeitsausgleich und - erniedrigung durch Flächenvergrößerung (Textabb. 4).

Anlagen 19  
bis 28



Der Abfluß über das Kulturwehr erfolgt bei einer Höckerhöhe von  $p = 3,00$  m bei hohen Wasserführungen, d.h. also bei gelegten Sektoren, z.T. nicht mehr schießend, sondern mit gewelltem Abfluß. Im Modell wurden z.B. auch beide Abflußzustände (gewellt, schießend) in einer Oeffnung beobachtet.

Anlage 29

Anlage 29 zeigt die Wasserspiegel im Modellbereich unter Einhaltung des Stauzieles am Kulturwehr.

#### 6. Wehreichung, Wehrbedienungsplan

Am Kulturwehr wurden für  $n = 4$  Oeffnungen und für  $(n - 1) = 3$  Oeffnungen (linke Mittelöffnung blockiert) Wehreichungen durchgeführt (Anlagen 30 und 31). Die Wasserhöhen wurden bei Rhein-km 224.750 50 m oberhalb der Wehrachse gemessen. Die  $\mu$ -Werte für die verschiedenen Wehrstellungen sind nach der angegebenen Formel berechnet. Die verschiedenen UW-Zustände (Zustand II: Vogelgrün und Marßkolsheim in Betrieb, Zustand I: nur Vogelgrün in Betrieb) ergaben keine Differenzen. Bei den Messungen wurde der Fall berücksichtigt, daß eine Ueberschreitung des Stauzieles zur Ueberstauung des Vorlandes bis zu einer Höhe von NN + 193.85 m unter Umständen erwünscht ist.

Anlagen 30  
und 31

Die Darstellung ist so gewählt, daß sie gleichzeitig als Grundlage für einen Wehrbedienungsplan dienen kann. Dazu werden die Schnittpunkte der Abszisse des gewünschten Wasserstandes mit den Schlüsselkurven als Ordinate auf die jeweilige Höhe der Wehrkrone abgetragen. Damit erhält man durch Verbindung der gefundenen Punkte die Wehrkronenstellung als Funktion von Q. Für das Stauziel NN + 192.00 m ist diese Kurve eingetragen.

## 7. Energieumwandlung unterhalb des Wehres

### 7.1. Grundlagen und Aufgabe der Kolkversuche

Für die Ermittlung der Kolk-tiefen hinter dem Wehr wurde im Modell die feste Betonsohle unterhalb des Wehres entfernt und durch eine bewegliche Sohle ersetzt. Diese bestand aus Sand mit einem mittleren Korndurchmesser  $d_{50} = 0,6$  mm. Auf Anlage 34 ist das 80-fach vergrößerte Modellgeschiebe mit dem Naturgeschiebe zusammen aufgetragen (entnommen den Unterlagen, die der Abteilung Erdbau der Bundesanstalt zur Verfügung standen). Es ergab sich eine ausreichende Uebereinstimmung der Kornverteilung.

Vor jedem Versuch wurde das Modellgeschiebe sorgfältig eingeschlämmt, so daß immer die gleiche Ausgangslagerung gewährleistet wurde. Die Versuchsdauer betrug eine Stunde, wobei sich nach ca 50 Minuten der Beharrungszustand einstellte. Nach jedem Versuch wurden die entstandenen Höhenlinien von Meter zu Meter ausgelegt (1 m Natur = 1,25 cm Modell) und fotografiert. Die Nulllinie wurde stets mit NN + 184.00 m gewählt.

Die jeweils auftretenden maximalen Tiefen der Kolke und deren Entfernung von der Endschwelle wurden ermittelt. Zweck der Versuche war die Ueberprüfung der im Entwurf festgelegten Sturzbettlänge von 6,60 m und Festlegung von Form und Abdeckmaterial einer Kolksicherung unterhalb des Sturzbettes.

