

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Article, Published Version

Dietz, Johann W.; Pulina, Bernd

Wahl der Wehrverschlüsse beim Ausbau der Saar zur Schiffahrtsstraße

Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/103010>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Dietz, Johann W.; Pulina, Bernd (1974): Wahl der Wehrverschlüsse beim Ausbau der Saar zur Schiffahrtsstraße. In: Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau 36. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 39-56.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Dr.-Ing. J.W. D i e t z

und

Mag.-Ing. B. P u l i n a

WAHL DER WEHRVERSCHLÜSSE BEIM AUSBAU DER SAAR

ZUR SCHIFFFAHRTSSTRASSE

Choice of weir gates for the river Saar

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit zeigt den Gang der von hydraulischen, technisch-konstruktiven und wirtschaftlichen Überlegungen geleiteten Untersuchung zur Wahl der Wehrverschlüsse beim geplanten Ausbau der Saar und begründet die Wahl des Zugsegmentes mit Aufsatzklappen.

Summary

The authors report about investigations for the choice of appropriate weir gates for the canalization of the river Saar, inform of the hydraulic, technical and economical considerations which have led to the proposal of tension taintor gates with flaps above.

I n h a l t

	Seite
1. Übersicht	42
2. Bisherige Erfahrungen und Erkenntnisse	43
3. Ergebnisse neuerer Untersuchungen bei der B A W	47
4. Zusammenfassung und Entscheidung	53
5. Schrifttum	54

1. Übersicht

Nach dem am 20. März 1974 zwischen der Bundesregierung, dem Saarland und dem Land Rheinland-Pfalz getroffenen Verwaltungsabkommen soll die Saar zwischen Saarbrücken und der Mosel als Großschiffahrtsstraße der Klasse IV ausgebaut werden, die den Verkehr des Europaschiffes sowie auch von Schubverbänden mit zwei hintereinander gekoppelten Leichtern zuläßt. Die Ausbauplanung sieht vor, den Höhenunterschied von 54,25 m zwischen dem Hafengebiet der Stadt Saarbrücken und der Mündung der Saar in die Mosel durch sechs Staustufen zu überwinden [11] [13] (Abb.1).

Nr	Staustufe	hydrostatische Stauhöhe m	Länge des Schifffahrtsweges km
1	Kanzem/Schoden	11,75 *	13,4
2	Serrig	14,50	13,7
3	Mettlach	11,00	22,3
4	Rehlingen	8,00	10,8
5	Lisdorf	3,60	14,7
6	Luisenthal	5,40	10,7

* an der Schleuse Kanzem

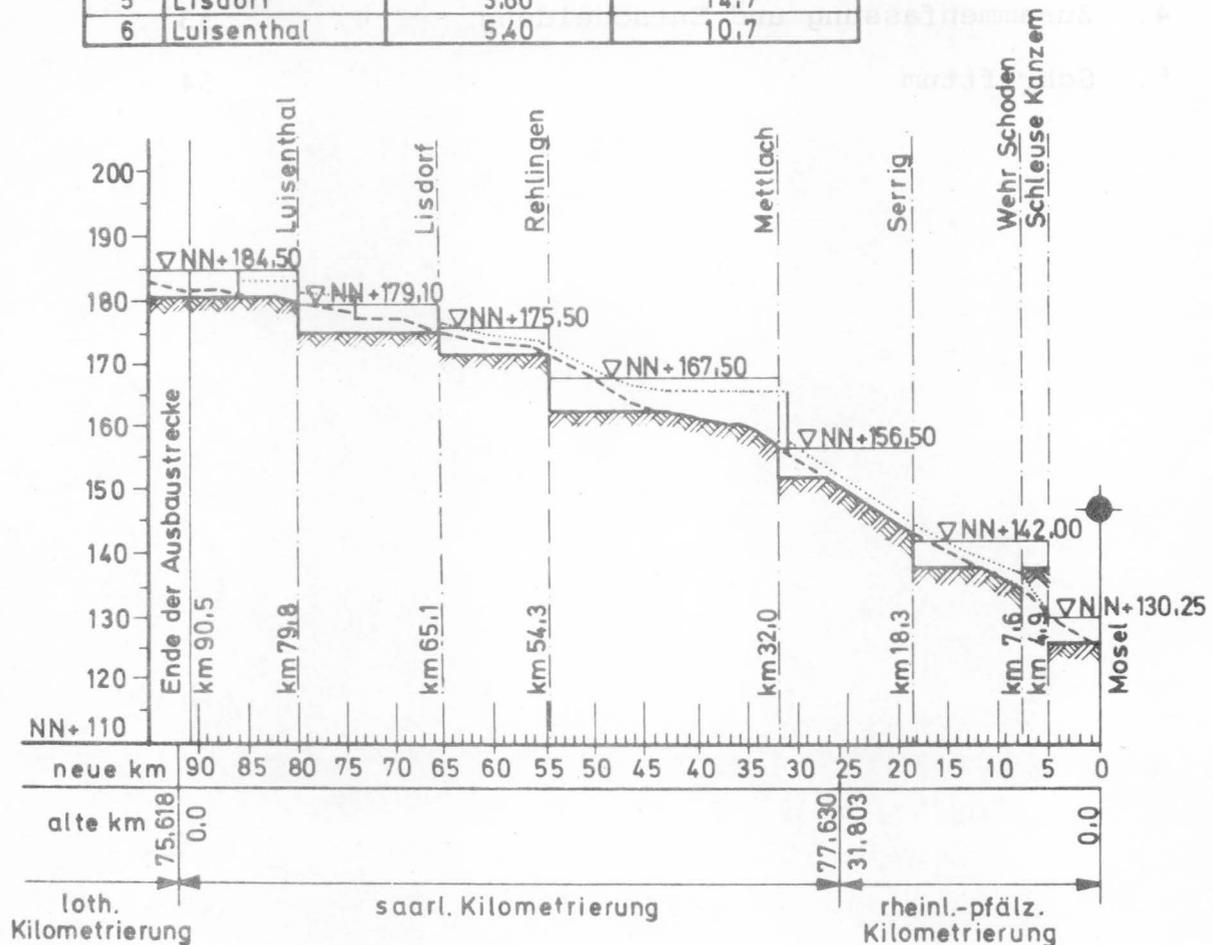


Abb. 1 Längsschnitt der Saar [13]

Unter Beibehaltung des mit Drucksegmenten ausgerüsteten Wehres Lisdorf ergeben sich damit fünf neue Wehranlagen, und zwar bei Schoden, Serrig, Mettlach, Rehlingen und Luisenthal, die einheitlich mit drei Wehrfeldern von je 16,50 m (voraussichtlich) ausgebildet werden. Auch die Verschlusskonstruktionen sollen einheitlich gewählt und den von Fall zu Fall wechselnden Stauhöhen und Abflüssen durch zwei verschiedene Verschlusshöhen

und unterschiedliche Wehrhöcker angepaßt werden. Die für diese Typisierung der Wehrverschlüsse erforderlichen Modellversuche (Modellmaßstab 1:30) sind bei der BAW bereits angelaufen. Da auch alle Verschleißteile an den Wehren einheitlich, auswechselbar und wartungsarm ausgebildet werden, ist eine große Betriebssicherheit bei minimalem Personalaufwand zu erwarten.

