

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Article, Published Version

**Dietz, Johann W.; Pulina, Bernd**

## **Zur Frage des Wehrschwellenprofils beim Zugsegment**

Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/102958>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Dietz, Johann W.; Pulina, Bernd (1979): Zur Frage des Wehrschwellenprofils beim Zugsegment. In: Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau 45. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 3-28.

### **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. Dietz

und

Dipl.-Ing. B.Pulina

## ZUR FRAGE DES WEHRSCWELLENPROFILS BEIM ZUGSEGMENT

Weir sill profiles at tension tainter gates

### Zusammenfassung

Anhand verschiedener Untersuchungsbeispiele wird die Frage nach den günstigsten Wehrschwellenneigungen bei Zugsegmenten verfolgt, die unter dem Bestreben nach wirtschaftlichen Vorteilen beim festen Wehrunterbau noch ohne Strahlablösungen möglich sind.

### Summary

The paper discusses the problem of the most convenient weir sill slope at tension tainter gates which is practicable with commercial efficiency but without separation of flow.

I N H A L T

	Seite
1. Übersicht	5
2. Wehrschwelle für das Fuldawehr Wahnhausen	6
3. Wehrschwelle für die Saarwehre	14
4. Schlußbetrachtung	24
5. Schrifttum	26

Zusammenfassung

In dem vorliegenden Unter-Abhandlungsbeitrag wird die Frage nach dem Schwellenwert der Wehrschwelle im Zusammenhang mit dem Wehrschwelleprofil bei Zugsegmenten behandelt. Die Wehrschwelle wird als ein bestimmter Wert der Wehrschwelle definiert, der bei Zugsegmenten im Bereich der Wehrschwelle eintritt. Die Wehrschwelle wird als ein bestimmter Wert der Wehrschwelle definiert, der bei Zugsegmenten im Bereich der Wehrschwelle eintritt.

Zusammenfassung

The paper discusses the problem of the most convenient way of determining the critical flow rate which is produced by a weir with a certain geometry but without any

## 1. Übersicht

Eine strömungstechnisch richtig entworfene Wehrschwelle soll sicherstellen, daß an keiner Stelle des Profils ein negativer Überdruck infolge Strahlablösung entsteht und daß der Strahl in einer die Wirksamkeit des Tosbeckens fördernden Weise in dieses eingeleitet wird. Die Nachteile des negativen Überdrucks bzw. des abgelösten Strahls sind bekannt. Er kann nicht nur Baustoffschäden an der Schwelle selbst hervorrufen, sondern auch den Verschluß und dessen Antrieb durch Schwingungen und Stoßwirkung zusätzlich dynamisch belasten, wie auch einen Schwingungsvorgang im Tosbecken entfachen, der sich auf den Verschluß rückkoppeln kann. Allerdings sei dahingestellt, ob die Forderung nach einem Überdruck Null bzw. nach einem positiven Druck an allen Stellen der Wehrschwelle durch eine wirtschaftlich noch vertretbare Lösung für alle am Wehr vorkommenden Betriebsfälle erfüllt werden kann.

Durch eine steil nach unterstrom geneigte Wehrschwelle kann man 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 und selbstverständlich gegen eine Pfeilerverkürzung keine statischen und gründungstechnischen Bedenken stehen. Hierzu gehört auch die Beobachtung von einschlägigen Modelluntersuchungen, nach denen der mit der Endschwelle abschließende Pfeiler gegenüber dem kürzeren, schon im Tosbecken endenden Pfeiler eine Verringerung des Strömungsangriffs auf den an die Endschwelle folgenden Sohlbereich bewirkt, was sich sowohl über die Kolkstiefen in einer beweglichen Sohle, als auch am Umfang der Schäden an einer eventuell vorhandenen Befestigungsstrecke nachweisen läßt /2/.

Von der wirtschaftlichen Seite muß es daher das Bestreben sein, die Neigung der Wehrschwelle möglichst steil zu wählen. Andererseits muß aber sichergestellt sein, daß dabei die eingangs genannten strömungstechnischen Belange gewahrt bleiben. Diesen Forderungen kommt das Zugsegment als Wehrverschluß entgegen, das unter sonst gleichen Verhältnissen eine steilere Wehrschwellenneigung als ein Drucksegment oder ein Schütz zuläßt, wenn man auf die Neigungen sieht, die noch ohne Strahlablösungen möglich sind. Hierfür werden beispielsweise von Hartung /3/ folgende Werte genannt:

Drucksegment	1 : 2
Senkrechtes Schütz	1 : 1,7
Zugsegment	1 : 1
(15° Gegenneigung)	

Demnach ist die Neigung der Wehrschwelle von der Neigung der Stauwand abhängig. Beim Zugsegment zwingt die nach dem Unterwasser drehende Segmentschneide den Abflußstrahl zum Anlegen an die geneigte Wehrschwelle und drückt ihn nach unten in das Tosbecken (Abb. 1), dessen hydraulische Wirksamkeit dadurch wünschenswert gesteigert wird /1/ /3/ /5/.