### 7.2. Energievernichtung

Da der Wehrhöcker gegenüber der Gesamthöhe im Falle des Kulturwehres Breisach, bedingt durch die besonderen Aufgaben des Wehres, sehr hoch ist, liegt die kritische Wassermenge, d.h. die Wassermenge, bei der beim gleichmässigen Abfluß durch alle ( $n = 4$ ) Oeffnungen die tiefsten Kolke auftreten, nicht bei einer Wassermenge zwischen MQ und HHQ. Sie fällt hier mit der höchsten auftretenden Wassermenge (HHQ) zusammen. Der hohe Höcker gestattet selbst bei  $Q_{max}$  noch keinen strömenden Abfluß (zum Teil gewellt, zum Teil noch schießend). Nachfolgende Tabelle zeigt die maximale Tiefe der Kolke bei verschiedenen Sturzbettlangen und Wassermengen

Q (m <sup>3</sup> /s)	Sturzbettlänge $l =$				(m)
	6.00	6.60	7.50	9.00	
1000	2.60	2.75	2.75	2.95	(m)
2000		3.00			
3000		3.50			
4000	5.10	5.20	5.85	4.90	
5000	5.80	5.85	6.25	5.90	6.50

Anlage 32

Auf Anlage 32 sind für  $Q_{kritisch} = 6000 - 1000 = 5000 \text{ m}^3/\text{s}$  im Flußbett die maximalen Tiefen der Kolke in Abhängigkeit von der Sturzbettlänge für die jeweils gleichen Meßebenen aufgetragen und auf Bildtafel 11 im Bild zu sehen. Wie aus der Darstellung klar hervorgeht, ergibt eine Verkürzung oder Verlängerung des Sturzbettes, von der Entwurfslange von 6.60 m ausgehend, keine Verminderung der Kolke. Die auftretenden Unterschiede in der maximalen Tiefe sind verschwindend gering.

Bildtafel 11

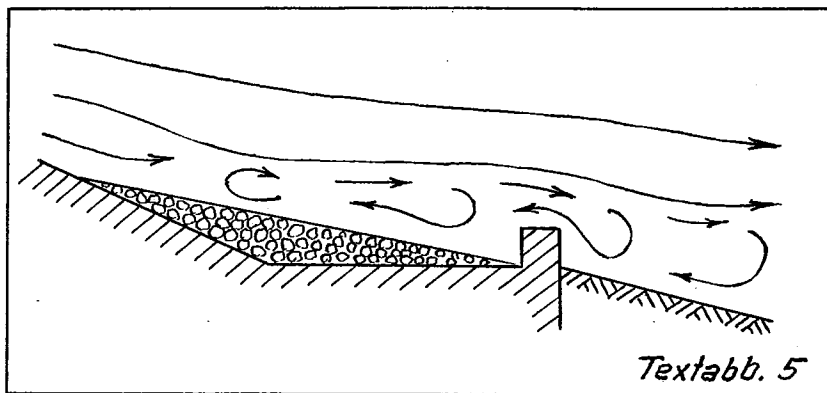
Es zeigte sich, daß beim Abfluß durch 4 Wehröffnungen auch ohne Kolksicherung keine Gefährdung der Endschwelle zu erwarten wäre.

Es besteht also keine Veranlassung, von der im Entwurf vorgesehenen Sturzbettlänge von 6.60 m abzugehen. Sie wird zur Ausführung vorgeschlagen (siehe Anlage 17). Bei der in den Anlagen 8 und 17 gezeigten Gestaltung des Sektorwehres kann die Energievernichtung kurz gehalten werden, da das abfließende Wasser durch die Schräge unterhalb des Sektorgelenks bereits abwärts gerichtet wird.

Anlage 17

Bildtafel 11

Die auf der Bildtafel 11 zu erkennenden Sandablagerungen im Sturzbett traten bei den Versuchen ohne Kolksicherung auf. Das Geschiebe wird über die Endschwelle hereingeworfen und lagert sich ab (siehe Textabb. 5). Das liegt an der beim gewellten Abfluß auftretenden Grundwalze, die hier in das Sturzbett hereinschlägt.



Die Ablagerung hat in der Mitte der Oeffnungen ungefähr obige Form und läuft bis zu den Pfeilern im Zwickel Schräge-Sturzbett aus. Es zeigte sich, daß diese Ablagerungen ungefährlich sind. Einmal, da die Stoßwirkung der Schwelle auf keinen Fall davon beeinträchtigt wird; zum anderen zeigte es sich im Modell, daß schon ein geringes, kurzzeitiges Anheben des Sektors genügt, um das Geschiebe ins UW abzutransportieren.