Im Frühzustand der Ausbauplanung standen als Verschlußorgane Segmente und Fischbauchklappen zur Diskussion. Die vorliegende Arbeit zeigt den Gang der von hydraulischen, technisch konstruktiven und wirtschaftlichen Überlegungen geleiteten Untersuchung zur Wahl der Wehrverschlüsse [3] bis hin zu dem Ergebnis, die neuen Wehre an der Saar mit Zugsegmenten auszurüsten.

2. Bisherige Erfahrungen und Erkenntnisse

Im Jahre 1971 wurde in Zusammenarbeit zwischen dem Wasser- und Schifffahrtsamt Saarbrücken und der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) eine Auswertung der Bau- und Betriebserfahrungen von Fischbauchklappen und Zugsegmenten am Main, Regnitz, Donau und Lech vorgenommen [12]. Diese Untersuchung führte zu folgendem Ergebnis:

1. Bei den Ausschreibungen der Rhein-Main-Donau AG hat sich das Zugsegment mit aufgesetzter Fischbauchklappe als wirtschaftlichster Wehrverschluß erwiesen. Nur für kleine Stauhöhen (unter 3,00 bis 4,00 m) und Feldweiten, größer als 30 m, sind Fischbauchklappen günstiger.
2. Fischbauchklappen können sowohl mit einem mechanischen Windwerk, als auch mit einem ölhydraulischen Antrieb ausgerüstet werden. Bei Zugsegmenten, die mehrere Monate nicht bewegt werden, können dagegen ölhydraulische Antriebe zu einer Einschränkung der Betriebssicherheit führen. Unterschiedliche Antriebe bei Zugsegmenten mit Aufsatzklappen sind immer unwirtschaftlich.
3. Die betrachteten Wehranlagen (Fischbauchklappen mit hydraulischem Antrieb und Zugsegmente mit Kettenwindwerken) sind bisher im Betrieb durchweg unproblematisch gewesen. Die Wartung wird erleichtert, wenn der Verschlußkörper bei mittlerer Wasserführung frei zugänglich ist. Die 2 m unter dem Wasserspiegel liegenden Drehlager der Zugsegmente sind vor dem Eisgang geschützt und praktisch wartungsfrei. Trotzdem sollte auf eine Zugangsmöglichkeit zu den Lagern im Wehrpfeiler nicht verzichtet werden.
4. Wie die Beispiele der Wehranlagen in Kleinostheim und Bamberg zeigen, kann auch bei Zugsegmenten zur Verminderung der Verschlußkörperhöhe ein Wehrhöcker vorgesehen werden, der in den genannten Fällen 0,80 m und 0,50 m hoch ist und damit 16,6 % und 14,5 % der Segmenthöhe ausmacht.

Aufgrund dieser Bau- und Betriebserfahrungen kam das WSA Saarbrücken in einer Studie zur Wahl der Wehrverschlüsse [12] zu dem Vorschlag, die geplanten Wehre an der Saar mit Zugsegmenten auszustatten, zumal auch in der neueren Fachliteratur über bewegliche Wehrverschlüsse [7] [8] die konstruktiven, hydraulischen und wirtschaftlichen Vorzüge von Zugsegmenten herausgehoben werden.

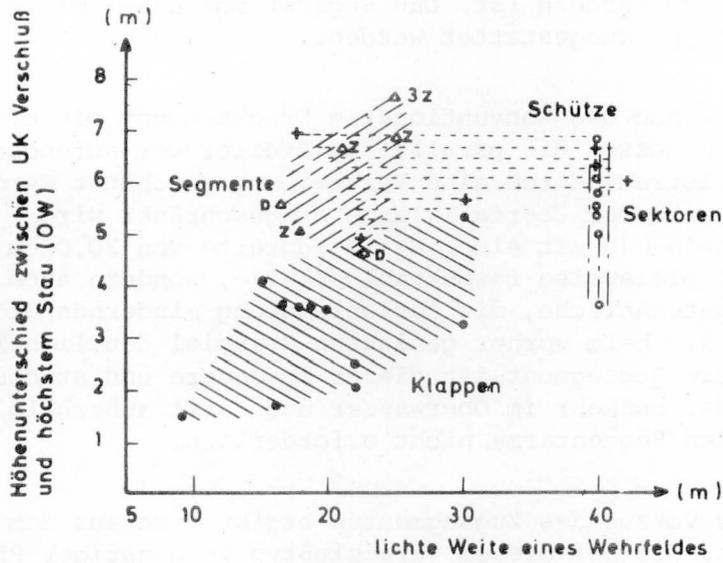
Unabhängig von diesen ersten Überlegungen führte das Neubauamt Untere Fulda in Kassel für die geplante Umkanalisierung der unteren Fulda Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen zur Wahl der Wehrverschlüsse durch, die in den Teilentwürfen für die Wehranlagen Hann.-Münden [9] und Wahnhausen [10] näher beschrieben werden.

Diese Untersuchungen bestanden zunächst in einer Umfrage über ausgeführte Wehrverschlüsse und deren Kosten bei verschiedenen Wasser- und Schifffahrtsämtern, Wasserwirtschaftsämtern und der Rhein-Main-Donau AG. Aufgrund dieser Umfrage konnten von 36 in den Jahren 1953 bis 1971 angebotenen oder erstellten Wehranlagen die Daten über Verschußart, Verschußhöhe, lichte Weite, Anzahl der Wehrfelder und Kosten erhalten werden. Über die Ermittlung von Hochrechnungsfaktoren (Bauindizes) für Stahlwasserbaukosten, bezogen auf das Jahr 1967 (Bauindex = 100,00) war die auf Abb. 2 unten gezeigte Darstellung der Verschußkosten je lfdm Breite in Abhängigkeit von der jeweiligen Verschußhöhe für die betrachteten Schützen, Segmente, Sektoren und Fischbauchklappen möglich. Auf der gleichen Abbildung oben werden die lichten Wehrfeldweiten der in diese Betrachtung eingehenden Anlagen deutlich.

Ohne zunächst auf die Unterschiede zwischen Zug- und Drucksegmenten einzugehen, die in den Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen des Neubauamtes Untere Fulda auch nicht zum Ausdruck kommen, sieht man das Ergebnis der Studie des WSA Saarbrücken bestätigt, daß bei Verschußhöhen über 4,00 m die Zugsegmente Kostenvorteile gegenüber den Fischbauchklappen aufweisen, die deutlicher werden, wenn noch größere Verschußhöhen zur Diskussion stehen. Auch gegenüber den Sektoren und den Schützen sind die Segmente unter der gleichen Bedingung günstig abgegrenzt.

Geht man nun auch auf die relevanten Fragen des Betriebs, der Unterhaltung sowie auf bauliche und strömungstechnische Aspekte über, so finden wir im Fachschrifttum (z.B. [6],[7],[8]) immer wieder die folgenden Vorteile des Segmentes herausgestellt.