Aufgrund der Ersparnisse beim festen Wehrunterbau, die man bei

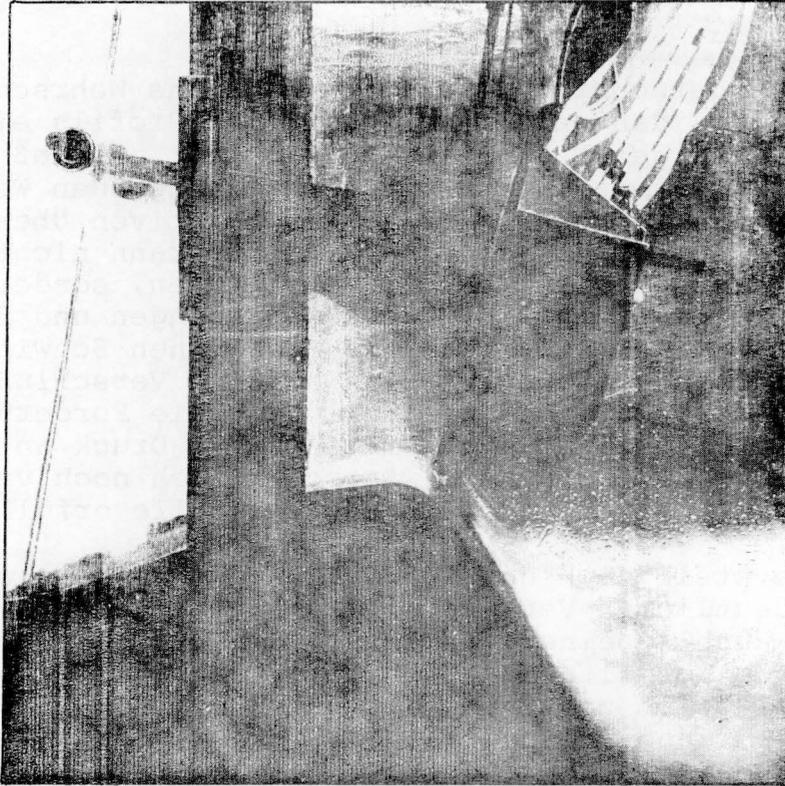


Abb. 1 Abfluß unter einem Zugsegment am Beispiel des zweidimensionalen Wehrmodells Rehlingen/Saar

gleicher Sicherheit mit einer steilen Wehrschwelle in Kombination mit dem Zugsegment erzielen kann, war auch für die neuen Zugsegmentwehre an der Fulda und an der Saar die Frage nach den Wehrschwellenneigungen gestellt, die für die vorgegebenen Verschußabmessungen bzw. Stauwandneigungen noch ohne Strahlablösungen möglich sind. Für diese Optimierungsaufgabe wurden bei der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) in zwei verschiedenen Modellen in den Maßstäben 1:30 (Fulda) und 1:10 (Saar) Überdruckmessungen an mehreren Wehrschwellenformen durchgeführt, deren Ergebnisse Gegenstand dieser Arbeit sind.

## 2. Wehrschwelle für das Fuldawehr Wahnhausen

Die Wehranlage der neu errichteten Staustufe Wahnhausen bei Fulda-km 93,500 besteht aus drei Wehrfeldern von je 18,00 m Durchflußbreite. Als Verschlüsse dienen Zugsegmente mit Aufsatzklappen, deren Höhe 4,25 m + 1,75 m beträgt (Abb. 2). Der zur Einsparung von Verschußhöhe angeordnete 1,50 m hohe Wehrhöcker berücksichtigt in seiner oberstromigen Form früher angegebene Empfehlungen /4/, die auf strömungstechnische Belange und auf die Geschiebeabfuhr über den Höcker eingehen. Die Form des Wehrhöckers auf der Unterwasserseite und insbesondere die Neigung der in das Tosbecken abfallenden Wehrschwelle waren Gegenstand von speziellen Modelluntersuchungen, die in dem auch von anderen Untersuchungsaufgaben her vorhandenen dreidimensionalen Gesamtmodell der Stauanlage im Maßstab 1:30 durchgeführt worden sind.