Nach dem Einbau der Kolksicherung blieb das Sturzbett frei von Ablagerungen.

### 7.3. Kolksicherung

Eine Kolksicherung ist nicht durch den normalen Wehrbetrieb bedingt, bei der alle 4 Sektoren möglichst gleichmässig bedient werden, sondern durch den Katastrophenfall, daß bei  $Q_{\text{kritisch}} = Q_{\text{max}} = 6000 - 1000 = 5000 \text{ m}^3/\text{s}$  im Flußbett eine Wehröffnung ausfällt.

Bildtafel 12

Bildtafel 12 zeigt die entstandenen Kolke bei ungesicherter Sohle. Es ist auch deutlich die Gefährdung der Endschwelle zu erkennen.

Anlage 35

Eine horizontale Sicherung der Sohle ist unzweckmässig. Bei der Bestimmung der Form der Abdeckung geht man von der Höhe- und Neigung der Kolke aus, die beim Betrieb des Wehres mit den Öffnungen entstehen. Die zur Ausführung vorgeschlagene Form zeigt Anlage 35: auf 20 m Länge eine Neigung 1:4 bis zur Höhe- kote von NN + 178,00 m, hierauf 1:10 steigend auf mindestens 40 m Länge. Der leichte, vorgegebene Sohlanstieg führt die Stromfäden wieder zur Oberfläche zurück und verhindert weiteren konzentrierten Sohlangriff.

Die Größe der Schüttsteine wurde rechnerisch und im Modell nachgewiesen.

Anlage 33

An Hand der Wehrabmessungen und der gemessenen Wasserspiegellagen am Wehr (gemessen 50 m oberhalb der Wehrachse in Strommitte) wurden die mittleren Abflußgeschwindigkeiten über den gesamten Wehrquerschnitt ermittelt. Wie bei den Kolktiefen ergibt sich  $v_{\text{max}}$  bei  $Q_{\text{max}}$  (Anlage 33).

Anlage 34

Unter Zugrundelegung der von Krey durchgeführten Versuche über den Beginn der Geschiebebewegung wurde in Anlage 34 die Funktion von D (Durchmesser des nicht mehr bewegten Kornes) zur Abflußgeschwindigkeit  $v_m$  bei verschiedenen Rauigkeitsbeiwerten k (nach Chezy) aufgetragen. Für einen k-Wert von 30 bis 35 ergeben sich demnach bei einer maximal vorhandenen Abflußgeschwindigkeit von ca 5,2 m/s die Abdeckungsgrößen 480 bis 640 mm Natur. Das stimmt mit den Modellergebnissen überein: Abdeckungen mit einem Korndurchmesser  $< 6 \text{ mm} = 480 \text{ mm}$  Natur wur-

Bildtafel 11

den im oben beschriebenen ungünstigen Fall noch bewegt; bei einer Körnung  $6 < d < 8 \text{ mm} = 480 - 640 \text{ mm}$  Natur zeigten sich keine Verformungen der Kolksicherung mehr (Bildtafel 11). Die Modellversuche wurden unabhängig von der Rechnung durchgeführt.

## 8. Bauzustände

### 8.1. Grundlagen und Aufgabe der Versuche

Anlagen 36  
und 37

Das Bauprogramm (Bauzustände 1 bis 5) wurde von der Wasser- und Schifffahrtsdirektion Freiburg aufgestellt (Anlagen 36 und 37). Bei der Einteilung der Bauphasen war darauf zu achten, daß die bei Vorlandabfluß leistungsfähigeren der vier Wehröffnungen (links der Stromachse) am Anfang zu erstellen sind. Damit wird der Aufstau durch den Querschnittsverbau in den Bauzuständen 4 und 5 bei Wassermengen, die Vorlandüberflutung hervorrufen, möglichst gering gehalten. Die Brückenjoche der Baubrücke wurden im Modell als Vollquerschnitt dargestellt, besonders im Hinblick darauf, daß evtl. Eisabweiser vor den Jochen aufgestellt werden.