- a) Das Segmentwehr vermeidet die bau- und strömungstechnisch nachteiligen Nischen im Pfeiler, der dadurch statisch nicht mehr in zwei Abschnitte geteilt wird und die Strömung ohne Störung längs der ebenen Wand führen kann.
- b) Durch die Ausnutzung der möglichen Zweigelenkrahmenwirkung und die Art der Lagerung kann statisch das Äußerste herausgeholt werden, wodurch man beim Segmentverschluß einen Minimalaufwand erhält, der sich in den schon herausgestellten Kostenvorteilen ausdrückt.
- c) Segmente ermöglichen relativ schlanke Pfeiler, die überdies frei von Nischen sind und damit strömungstechnisch günstig den Verbauungsfaktor verringern.
- d) Segmente haben keine empfindlichen Dichtungen, deren Funktionsuntüchtigkeit den Betrieb der Verschlüsse auf Kosten der Sicherheit beeinträchtigen kann.
- e) Segmentwehrverschlüsse können über Wasser bei durchströmter Wehröffnung montiert werden, so daß das Hochwasserrisiko während der Bauzeit kleiner ist und Kosten an Wasserhaltung eingespart werden können.



Symbole der Verschlussarten :

- Fischbauchklappe
- + Schütz mit aufgesetzter Klappe
- Sektor
- z △ Zugsegment mit aufgesetzter Klappe
- △ Drucksegment mit aufgesetzter Klappe

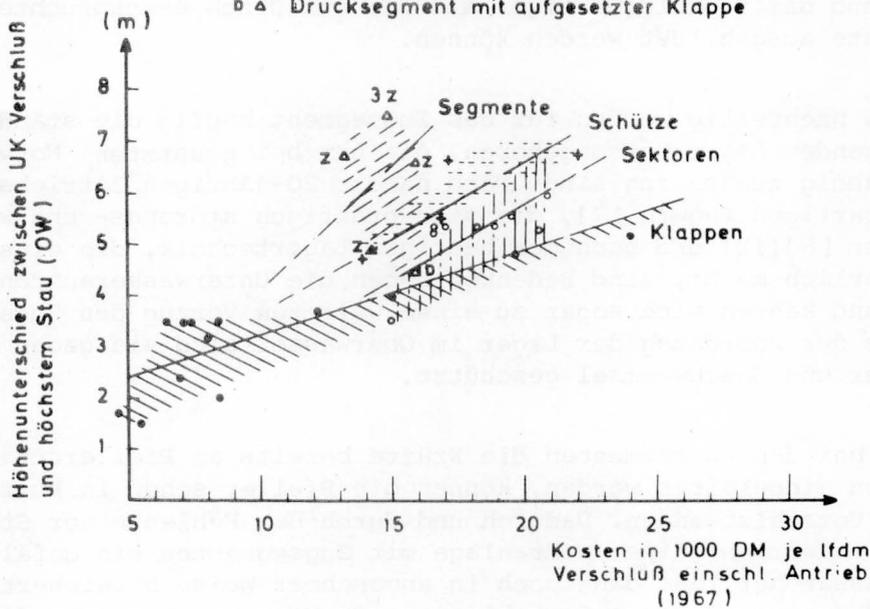


Abb. 2 Verschlussbreite und Kosten ausgeführter Wehrverschlüsse in Abhängigkeit von der Verschlusshöhe [10]

Während sich die vorher genannten Gesichtspunkte auf die Segmente generell beziehen, soll nun auf die Unterschiede zwischen Drucksegment und Zugsegment eingegangen werden.

Einer der Unterschiede zwischen den beiden Segmentarten hängt unmittelbar mit dem Nachteil des Segmentes schlechthin zusammen, das als unterströmter Verschluss bei den üblichen und auch an der Saar infrage kommenden Verschlusshöhen keine oder eine nur unbefriedigende Feinregulierung des Wasserstandes zuläßt, die bei den wasserwirtschaftlichen Verhältnissen an

der Saar aber streng zu fordern ist. Das Segment muß daher mit einer überströmbaren Aufsatzklappe ausgestattet werden.

Wenn man sich nun das konventionelle Drucksegment mit einer Aufsatzklappe betrachtet, so müssen die parallel am Pfeiler verlaufenden Segmentarme vor dem Überfallstrahl durch eine Verkleidung geschützt werden, wodurch nicht nur die Lichtweite der Überfallklappe eingeschränkt wird - beim geplanten Rheinwehr Iffezheim [4] mit einer Wehrfeldbreite von 20,00 m beträgt diese Einschränkung beispielsweise respektable 15 % -, sondern auch am Verkleidungsschild strömungstechnische, die Abflußleistung mindernde Störungen verursacht werden, wie sie beim vorher genannten Beispiel deutlich im Modell zu beobachten waren. Beim Zugsegment ist dieser besondere und strömungstechnisch nachteilige Schutz der nunmehr im Oberwasser und damit außerhalb des Überfallstrahles liegenden Segmentarme nicht erforderlich.

Ein weiterer Vorzug des Zugsegmentes ergibt sich aus dem Kräfteverlauf in den Pfeilern, die bei diesem Verschlusstyp in günstiger Richtung von oben nach unten und auf Druck beansprucht werden, während beim Drucksegment die schräg nach oben verlaufenden Lagerkräfte die Pfeiler ungünstig auf Zug belasten und dann besondere Verankerungen oder Vorspannungen erforderlich machen, zumal die Krafteinleitung noch weit unterstrom und im Pfeiler ziemlich hoch erfolgt. Darüberhinaus haben die nur Zugkräfte aufzunehmenden Arme der deswegen so bezeichneten Zugsegmente den Vorteil, daß sie wesentlich schwächer und damit preisgünstiger als die auf Druck beanspruchten Arme der Drucksegmente ausgebildet werden können.

Als nachteilig werden für das Zugsegment häufig die ständig unter Wasser liegenden Lager hervorgehoben, die nur bei gesetzten Notverschlüssen vollständig zugänglich sind. Nach nahezu 20-jährigen Betriebserfahrungen mit derartigen Lagern [7], die sich praktisch störungs- und wartungsfrei zeigten [8][12] und nach der heutigen Lagertechnik, die eine Fettschmierung entbehrlich macht, sind Bedenken gegen die Unterwasseranordnung gegenstandslos und kehren sich sogar zu einem weiteren Vorzug des Zugsegmentes um: Infolge der Anordnung der Lager im Oberwasser sind sie gegen Vereisung, Spritzwasser und Geschwemmsel geschützt.

Da bei den Zugsegmenten die Kräfte bereits am Pfeileranfang in den Pfeilerbeton eingeleitet werden, können die Pfeiler schon in kurzem Abstand hinter dem Verschuß enden. Dadurch und durch das Fehlen einer Stützkonstruktion erhalten wir bei einer Wehranlage mit Zugsegmenten ein gefälliges Bild vom Unterwasser her, das dann noch in angenehmer Weise bereichert wird, wenn sich beim Überströmen der Aufsatzklappen ein Wasservorhang vor die Verschlüsse legt.

Nunmehr soll auf die hydraulischen Vorgänge beim Über- und Unterströmen des zweigeteilten Segmentverschlusses und die daraus resultierenden Folgerungen für die Neigung der Wehrschwelle und die Länge des Tosbeckens und der Wehrpfeiler eingegangen werden.