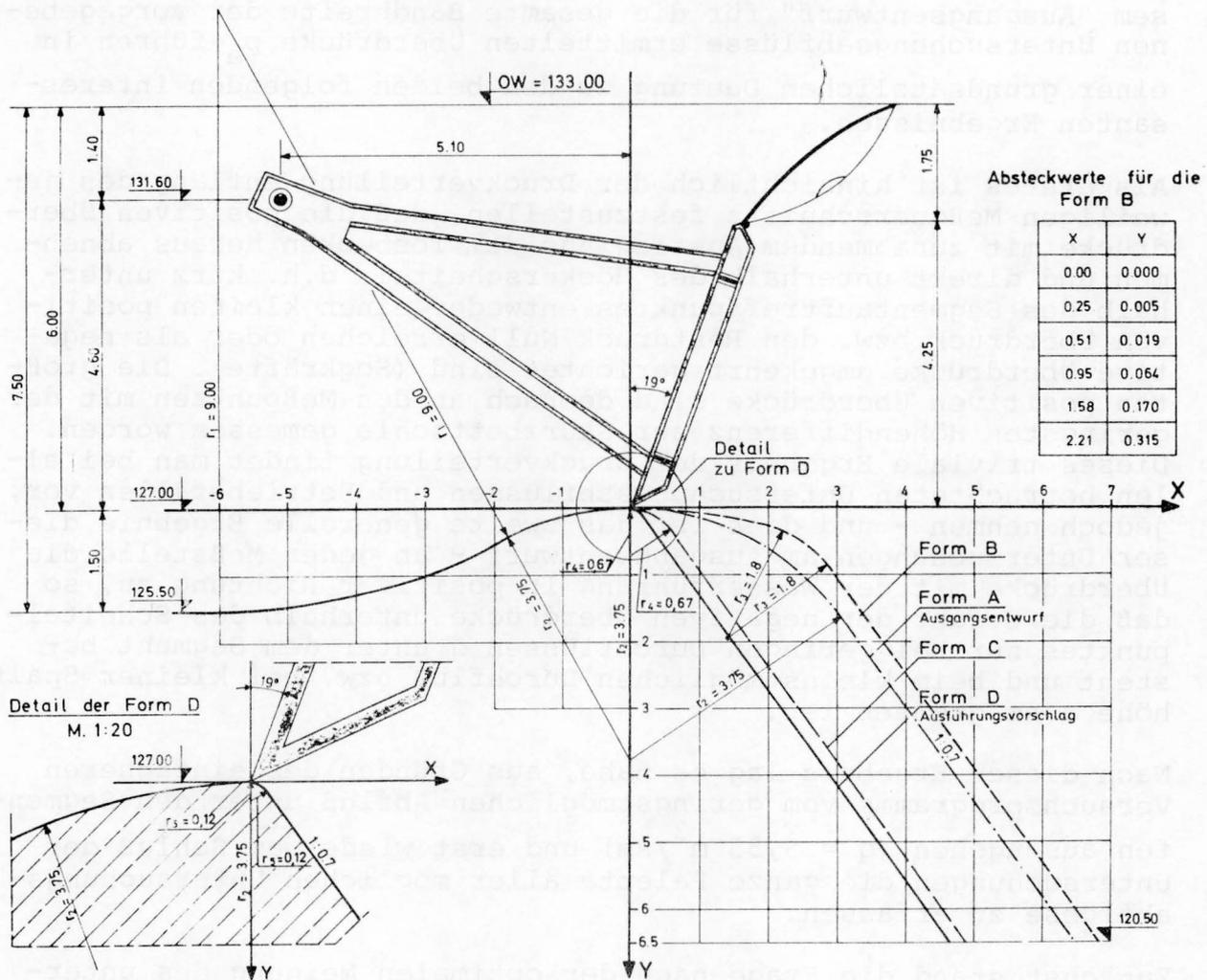


Abb. 2 Untersuchte Formen des Wehrhöckers beim Fuldawehr Wahnhausen

Bei diesen Modelluntersuchungen wurden mittels einer Piezometerharfe die Überdrücke entlang des unterstromigen Abschnitts des Wehrhöckers ermittelt, wobei zwei repräsentative Meßquerschnitte in Wehrfeldmitte und im Wehrfeldviertel der mittleren Wehröffnung mit 6 bzw. 5 Druckmeßstutzen bestückt waren. Die hydrologischen Randbedingungen für die Versuche waren durch Fuldaabflüsse zwischen  $Q = 300 \text{ m}^3/\text{s}$  und dem  $HQ_{(100)} = 1200 \text{ m}^3/\text{s}$  vorgegeben, die unter den Segmenten mit unterschiedlichen Spalthöhen  $a$  abzuführen waren. Der mit  $Q_{KW} = 60 \text{ m}^3/\text{s}$  geplante Kraftwerksbetrieb wurde ebenfalls simuliert; er drückt sich bei Konstanthaltung des Wehrdurchflusses  $Q_W$  in höheren Unterwasserspiegellagen aus, wie sie dem Gesamtabfluß über die Stauanlage  $Q_{Fulda} = Q_W + Q_{KW}$  zugeordnet sind. In der Folge wird der Wehrdurchfluß  $Q_W$  auf die Breitereinheit des Wehres bezogen und mit  $q$  bezeichnet.

Die Versuche begannen mit der Wehrhöckerform A, die von der mit den Planungsarbeiten befaßten Stelle vorgegeben war. Die an diesem "Ausgangsentwurf" für die gesamte Bandbreite der vorgegebenen Untersuchungsabflüsse ermittelten Überdrücke  $p_e$  führen in einer grundsätzlichen Deutung zu den beiden folgenden interessanten Ergebnissen.

Als erstes ist hinsichtlich der Druckverteilung entlang des jeweiligen Meßquerschnitts festzustellen, daß die positiven Überdrücke mit zunehmendem Anstieg aus dem Tosbecken heraus abnehmen und direkt unterhalb des Höckerscheitels d.h. kurz unterhalb des Segmentauftreffpunktes entweder einen kleinen positiven Überdruck bzw. den Restdruck Null erreichen oder als negative Überdrücke umgekehrt gerichtet sind (Sogkräfte). Die größten positiven Überdrücke sind demnach an den Meßpunkten mit der geringsten Höhendifferenz zur Sturzbettsohle gemessen worden. Dieses triviale Ergebnis der Druckverteilung findet man bei allen betrachteten Untersuchungsabflüssen und Betriebsfällen vor, jedoch nehmen - und dies ist das zweite generelle Ergebnis dieser Untersuchungen am Ausgangsentwurf - an jeder Meßstelle die Überdrücke mit der Wasserführung in positiver Richtung zu, so daß die Gefahr der negativen Überdrücke unterhalb des Scheitelpunktes nur bei geringen Durchflüssen  $q$  unter dem Segment besteht und beim kleinstmöglichen Durchfluß bzw. bei kleiner Spalthöhe  $a$  am größten ist.

Nach diesem Ergebnis lag es nahe, aus Gründen des einfacheren Versuchsprogramms vom geringstmöglichen Abfluß unter den Segmenten auszugehen ( $q = 5,55 \text{ m}^3/\text{sm}$ ) und erst wieder am Schluß der Untersuchungen die ganze Palette aller möglichen Untersuchungsabflüsse zu erfassen.

Zunächst stand die Frage nach der optimalen Neigung des unterstromigen Höckerrückens im Vordergrund. Bei den für verschiedene Neigungen zwischen 1:0,50 und 1:1,25 an der Form A gemessenen Überdrücken ist ein Einfluß der Wehrschwellenneigung erst dann erkennbar, wenn wir unseren Blick auf den oberen Abschnitt des Höckers richten, der etwa 2,0 m unterhalb des Scheitels beginnt (Abb. 3). Und auch dort können wir nur für die verhältnismäßig steil geneigte Wehrschwelle (1:0,50; gestrichelte Kurve) einen leichten Druckabfall gegenüber den flacheren Anordnungen (ausgezogene Kurve) ausmachen, bei denen zwischen den Schwellenneigungen von 1:0,7 bis 1:1,25 keine nennenswerten, in eine bestimmte Richtung gehende Unterschiede bestehen. Die auch in der Meßebe II (Wehrfeldviertel) durchgeführten Messungen bestätigen durch nahezu gleiche Meßwerte dieses Ergebnis.