Im Modell wurden für die Bauzustände folgendes untersucht bzw. gemessen:

Anlagen 38,  
39 u. 40

- a) die Wasserspiegellagen für  $Q = 1000, 2200$  und  $3000 \text{ m}^3/\text{s}$  im Flußbett für alle Bauzustände (Anlagen 38, 39 und 40) und für  $Q = 4000 \text{ m}^3/\text{s}$  im Flußbett mit Entlastung durch die Schleuse am Hauptwehr und das Möhlinwehr für die Bauzustände 2, 3 und 4 (Anlage 41). Daraus wurden Abflußkurven aufgestellt (Anlage 42).

Anlage 41

Anlage 42

Ab Bauzustand 3 kann eine Entlastung durch die Schleuse am Hauptwehr erfolgen. Bei Vorlandüberflutung kann auch das Möhlinwehr zur Entlastung herangezogen werden.

Die Höhe der Baugrubenumschließung wurde nach dem Entwurf der Wasser- und Schifffahrtsdirektion Freiburg so angeordnet, daß bei Wassermengen größer als  $Q = 3200 - 1000$  (bzw.  $3400 - 1200$ ) =  $2200 \text{ m}^3/\text{s}$  im Flußbett die Baugruben geflutet und damit überspült werden (Anlage 37).

Anlage 37

b) die Durchflußgeschwindigkeiten für alle Bauzustände.

Bildtafeln 13  
bis 17

Die Bildtafeln 13 bis 17 zeigen die Anströmung beim jeweiligen Bauzustand und die gemessenen Oberflächengeschwindigkeiten.

c) Aufzeigen von kolkgefährdeten Stellen und Maßnahmen gegen die Gefährdung der Baugrubenumschließung.

## 8.2. Kolkbildungen

Hierzu wurde der in Abschnitt 7.1. beschriebene Sand mit  $d_{50} = 0,6$  mm verwendet. Der Beharrungszustand stellte sich nach 45 bis 50 Minuten ein; die Versuchsdauer wurde auf 1 Stunde festgelegt.

Die Untersuchungen erstreckten sich zunächst auf die entstehenden Kolke bei einem Abfluß von  $Q = 3200 - 1000 = 2200$  m<sup>3</sup>/s im Flußbett für alle Bauzustände. Dabei zeigte sich, daß bei den Bauzuständen 1 und 5 keine gefährlichen Kolke entstehen (Bildtafel 18). Bei den Bauzuständen 2, 3 und 4 sind bei Abflüssen von  $Q > 2200$  m<sup>3</sup>/s im Flußbett durch Ablösungen Kolke zu erwarten, die die Baugrubenumschließungen und die bereits fertiggestellten Bauteile gefährden können (Bildtafeln 18 und 19).

Bildtafel 18

Bildtafeln 18  
und 19

Zur Verminderung der Kolke vor den Baugruben der Pfeilercaissons in den Bauzuständen 2 und 3 wurde ein Stromabweiser angeordnet, der 15 m vor der Baugrube errichtet wird und in die Anströmungsrichtung gedreht ist. Anordnung und Abmessungen zeigt Anlage 43. Die dadurch erreichte Verminderung der Kolke ist aus den Bildtafeln 20 und 21 zu ersehen.

Anlage 43

Bildtafeln 20  
und 21

Eine Abrundung der Ecken über der Kote NN + 185,00 m der Baugrubenumschließung der Wehrbaugruben hatte allein keinen wesentlichen Erfolg (Bildtafeln 18 und 19). Durch eine Leitwand vor der Baugrubenumschließung zur Führung der Strömung entlang der fertiggestellten Pfeiler und damit zur Vermeidung von Ablösungen an der Baugrubenecke konnten die entstehenden Kolke zwar nicht wesentlich vermindert, so doch an Stellen gebracht

Bildtafeln 18  
und 19

Bildtafeln 20,  
21 u. 22

Anlage 43

werden, wo sie die Baugrubenumschließung selbst nicht mehr gefährden. Die Bildtafeln 20, 21 und 22 zeigen bei den Bauzuständen 2, 3 und 4 die Wirkung der Leitwand bei verschiedenen Wasserführungen, Anlage 43 die Anordnung und Maße.