In der Arbeit von W. MÜLLER [8] über das Zugsegment als Verschuß im Stahlwasserbau finden wir hierzu den folgenden Hinweis (wörtlich):
 " Durch die nach Unterwasser geneigte Verschußlage trifft der Überfallstrahl der Aufsatzklappe ungehindert und hydraulisch günstig im tieferen Tosbeckenbereich auf. Bei Unterströmung des Verschlusses zwingt die nach

Unterwasser drehende Schützschnede des Zugsegmentes den Abflußstrahl zum Anliegen an die geneigte Wehrschwelle, da der Spaltquerschnitt stets unterhalb der Schwellenkronen liegt. Modellversuche in der Wasserbau-Versuchsanstalt der MAN haben gezeigt, daß dadurch eine steilere Wehrschwelle und das kürzestmögliche Tosbecken erzielt wird."

Aufgrund sorgfältiger weiterer Untersuchungen in der Versuchsanstalt in Oberrhein weist HARTUNG [7] nach, daß bei Zugsegmenten eine steilere Neigung der Wehrschwelle ins Tosbecken hinein möglich ist, als bei Drucksegmenten, und zwar können als Anhaltswerte gelten:

Segmentart	Neigung der Schwelle
Drucksegment	1 : 2
Zugsegment (15° Gegenneigung)	1 : 1

Infolge dieses Unterschiedes kann es bei Zugsegmenten zu einer deutlichen Verkürzung des Tosbeckens kommen, die unter Umständen auch zu einer Verkürzung der Wehrpfeiler führen kann, wenn man vom Normalfall ausgeht, daß das Pfeilerende mit der Tosbeckenendschwelle zusammenfällt.

Dieser günstige Einfluß des Zugsegmentes auf die Neigung der Wehrschwelle und die Länge des Tosbeckens hängt mit der Erscheinung zusammen, daß beim Zugsegment der Abflußstrahl nach unten in das Tosbecken gedrückt wird, dessen hydraulische Wirksamkeit dadurch wünschenswert gesteigert wird. Dieser Effekt wird von HARTUNG sowohl durch entsprechende Strömungsaufnahmen als auch durch Druckmessungen über der Wehrschwelle nachgewiesen. Gegenüber diesen von der Zahl und von der Aussage her gewichtigen Argumenten für das Zugsegment bietet das Drucksegment im direkten Vergleich nur den Vorteil, daß sich bei ihm der ölhydraulische Antrieb, der billiger als ein Kettenantrieb ist, eher befürworten läßt, da die Segmentantriebe nicht ständig unter Wasser liegen.

3. Ergebnisse neuerer Untersuchungen bei der BAW

Zur Zeit werden bei der BAW Modellversuche für das im Bau befindliche Rheinwehr Iffzheim [1] [4] (Drucksegment mit Aufsatzklappen) und für das neue Fuldawehr Wahnhausen [2] (Zugsegment mit Aufsatzklappen) durchgeführt.

Wehranlage	Wehrbreite in m	Verschlußart und Höhe in m	Antrieb	Höckerhöhe in m	Max. Wehrbelastung in m ³ /sm	
					n	n - 1
Iffzheim Rhein	6 x 20	Drucksegm. 10,60 mit Aufsatzkl. 2,50	ölhydr.	ohne	58,75	70,50
Wahnhausen Fulda	3 x 18	Zugsegment 4,25 mit Aufsatzkl. 1,75	Windwerk mit Ketten	1,50	22,20	33,30

Tabelle: Zusammenstellung der wichtigsten Kennwerte für die Wehre Iffzheim und Wahnhausen

Wenn auch die unterschiedlichen Abfluß- und Wasserstandsverhältnisse und die daraus resultierenden Unterschiede in der spezifischen Wehrbelastung und der Verschlusshöhe (Tabelle) keinen direkten Vergleich der in den beiden Modellen erzielten Ergebnisse zulassen, so kann doch die getrennte, aber nach einheitlichen Gesichtspunkten vorgenommene systematische Auswertung der Versuchsdaten zusätzliche Informationen für die vergleichende Wertung der beiden Segmentarten bringen.

Beginnt man die Betrachtung zunächst mit der Gestaltung der Wehrschwelle, so findet man bei den Rheinwehren Gamsheim und Iffezheim aufgrund von speziellen Modelluntersuchungen für die erstgenannte Wehranlage in Chatou/Frankreich [5] eine mittlere Wehrschwellenneigung von ca. 1:2,6, wenn man den Aufsatzpunkt der Segmentschneide auf der Wehrschwelle mit dem tiefsten Punkt im Tosbecken auf dem kürzesten Weg miteinander verbindet (Abb. 3).

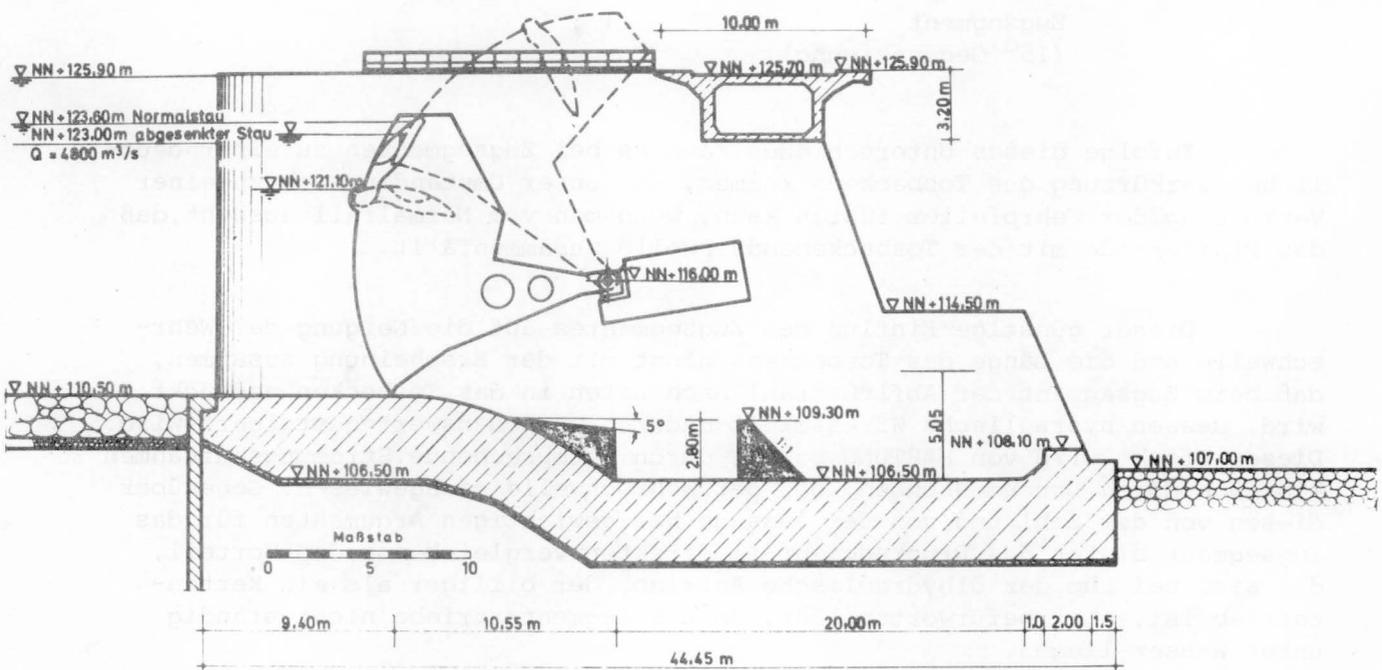


Abb. 3 Schnitt durch die Wehranlage Iffezheim mit dem Ausführungsvorschlag für das Tosbecken