Für die vorliegenden Bedingungen der Verschlußform, der Stauhöhe und des Unterwasserstandes ist daher die im einleitenden Abschnitt näher definierte optimale Neigung des Höckerrückens mit 1:0,7 anzugeben, obgleich auch bei ihr ein schwacher negativer Überdruck kurz unterhalb des Höckerscheitels nicht ganz vermieden wird. Allerdings ist dieser negative Überdruck dem äußerst seltenen Betriebsfall des Stromausfalls ohne Entlasterbetrieb durch die Turbinen zugeordnet ( $Q_{KW} = 0$ ;  $n = 3$  Wehröffnungen).

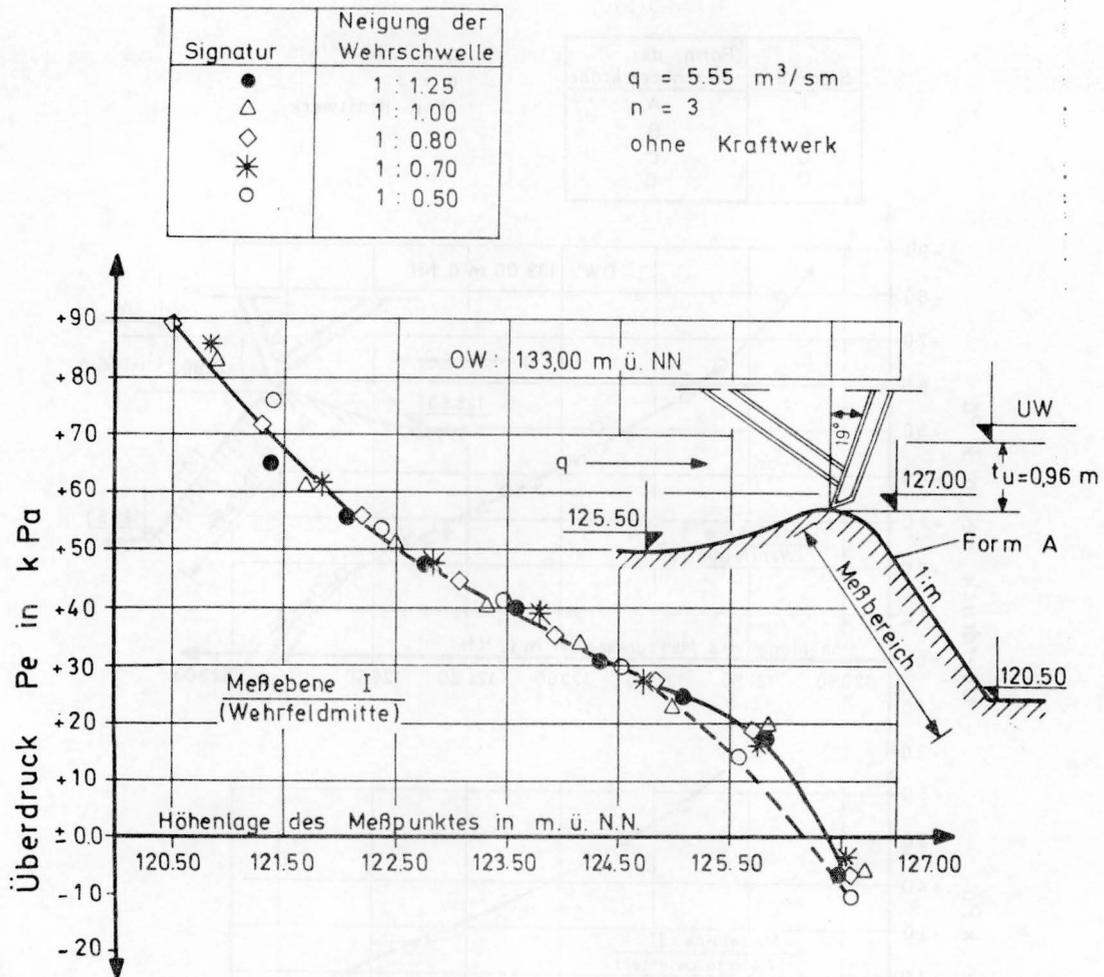


Abb. 3 Einfluß der Neigung der Wehrschwelle auf den Überdruck beim Fuldawehr Wahnhausen

Für den weiteren Verlauf der Untersuchungen war die Frage nach der günstigsten Form der Höckerkrone von Bedeutung. Unter Beibehaltung der vorher gefundenen Schwellenneigung von 1:0,7 wurden einschließlich des schon behandelten Ausgangsentwurfs vier verschiedene Formen der Wehrhöckerkrone betrachtet (s. Formen A bis D auf Abb. 2). Wie sich schon der Einfluß der Neigung auf die Überdrücke erst im oberen Bereich des Wehrhöckers bemerkbar gemacht hat, geht auch die Höckerform nur in die in der Nähe des Höckerscheitels gemessenen Überdrücke ein, wobei der Einflußbereich praktisch noch kleiner geworden ist und sich nur noch vom Höckerscheitel bis 1,0 m darunter erstreckt (Abb. 4).

Die größten negativen Überdrücke sind für den flachen Scheitel der Form B gemessen worden, der auch wegen der gleichzeitig festgestellten Verminderung der Ausflußzahl  $\alpha$  strömungstechnisch so ungünstig ist, daß für ihn weitere planerische Überlegungen entfallen können. Daher hat man auch von weiteren Versuchen mit Wehrhöckerprofilen, die annähernd der sogenannten Creager-Kurve folgen, Abstand genommen.