Die Anwendung der im Modell gefundenen konstruktiven Maßnahmen (Stromabweiser und Leitwand) hängt vom wirtschaftlichen Vergleich mit anderen Methoden und Möglichkeiten zur Sicherung der Sohle an den gefährdeten Stellen ab.

### 9. Zusammenfassung

Das Kulturwehr Breisach wird die Aufgabe haben, durch die Errichtung einer Stauhaltung land- und forstwirtschaftliche Schäden zu verhüten, die nach Inbetriebnahme der Haltung Vogelgrün des Rheinseitenkanals auf der badischen Seite des Rheins befürchtet werden. Die Wehranlage wird bei Rhein-km 224,800 errichtet. Sie besteht aus 4 Wehröffnungen von je 45 m lichter Weite, einem Fischpaß und einer Schleuse. Der Anschluß der Schleusenplattform an den bestehenden Hochwasserdamm III wird durch einen Flügeldeich hergestellt, der vom Wehr bis Rhein-km 224.500 am badischen Ufer entlang errichtet wird und von dort in weitem Bogen durch das Vorland schwingt, um bei km 1,4 des Hochwasserdammes III an diesen anzuschließen. Der Hochwasserdamm auf der elsäßischen Seite folgt dem Rheinbett. Die Möhlin wird mittels eines Wehres durch den Flügeldeich geführt (Anlage 2, Bildtafel 1).

Anlage 2  
Bildtafel 1

Das Kulturwehr hat die Aufgabe, den nach hydrologischen Gesichtspunkten festzulegenden Stau zu errichten und zu halten. Auf der anderen Seite darf der bei Hochwasser gegenüber dem bisherigen Stand auftretende Rückstau nicht so hoch sein, daß die Hochwasserdämme in Gefahr kommen überspült zu werden. Die Stauhöhe wird in einen festen Teil (Wehrschwelle) und einen beweglichen Teil (Wehrverschluß) aufgeteilt. Der Wehrverschluß hält in Zeiten kleiner Abflusssmengen den Stau und wird bei Hochwasser gelegt. Aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten ist es erwünscht,

den festen Teil möglichst hoch zu machen, um den Stahlbauteil niedrig halten zu können.

Als Wehrverschluß für das Kulturwehr Breisach wurden Sektoren mit hydraulischer Steuerung gewählt. Die Form des Sektors und des damit verbundenen Wehrhöckers (fester Teil) ist auf Grund der in der Bundesanstalt für Wasserbau gemachten Erfahrungen und gewonnenen und veröffentlichten Erkenntnisse ausgeführt. Die Schlußfolgerungen daraus, durch bestimmte Wahl der Höckerhöhe gegenüber dem bisherigen Zustand nur geringe Rückstauhöhen zu erhalten, wurde wegen der oben erwähnten besonderen Aufgabe eines Kulturwehres, die mit der einer Flußstaustufe nicht vergleichbar ist, außer acht gelassen. Man war bestrebt, einen möglichst hohen Wehrhöcker auszuführen, was auch zu wesentlich höheren Rückstauhöhen führen mußte. Die allgemeinen Beziehungen des Höcker- und Sektorquerschnitts zeigt Anlage 8. Der Ausgangsentwurf sah einen Höcker von  $p = 4.00$  m und einen Sektor mit einer Verschlußhöhe von  $h = 4.00$  m vor.

Anlage 8

Die Flußstrecke oberhalb des Wehres ist auf ca 2 km gerade, so daß nach Errichten des Staus für Wassermengen, die im Flußbett abfließen, eine gerade Anströmung gewährleistet ist. Bei der großen Wassertiefe spielt die schwingende Fahrrinne keine Rolle mehr. Bei ausufernden Wassermengen konnte die Anströmung durch Maßnahmen, die außerhalb der Wehrkonstruktion lagen, verbessert werden (Bildtafeln 5 und 6): Verziehen der Böschung am elsäbischen Ufer am Fischpaß in die Flucht der Wehrwange, Entfernen der Buhne bei Rhein-km 224.667 am badischen Ufer und Baggerung am badischen Ufer bis ausschließlich der Buhne Rhein-km 224.538 (Sohlenhöhe NN + 185.00 m).