Tatsächlich folgt die Wehrschwelle einer sog. Craeger-Kurve, die in ihrem oberen Verlauf noch etwas flacher, gegen das Tosbecken zu dagegen etwas steiler, abfällt. Auch für das neue Fuldawehr Wahnhausen sind die Neigung der Wehrschwelle und die Höckerform am Kriterium der Druckverteilung in Quer- und Längsrichtung und der ablösungsfreien Strahlführung bestimmt worden. Die Versuche ergaben, daß zwischen den Schwellenneigungen von 1:0,7 bis 1:1,25 in der Größe und Verteilung der gemessenen Drücke keine nennenswerten Unterschiede bestehen; lediglich bei dem relativ steil geneigten Abfallboden (1:0,5) beginnen die Ergebnisse deutlich ungünstiger zu werden. Hinsichtlich der Form der Höckerkrone bei einer 1:0,7 geneigten Abfallwand brachten die durchgeführten Messungen das Ergebnis, daß bei der Form D die günstigste Verteilung der Drücke über die Feldbreite und damit die größtmögliche Leistungsfähigkeit des Wehres zu erreichen ist, während Form B zu starken Unterdrücken führt (Abb. 4).

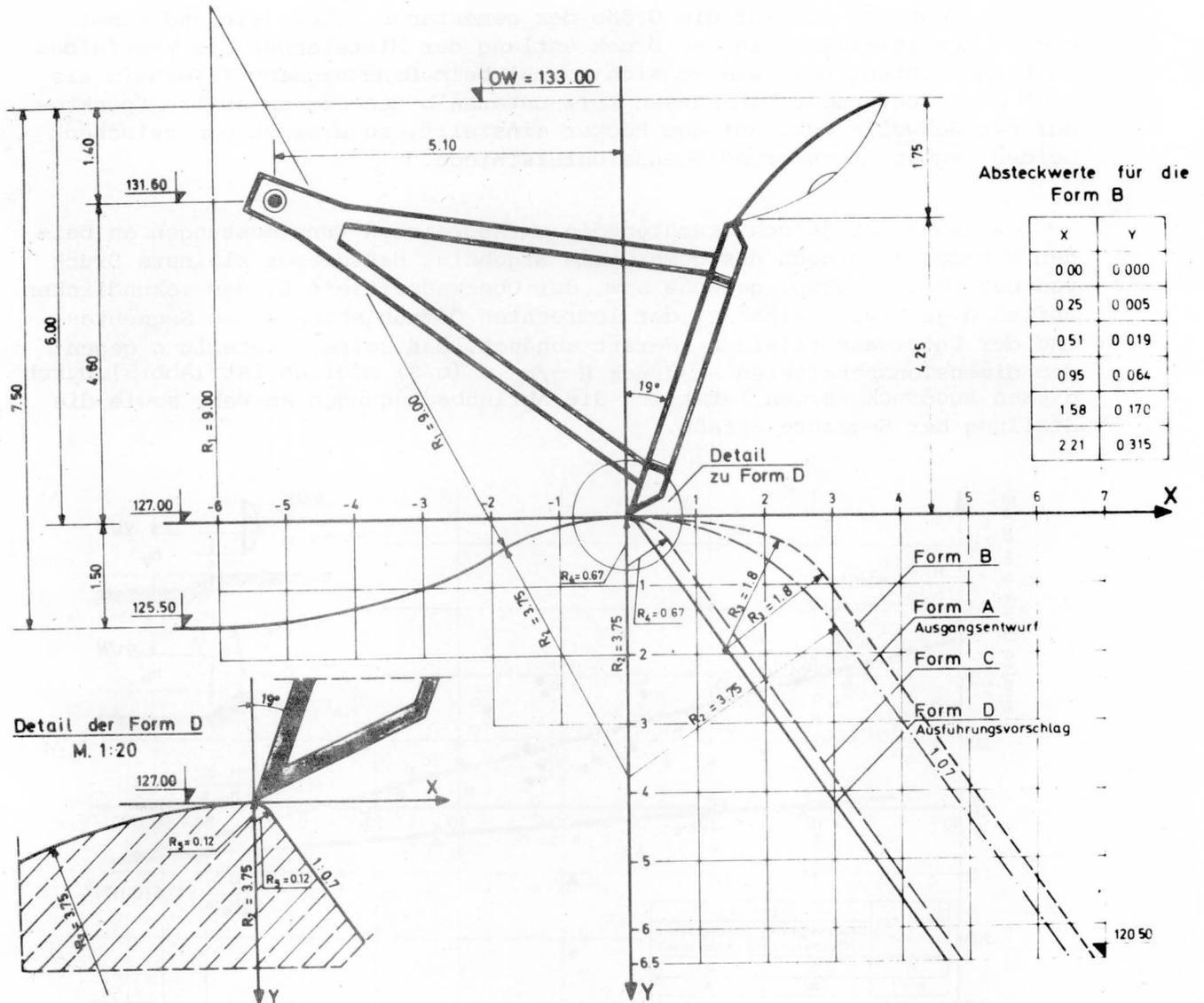


Abb. 4 Schnitt durch die Wehranlage Wahnhausen mit den untersuchten Formen der Höckerkrone

Nach diesen Versuchsergebnissen können die Unterschiede in der Wehrschwelle neigung bei Zug- und Drucksegmenten tatsächlich noch etwas größer sein als sie von HARTUNG genannt werden, so daß der früher genannte Vorteil des Zugsegmentes hinsichtlich der Tosbecken- und möglicherweise Pfeilerlänge noch deutlicher hervortritt.

Um noch einen Augenblick bei diesem Vorteil zu bleiben und einige Zahlen zur Verdeutlichung zu nennen, so könnte bei Iffezheim das Tosbecken rein geometrisch um rund 7,70 m verkürzt werden, wenn bei Anordnung eines Zugsegmentes eine Schwellenneigung von 1:0,7 möglich wäre. Umgekehrt müßte bei der Wehranlage Wahnhausen das Tosbecken um ca. 12,30 m verlängert werden, wenn bei der fiktiven Wahl eines Drucksegmentes eine Schwellenneigung von 1:2,6 erforderlich wäre. Wohl bemerkt handelt es sich bei diesem Zahlenbeispiel um eine rein geometrische Gegenüberstellung, die nicht die unterschiedlichen spezifischen Wehrbelastungen der beiden betrachteten Anlagen beinhaltet.

Geht man nun auf die Größe der gemessenen Drücke ein und nimmt hierzu den jeweils kleinsten Druck entlang der Mittelachse des Wehrfeldes in Längsrichtung vor, wie er sich sowohl beim Drucksegment Iffezheim als auch beim Zugsegment Wahnhausen kurz unterhalb des Segmentauftreffpunktes auf der Schwelle bzw. auf dem Höcker einstellt, so erkennt man zwischen beiden Segmentarten grundlegende Unterschiede.