Die Wehrhöckerkrone Form C ist vom Scheitel bis zur festgelegten Schwellenneigung von 1:0,7 kreisbogenförmig ausgerundet. Der

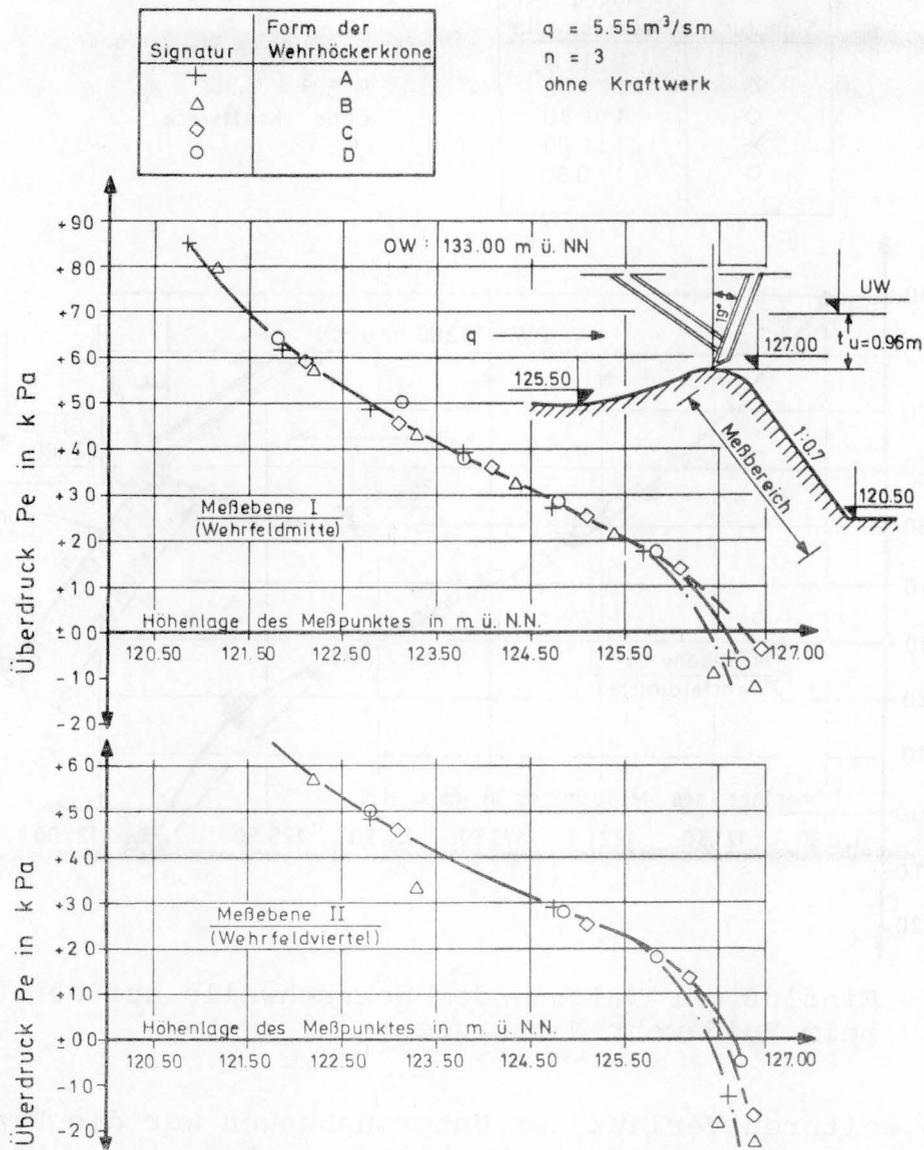


Abb. 4 Einfluß der Form der Wehrhöckerkrone auf den Überdruck beim Fuldawehr Wahnhausen

Krümmungshalbmesser beträgt 0,67 m. Mit dieser Veränderung im Bereich des Höckerscheitels, die einen Verzicht auf den flachen Scheitel der Form B bedeutet, geht gegenüber Form B eine leichte wünschenswerte Abnahme des negativen Überdrucks im Bereich des Segmentauftreffpunktes einher, die für einen noch kleineren Krümmungshalbmesser eine weitere Verbesserung der Druckverhältnisse erwarten läßt.

Bei der Form D wurde daher der Radius des kreisbogenförmigen Übergangs vom Höckerscheitel bis zum 1:0,7 geneigten Rücken auf 0,12 m verkleinert. Durch diese Formgebung konnte nicht nur eine erfreuliche Verkürzung des festen Wehrunterbaus erreicht wer-

den, sondern auch die primär anzustrebende günstige Druckverteilung, die sich beim Vergleich mit den vorher untersuchten Formen A bis C durch die geringsten negativen Überdrücke im Bereich des Höckerscheitels auszeichnet, wenn man die Meßgrößen in den Meßebenen I und II gemeinsam wertet. Es ist auch zu erwähnen, daß bei der Höckerform D im Gegensatz zu den Formen A bis C die Verteilung des Überdruckes über die Wehrfeldbreite einen nahezu gleichmäßigen Verlauf nimmt. Diese Feststellung gilt nicht nur für den bisher betrachteten Minimalabfluß unter dem Segment von  $q = 5,55 \text{ m}^3/\text{sm}$ , sondern auch für die nunmehr wieder ins Programm genommenen stärkeren Wehrdurchflüsse bis hin zu  $q_{(100)} = 22,22 \text{ m}^3/\text{sm}$ ; mit zunehmendem Durchfluß wachsen die Überdrücke in der Wehrfeldmitte und im Wehrfeldviertel in übereinstimmender Weise an, so daß bei dem jeweiligen Durchfluß die Drucklinien in den Meßebenen I und II nahezu parallel sind. Dies zeigt auch die isometrische Darstellung der gemessenen Überdrücke, die in unserem Beispiel für den Normalfall des Wehr- und Kraftwerksbetriebs ( $n = 3$ ;  $Q_{KW} = 60 \text{ m}^3/\text{s}$ ) gewählt wurde (Abb. 5).