Bildtafeln 5  
und 6

Der im Modell gemessene Rückstau lag wesentlich über dem berechneten (Anlage 9). Da sich zeigte, daß bei Vorlandabfluß das Geschwindigkeitsmaximum sich nach dem elsäbischen Ufer zu verschob, leisteten die Wehrfelder links der Stromachse wesentlich mehr als die beiden dem badischen Ufer zu liegenden.

Anlage 9

Bildtafeln 8,  
9 u.10

Der Winkel gegenüber der Stromachse, mit dem die Wassermengen aus dem Vorland in das Flußbett einfließen, ist im Vergleich mit dem Naturzustand viel größer (Bildtafel 4 im Vergleich zu den Bildtafeln 8, 9 und 10). Grund dafür ist das Errichten des Flügeldeiches, außerdem sind die Vorlandöffnungen der Rheinbrücke auf der badischen Seite für den Abfluß in Wegfall gekommen (bisherige Engstelle).

Anlagen 11  
und 12

Die aus dem Vorland in das Flußbett einströmenden Wassermengen werden umgelenkt, wollen sich beschleunigen, was aber durch die unterhalb ebenfalls einströmenden Wassermengen verhindert wird. Dadurch wird nicht nur das Geschwindigkeitsmaximum nach dem elsäßischen Ufer zu verschoben, sondern es entsteht auch eine Gefälleerhöhung, da der Hauptstrom die Energie für die Umlenkung liefern muß. Diese Gefälleerhöhung hält nach oberstrom an, bis der Austausch Flußbett - Vorland und Vorland - Flußbett sich die Waage halten. Im Modell zeigte sich eindeutig bei allen untersuchten Varianten, daß bei gleicher Wassermenge die Wasserspiegelhöhen auf der fraglichen Strecke bei Abfluß allein durch das Flußbett niedriger lagen als bei Abfluß über Vorland und Flußbett (Anlagen 11 und 12). Die Form des Flügeldeiches hat keinen wesentlichen Einfluß. Eine Verschiebung oder Veränderung der Form hätte nur eine Verlagerung des Problems zur Folge. Die Strecke von Rhein-km 224,500 bis zum Wehr ist für einen Querausgleich, der eine bessere Leistungsfähigkeit der Wehrfelder am badischen Ufer bringen würde, zu kurz!

Anlage 11  
Anlage 12

Die Rückstauhöhen für das höchste Hochwasser  $HHQ = 6000 - 1000 = 5000 \text{ m}^3/\text{s}$  und  $(n - 1) = 3$  Oeffnungen am Kulturwehr (OK des Sektors der linken Mittelöffnung auf  $NN + 192.00 \text{ m} =$  Stauziel) mußten erniedrigt werden, da sonst die Gefahr der Ueber-spülung für die alten Hochwasserdämme auf der badischen Seite bestand. Verschiedene Baggerungen der Bühnenfelder im Flußbett am badischen Ufer brachten keinen Erfolg (Anlage 11). Eine Erniedrigung der Höckerhöhe brachte den gewünschten Erfolg (Anlage 12). Ihr ist aber wirtschaftlich eine Grenze gesetzt, da ab einer bestimmten Höhe die Gründungs- und Stahlbaukosten die Kosten für

ein Höherlegen der Dämme übersteigen. Aus diesem Grund wurde die Aufteilung der Stauhöhe wie folgt vorgenommen: Höckerhöhe  $p = 3.00$  m, Verschlußhöhe des Sektors  $h = 5.00$  m.