Zunächst jedoch brachten die umfangreichen Druckmessungen an beiden Wehrmodellen noch das gemeinsame Ergebnis, daß dieser kleinste Druck von der Oberwasserspiegelhöhe bzw. der Oberwassertiefe H , dem sekundlichen Abfluß q je Breiteneinheit, der lotrechten Öffnungshöhe s des Segmentes und der Unterwassertiefe h_u derart abhängt, daß seine Darstellung gegen den dimensionsbehafteten Ausdruck $H \cdot q / h_u \cdot s$ (m/s) möglich ist (Abb.5). Durch diesen Ausdruck werden letztlich die Abflußbedingungen am Wehr sowie die Stellung der Segmente erfaßt.

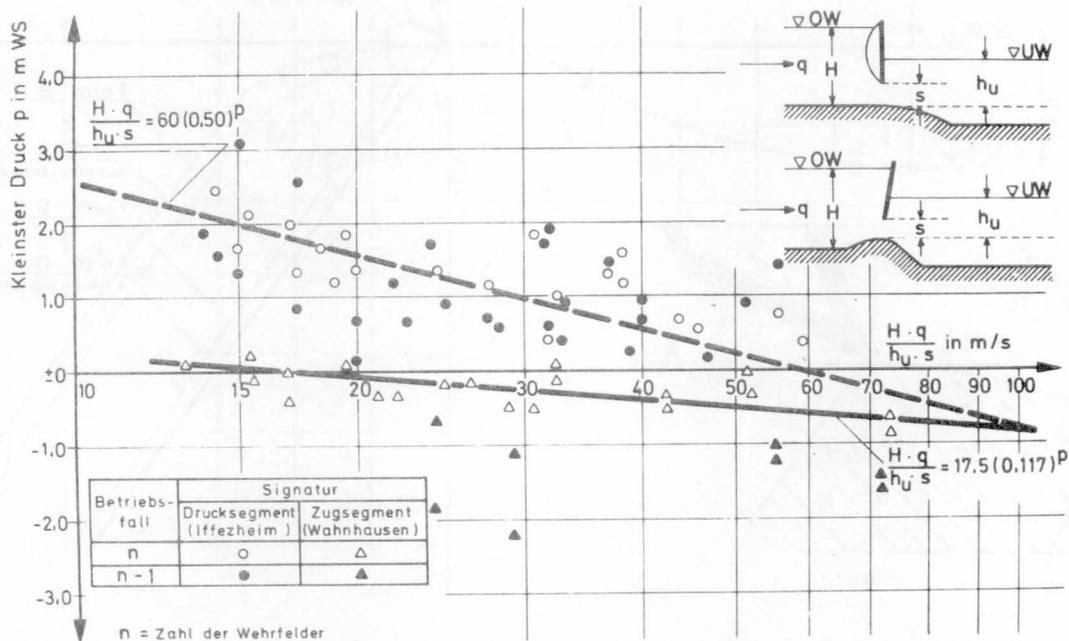


Abb. 5 Jeweils kleinster Druck in Wehrfeldmitte in Abhängigkeit von den Abfluß- und Betriebsbedingungen für die Wehre Iffezheim und Wahnhausen

Die derart aufbereiteten Versuchsergebnisse zeigen nun, daß der kleinste Druck über der Wehrschwelle Iffezheim sehr stark von diesen Abflußbedingungen abhängt, was sich in der verhältnismäßig steilen Neigung der eingezeichneten Schwerpunktlinie ausdrückt, die etwa bei $H \cdot q / h_u \cdot s = 60$ m/s in den Bereich der negativen Drücke übergeht und hier schnell zu einem starken Unterdruck vordringen kann, wenn bei geringer Unterwassertiefe der Abfluß unter einem nur schwach angehobenen Segment erfolgt.

Im Falle des Fuldaweihres Wahnhausen liegt diese durch den Schwerpunkt der aufgetragenen Meßdaten gezogene Linie wesentlich flacher, d.h. die Abflußbedingungen gehen weniger intensiv in die Größe des kleinsten Druckes über dem Wehrhöcker ein. Jedoch überschreitet diese Linie schon bei $H \cdot q / h_u \cdot s = 17$ m/s die Grenze, die den positiven Druck vom negativen trennt, so daß über eine weite Strecke der durch die Abflußverhältnisse gegebenen

Skala ein leichter Unterdruck vorliegt. Dieser Unterdruck ist aber in seinem Betrag noch so gering, daß sich sicherlich daraus nicht die Gefahr eines Werkstoffschadens ableiten läßt. Es ist auch zweifelhaft, ob die Forderung nach einem Restdruck Null bzw. nach einem positiven Druck an allen Stellen des Wehrhöckers durch eine wirtschaftlich noch vertretbare Lösung erfüllt werden kann.

Beim Ausfall einer Wehröffnung sinkt der Druck über dem Wehrhöcker Wahnhausen viel stärker als über der Wehrschwelle Iffezheim ab, was aber weniger mit dem Segmenttyp zusammenhängt, sondern mehr mit der Tatsache, daß die spezifische Wehrbelastung im zuerst genannten Beispiel beim Übergang von n auf $n - 1$ Öffnungen infolge der unterschiedlichen Zahl der Wehrfelder (siehe frühere Tabelle) weit stärker anwächst (Zunahme um 50 %) als beim Wehr Iffezheim, wo die Zunahme nur 20 % beträgt.

Die Größe des Wehrabflusses unter den Segmenten erhält man in einer für den Vergleich günstigen dimensionslosen Form, wenn man nach der Formel für den Ausfluß aus einer Schützöffnung

$$Q = \kappa \cdot \alpha \cdot s \cdot b \cdot \sqrt{2g \cdot H}$$

die Ausflußzahl α ermittelt und sie gegen das Verhältnis der Oberwassertiefe H zur Öffnungshöhe s des Segmentes darstellt (Abb.6). Dabei macht man folgende Beobachtung:

Für die im Modell untersuchten Abfluß- und Betriebsbedingungen bzw. mit den für sie stehenden H/s - und h_u/s -Werten kann nach dem bekannten Diagramm zur Ermittlung der κ -Werte (z.B. in R. RÖSSERT: Hydraulik im Wasserbau) geschlossen werden, daß keine Beeinflussung durch das Unterwasser besteht ($\kappa = 1,0$).