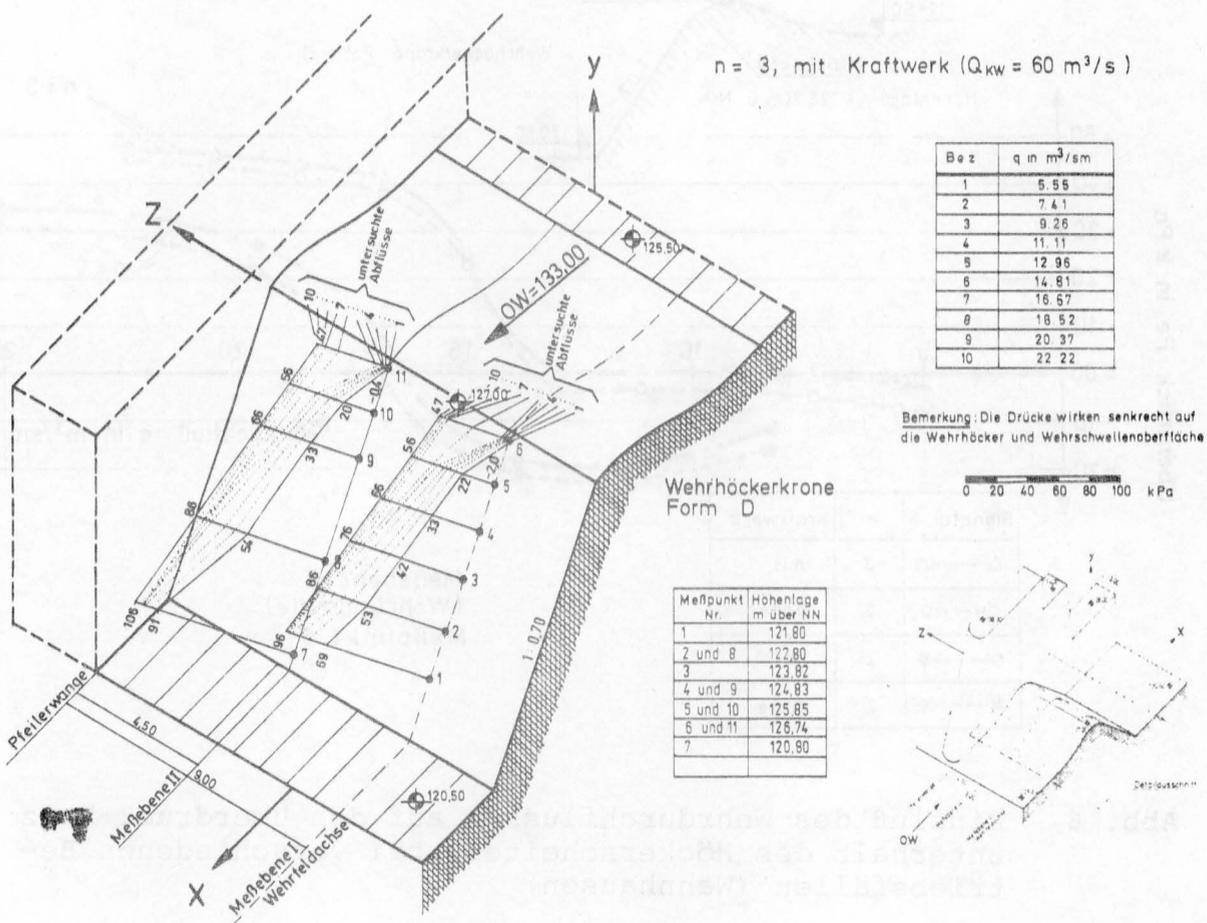


Abb. 5 Isometrische Darstellung der Verteilung des Überdrucks über der 1:0,7 geneigten Wehrschwelle nach Form D für Wehrdurchflüsse von  $q = 5,55$  bis  $22,22 \text{ m}^3/\text{sm}$  (Wahnhausen)



steile Anstieg ein. Beim Stromausfall ohne gleichzeitigen Entlasterbetrieb durch die Turbinen ( $n = 3$ ,  $Q_{KW} = 0$ ) fällt der Überdruck infolge der veränderten Relation Wehrdurchfluß - Unterwasserstand leicht ab; die negativen Überdrücke liegen aber immer noch in einem unbedenklichen Bereich.

Wesentlich stärker ist die Druckabnahme beim Verschuß einer Wehröffnung, wobei die negativen Überdrücke nicht nur bis zu  $- 20$  kPa betragen können, sondern auch innerhalb einer größeren Durchflußspanne liegen (bis zu rund  $q = 17,0 \text{ m}^3/\text{sm}$ ). Bei der Wertung dieses Ergebnisses ist aber zu berücksichtigen, daß es sich hier um den  $(n - 1)$  - Lastfall handelt, der wegen seiner geringeren Eintrittswahrscheinlichkeit und seiner verhältnismäßig kurzen Wirkdauer, gemessen an der gesamten Nutzungsdauer der Anlage, eine etwas großzügige Handhabung zulassen dürfte, zumal die strenge theoretische Forderung nach einem positiven Druck an allen Stellen der Wehrschwelle und für alle vorkommenden Betriebsfälle wohl kaum durch eine wirtschaftlich noch vertretbare Lösung zu erfüllen wäre. So konnte ja auch durch eine flacher als  $1:0,7$  geneigte Wehrschwelle der negative Unterdruck kurz unterhalb des Höckerscheitels nicht vermieden werden. Nach neueren Untersuchungen zur Überlastung von Überfällen /7/ können gewisse Grenzwerte negativen Überdrucks zugelassen werden, ohne daß die Gefahr einer Kavitation besteht. Hierbei ist aber wichtig, daß keine Luft in das Gebiet des negativen Überdrucks gelangen kann, um die gefährliche Ablösung des gesamten Strahls zu vermeiden.