Anlage 17

Der Ausführungsentwurf sieht vor: Höckerhöhe  $p = 3.00$  m, OK des Höckers NN + 187.00 m, Verschlußhöhe des Sektors  $h = 5.00$  m, Stauziel NN + 192.00 m (Anlage 17). Fällt bei Katastrophenhochwasser  $HHQ = 6000 - 1000 = 5000$  m<sup>3</sup>/s eine Wehröffnung aus (nur  $(n - 1) = 3$  Wehröffnungen gelegt), wird das Möhlinwehr im Flügeldeich zur Entlastung herangezogen. Das Möhlinwehr erhält eine Breite von 18 m (Anlage 18). Der Wehrverschluß des Möhlinwehres (Fischbauchklappe) ist normalerweise gelegt, nur bei ausuferndem Hochwasser wird er gestellt, um das unterwasserseitig des Flügeldeichs liegende Gebiet zu schützen. Die Konstruktionsoberkante NN + 193.90 m des Verschlusses wurde so gewählt, daß auch bei geringeren Abflußmengen ein Ueberstauen des Vorlandes bis zum zulässigen höchsten Hochwasserstand aus wasserwirtschaftlichen Gründen möglich ist.

Anlage 18

Maßgebend für die Höhenlage der Dammkronen ist der Zustand  $(n - 1) = 3$  Oeffnungen am Kulturwehr (linke Mittelöffnung blockiert, OK des Sektors auf NN + 192.00 m), Schleuse am Kulturwehr nicht zur Entlastung herangezogen, Möhlinwehr gelegt.

Bei sehr hohen Abflußmengen ( $Q > 4800 - 1000 = 3800$  m<sup>3</sup>/s) wird das unterwasserseitig des Flügeldeichs liegende Gebiet vom Unterwasser des Kulturwehres unterhalb der Rheinbrücke her überstaut. Da dieses Gebiet, auch wenn das Möhlinwehr zur Entlastung geöffnet ist, nicht am Abfluß teilnimmt, genügt schon ein verhältnismässig niedriger Damm entlang des linken Möhlinufers vom Möhlinwehr im Flügeldeich bis zur Breisacher Rheinbrücke, um dieses Gebiet völlig hochwasserfrei zu legen.

Es wurden ausführliche Messungen der Rückstauhöhen und Wehreichungen für die Zustände  $n = 4$  und  $n - 1 = 3$  durchflossene Oeffnungen am Hauptwehr durchgeführt.

Für die Energievernichtung konnte nachgewiesen werden, daß eine Vergrößerung der Sturzbettlänge keinen Einfluß auf die Tiefe der Kolke hinter dem Sturzbett hat. Daher konnte die Sturz-

bettlänge des Entwurfs von  $l = 6,60$  m zur Ausführung vorgeschlagen werden. Beim Wehrbetrieb mit  $n = 4$  Oeffnungen tritt keine Gefährdung des Bauwerks auf, wohl aber beim Zustand: nur  $n - 1 = 3$  Wehröffnungen am Hauptwehr funktionsfähig.

Für diesen Fall wurden experimentell und theoretisch die Größe und die Abmessungen einer Kolksicherung gefunden; Nach dem Sturzbett eine Neigung von 1:4 auf 20 m Länge bis zu NN + 178.00 m, hierauf 1:10 steigend auf mindestens 40 m Länge. Als Abdeckmaterial sollen Steine mit 48 bis 64 cm Durchmesser verwendet werden (Anlage 35).

Anlage 35

Für die Bauzustände wurden Wasserspiegelmessungen und Messungen der Oberflächengeschwindigkeit durchgeführt. Zur Verminderung der Kolke vor den Baugruben für die Pfeilercaissons wurde ein Stromabweiser angeordnet (Anlage 43). Zur Sicherung der Baugrubenumschließung für die Wehrfelder wurden Leitwände angeordnet (Anlage 43), die die entstehenden Kolke zwar nicht wesentlich vermindern, so doch an Stellen bringen, wo sie die Baugrubenumschließung nicht mehr so stark gefährden. Die Anwendung dieser konstruktiven Maßnahmen (Stromabweiser und Leitwand) hängt vom wirtschaftlichen Vergleich mit anderen Methoden und Möglichkeiten zur Sicherung der Sohle an den gefährdeten Stellen ab.

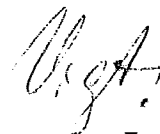
Anlage 43

Der Leiter der Abt. Wasserbau



Oberregierungsbaurat

Der Bearbeiter



Dipl.-Ing.