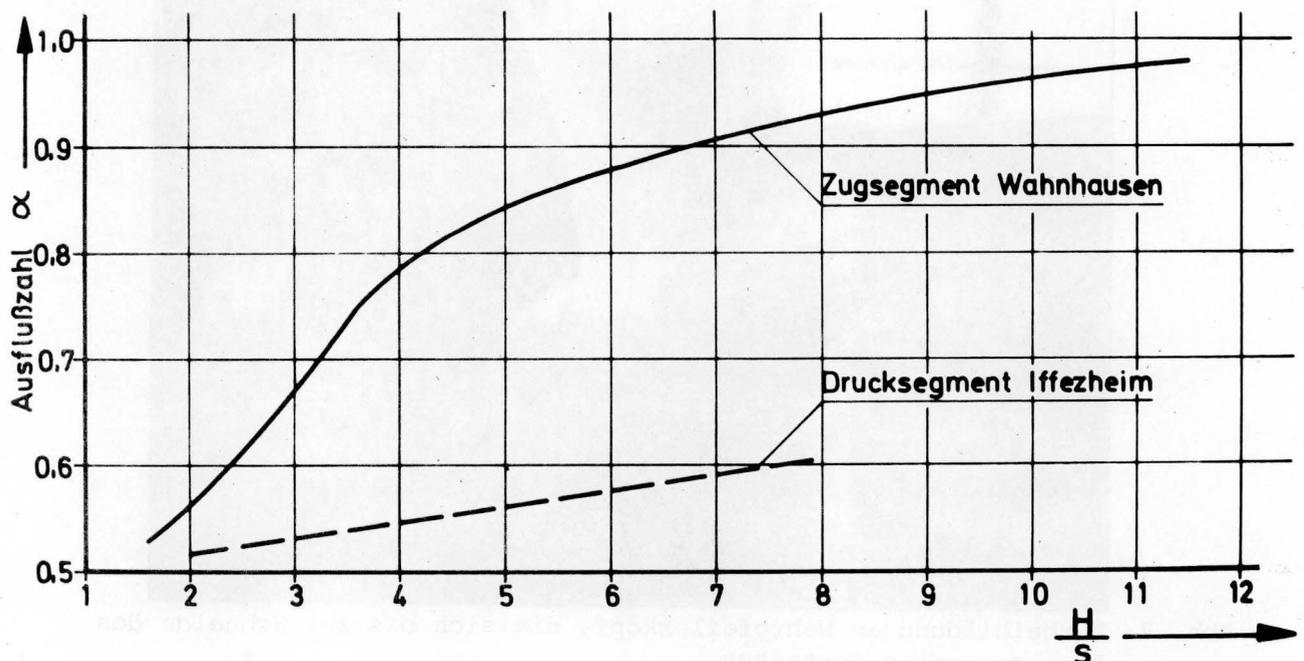


Abb. 6 Ausflußzahl α nach den Versuchsergebnissen für die Wehre Iffezheim und Wahnhausen

Tatsächlich war in beiden Wehrmodellen eine gewisse Beeinflussung des Abflußvorganges unter den Segmenten durch das Unterwasser zu beobachten.

Mit $\kappa = 1,0$ gibt die Ausflußzahl unmittelbar Auskunft über die Leistungsfähigkeit der beiden betrachteten Wehre, die beim Zugsegment Wahnhausen wesentlich größer ist als beim Drucksegment Iffezheim, wobei der Unterschied für große Werte H/s , also für kleine Spalthöhen s , am deutlichsten ist. Dies deutet direkt auf die von MÜLLER [8] und HARTUNG [7] schon genannte günstige Wirkung der Schneide beim Zugsegment hin, die infolge ihrer Gegenneigung den Abflußstrahl nach unten gegen den Höcker bzw. die Schwelle drückt, und zwar umso mehr, je kleiner der Segmenthub ist; beim weit herausgehobenen Zugsegment tritt dieser wertvolle Umlenkeinfluß der Segmentschneide zurück.

Obwohl die Untersuchungen zur Gestaltung des Tosbeckens an der Wehranlage Wahnhausen noch ausstehen, kann von diesem Effekt ein günstiger Einfluß auf die Energieumwandlung erwartet werden.

Mit einer letzten Beobachtung von den Modelluntersuchungen soll der Vergleich der beiden Segmenttypen abgeschlossen werden.

Beim Drucksegment liegt der Verschuß nahe an den Köpfen der Wehrpfeiler und die Wirbel und Makroturbulenzen beim Umströmen der Pfeiler (Abb.7) erstrecken sich bis in den Spalt zwischen Segmentunterkante und Wehrschwelle und führen dort zu seitlichen Kontraktionen, Störungen und letzten Endes zu einer Beeinträchtigung der Abflußleistung der Anlage. Dieser Vorgang zeigt sich dann in aller Schärfe, wenn der Abfluß durch $n - 1$ Wehröffnungen erfolgt, die Wirbelbildung vor der verschlossenen Öffnung infolge der Umlenkung der Strömung also in verstärkter Form auftritt (Abb. 8).

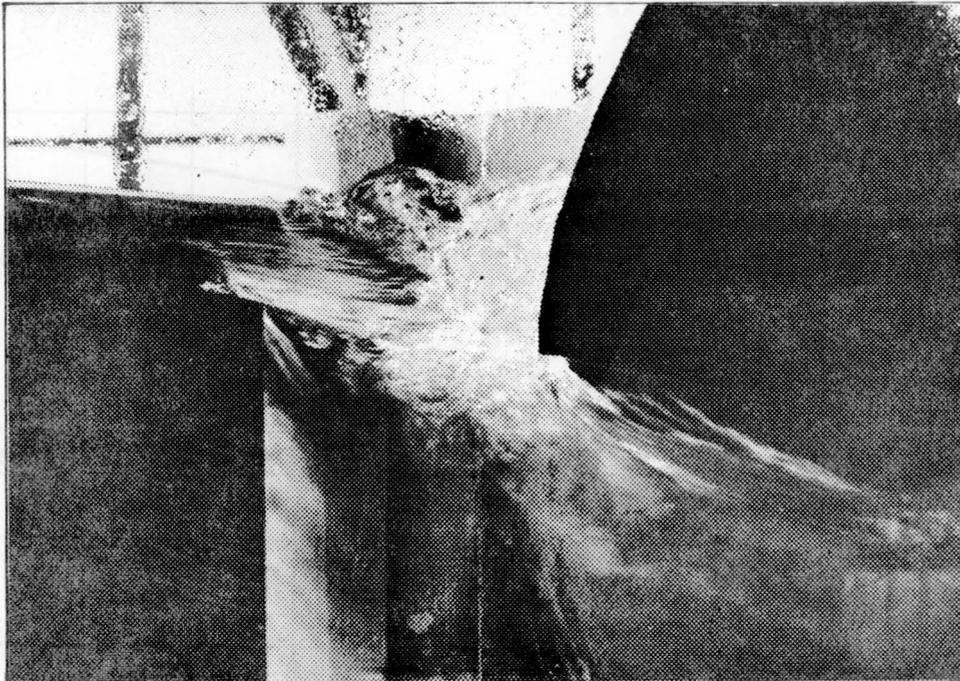


Abb. 7 Wirbelbildung am Wehrpfeilerkopf, die sich bis zur Schneide des Drucksegmentes fortsetzt