Gehen wir nochmals auf den schon besprochenen steilen Anstieg des Überdrucks  $p_e$  unterhalb des Höckerscheitels (Meßpunkt 6) beim Überschreiten des Wehrdurchflusses von  $q = 13 \text{ m}^3/\text{sm}$  (für  $n = 3$ ) und von  $q = 15 \text{ m}^3/\text{sm}$  (für  $n = 2$ ) in der Darstellung  $p_e = f(q)$  zurück. Mit ihm ist in den gleichen Grenzen ein steiler Anstieg der Eichkurve  $a = f(q)$  verbunden, der in diesem Abflußbereich auf eine Verschlechterung der Durchflußleistung unter den Segmenten hinweist, wenn man auf die entsprechenden Kurven für die hier behandelte Form D achtet (Abb. 7).

Infolge dieses Effektes geht der bei einem Wehr im Prinzip uninteressante Unterschied im Segmenthub zwischen den Formen A und D bei größeren Segmenthuben wieder verloren, denn beide Kurven gleichen sich um so mehr an, je mehr der Einfluß der Segment-schneide mit zunehmendem Segmenthub  $a$  nachläßt. Dies zeigt uns deutlich, wie sehr der Überdruck kurz unterhalb der Höckerkrone und die Durchflußleistung von der Ausbildung der Wehrschwelle in enger Verbindung mit dem eingetauchten Segmentverschluß abhängen, von dem die Neigung der Stauwand eine beherrschende Rolle spielt. Wenn sich die Segmente beim Hochwasserabfluß vom Wasserpiegel abheben und sich am Wehr freier Durchfluß einstellt, wird die Leistungsfähigkeit des Wehres neben den hydraulischen Größen nur noch von der Form des Wehrbodens bzw. des Wehrhöckers bestimmt.

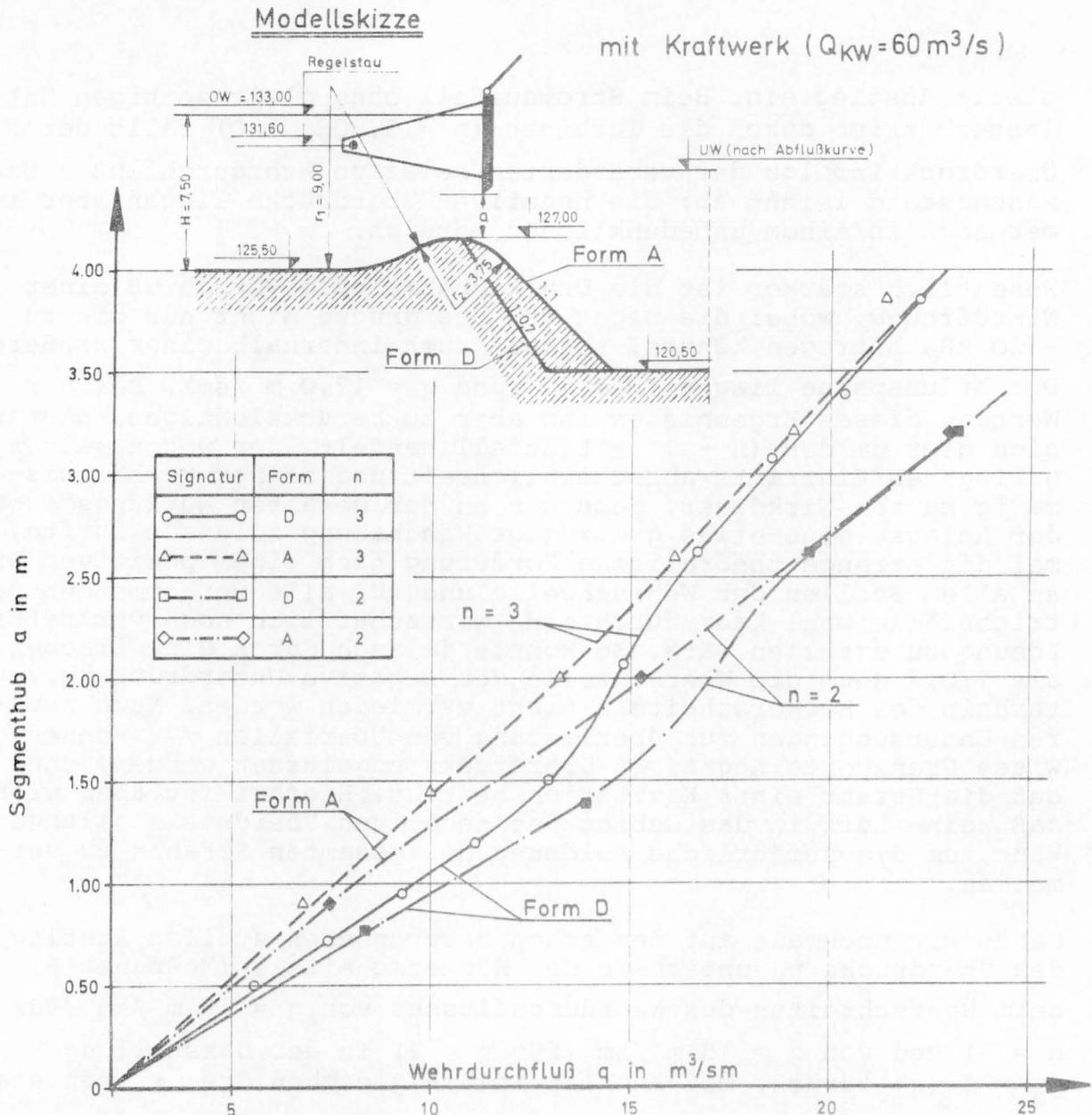


Abb. 7 Stellung und Durchflußleistung der unterströmten Segmente (Wehranlage Wahnhausen)