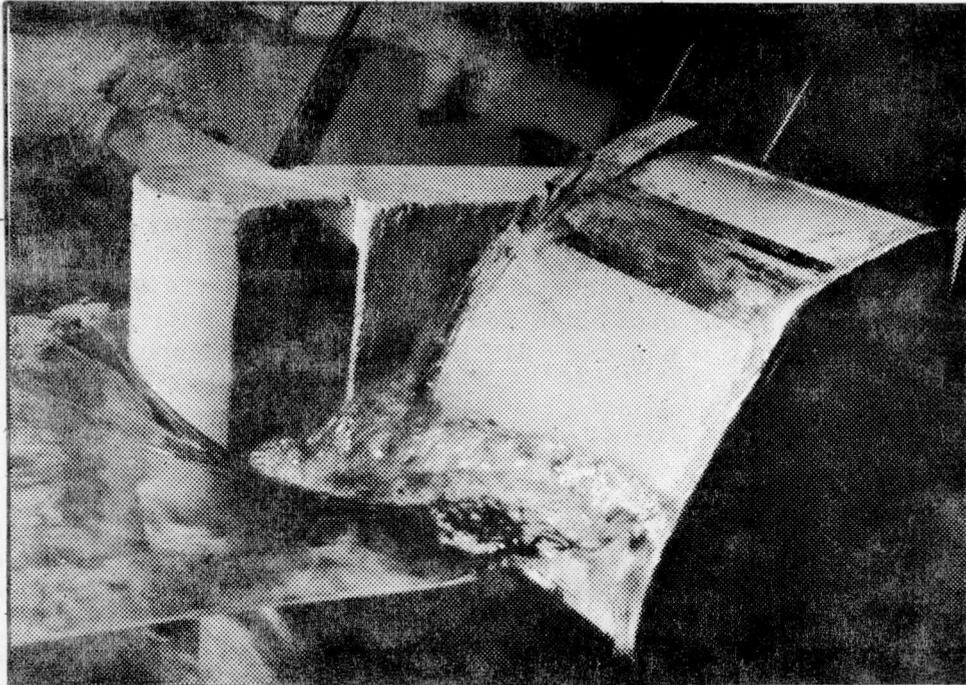


Abb. 8 Wirbelbildung und Wasserspiegelabsenkung zwischen Pfeilerkopf und Segment bei Verschuß einer Wehröffnung

Das Zugsegment dagegen liegt so weit von den Pfeilerhäuptern nach unterstrom entfernt, daß diese unangenehmen Strömungserscheinungen und Wirbelbildungen auf einer Art "Beruhigungsstrecke" bis zu den Verschlüssen hin weitgehend abklingen können.

4. Zusammenfassung und Entscheidung

Nach den Ausschreibungsergebnissen vom Rhein-Main-Donau-Kanal [12] und dem Resultat einer eingehenden Wirtschaftlichkeitsuntersuchung des Neubauamtes Untere Fulda [10] ist für die an der Saar infrage kommenden Stauhöhen ein Zugsegment mit aufgesetzter Fischbauchklappe der wirtschaftlichste Wehrverschluß. In einschlägigen Arbeiten zum Problem der Verschlußart [7] [8] werden die konstruktiven und hydraulischen Vorzüge des Zugsegmentes, vor allem als Weiterentwicklung des Drucksegmentes, herausgehoben. Durch neuere Modelluntersuchungen bei der BAW im Zusammenhang mit dem Rheinwehr Iffezheim (Drucksegment) und dem Fuldawehr Wahnhausen (Zugsegment) konnten weitere Argumente für das Zugsegment gesammelt werden, von denen die Unterschiede in der Wehrschwelle neigung und damit in der Länge des festen Wehrunterbaues sowie in der Leistungsfähigkeit besonders zu nennen sind.

Als Nachteil war beim Zugsegment nur das Problem des Antriebes zu erkennen, der bei ölhydraulischer Ausführung zu gewissen Bedenken hinsichtlich der Betriebssicherheit Anlaß gibt, wenn die Verschlüsse mehrere Monate nicht bewegt werden.

Möglicherweise bieten nach dem heutigen Stand der Technik auch unter Wasser liegende ölhydraulische Antriebe keine Schwierigkeiten oder können unter Umständen wirksam geschützt werden. Möglicherweise ist aber auch der Kostenunterschied zwischen mechanischem und ölhydraulischem Antrieb

nicht so groß, daß hieraus ein bemerkenswerter Nachteil für das Zugsegment abgeleitet werden kann. Wenigstens bestehen gegen die Ausrüstung von Zugsegmenten mit beidseitigem mechanischem Antrieb keine technischen Bedenken, da sich die bisherigen in Betrieb befindlichen Zugsegmente mit mechanischem Antrieb durchweg unproblematisch zeigten.

Auf alle Fälle sind die in dieser Untersuchung herausgearbeiteten bautechnischen, betrieblichen, hydraulischen und wirtschaftlichen Vorzüge des Zugsegmentes samt der zugeordneten festen Wehrteile wie Pfeiler, Wehrschwellen und Tosbecken so groß, daß für den Ausbau der Saar zur Schifffahrtsstraße **Z u g s e g m e n t e** als Wehrverschlüsse gewählt werden.

5. Schrittum

- [1] B A W : Modellversuche für die Wehranlage Iffezheim/Rhein im Maßstab 1:33 1/3. Unveröffentl. Gutachten vom November 1971 bis Oktober 1974
- [2] B A W : Modellversuche für die Wehranlage Wahnhausen/Fulda im Maßstab 1:30. Unveröffentl. Gutachten vom Mai und August 1974
- [3] B A W : Stellungnahme zur Wahl der Wehrverschlüsse beim Ausbau der Saar zur Schifffahrtsstraße. Unveröffentl. Gutachten vom August 1974
- [4] DIETZ, J.W. und PULINA, B. : Modellversuche für die Rheinstaustufe Iffezheim. Zeitschrift für Binnenschifffahrt und Wasserstraßen 101 (1974) H. 1, S.5-14
- [5] BOUTET, P. : Barrage de Gamsheim. Rapport définitif, EDF, Laboratoire National d'Hydraulique, Chatou. HC 044/71.35, 9 novembre 1971
- [6] GRZYWIENSKI, A. : Neue Tendenzen in der Ausbildung von Flußkraftwerken und Schiffsschleusen. Wasserwirtschaft 54 (1964) H.6, S.160-170
- [7] HARTUNG, F. : Die strömungstechnische Entwicklung in Konstruktion und Gestaltung der Staustufen. Tiefbau (1970), H.3, S.201-230
- [8] MÜLLER, W. : Über das Zugsegment als Verschuß im Stahlwasserbau. Die Wasserwirtschaft 57 (1967) H.11, S.385-392
- [9] NBA Untere Fulda : Teilentwurf Nr. H 4 für die Wehranlage und die Sportbootanlagen der Staustufe Hann.-Münden in Fulda-km 107.47. Unveröffentl. Erläuterungsbericht vom 15. August 1972
- [10] NBA Untere Fulda : Teilentwurf Nr. W 4 für die Wehranlage und Bootsschleusenanlage Wahnhausen in Fulda-km 93,5. Unveröffentl. Erläuterungsbericht vom 15. Mai 1974

- [11] RECKER, H.J. : Ausbau der Saar zwischen Saarbrücken und der Mündung zu einer Wasserstraße der Klasse IV. Zeitschrift für Binnenschifffahrt und Wasserstraßen 101 (1974) H.9, S.389-396
- [12] WSA Saarbrücken : Studie zur Wahl der Wehrverschlüsse beim Ausbau der Saar zur Schifffahrtsstraße. September 1971 (unveröffentlicht)
- [13] WSA Saarbrücken : Ausbau der Saar zur Schifffahrtsstraße - Verkehr mit großen Schubeinheiten - (Wasserstraßenklasse IV). Schrift über den Stand der Planung im Juni 1973.