### 3. Wehrschwelle für die Saarwehre

Im Zuge des Ausbaues der Saar zur Großschiffahrtsstraße werden an den geplanten Staustufen Kanzem/Schoden, Serrig, Mettlach und Rehlingen Wehranlagen mit Zugsegmenten und aufgesetzten Klappen errichtet /1/. Die Klappenhöhe soll an allen Wehren einheitlich 1,80 m betragen, während die Verschlusshöhen der Segmente unterschiedlich zwischen 4,20 m und 6,70 m liegen (Tabelle).

Soweit es die Wasserspiegellagen im Hochwasserfall zulassen, werden zur Einsparung von Verschlusshöhe 1,00 m bis 1,50 m hohe Wehrhöcker angeordnet, deren Form und unterstromige Neigung trotz der schon beim Fuldawehr Wahnhausen erzielten Versuchsergebnisse aus Gründen der Genauigkeit und Aussagesicherheit nochmals Gegenstand von speziellen Modelluntersuchungen waren, aber jetzt in einem verhältnismäßig großen Modellmaßstab von 1:10, die in der Folge näher behandelt werden.

Wehr-anlage	Wehr-breite in m	n	Höhe Zugsegment in m	Höhe Aufsatzklappe in m	Höcker-höhe in m
Schoden	16,50	4	4,20	1,80	1,00
Serrig	16,50	3	6,70	1,80	1,50
Mettlach	16,50	3	6,70	1,80	1,50
Rehlingen	16,50	3	5,70	1,80	0

Als Beispiel für die Gestaltung eines Saarwehres mit Höcker soll ein dem augenblicklichen Planungsstand entsprechender Schnitt durch die Wehranlage Schoden dienen, von dem wir uns für die nachfolgende Betrachtung der Wehrschwelle die Gegenneigung der Stauwand von  $15^\circ$  merken wollen, die bei allen Saarwehren beibehalten wird (Abb. 8).

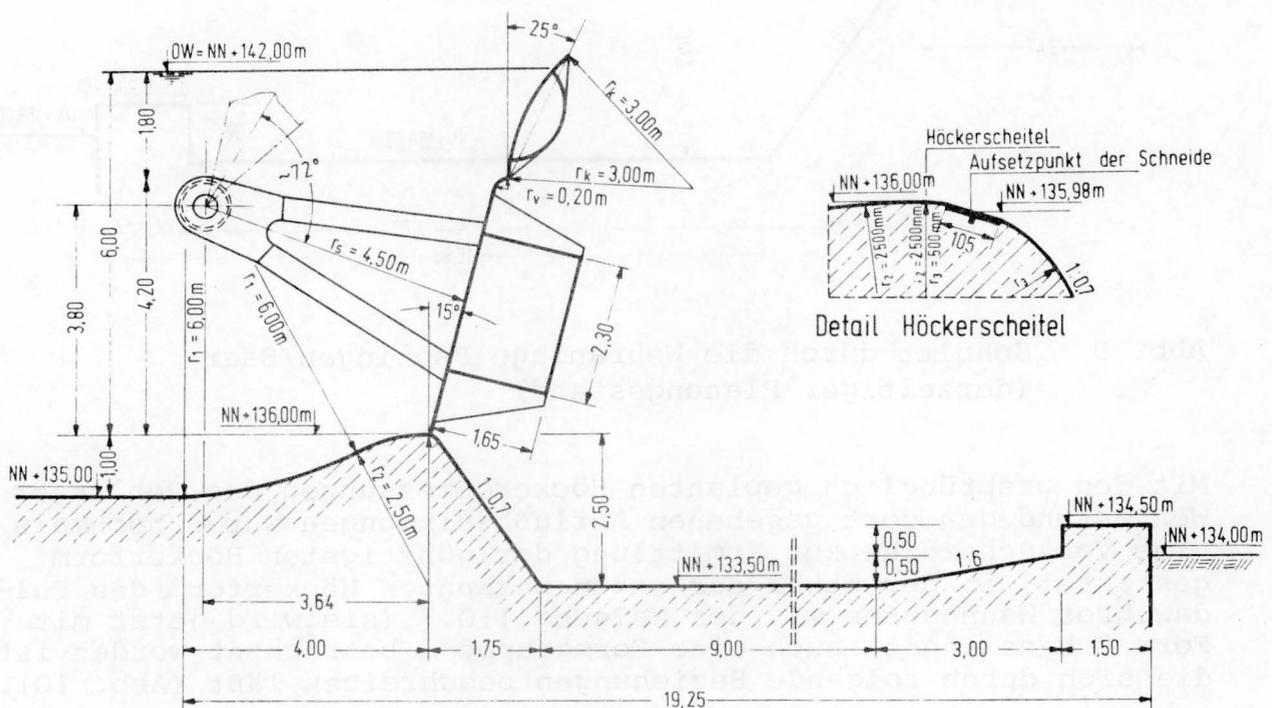


Abb. 8 Schnitt durch die Wehranlage Schoden/Saar (derzeitiger Planungsstand)

Die Wehranlage Rehlingen war zunächst mit einem 1,75 m hohen Wehrhöcker geplant, für den auch der Verlauf des Überdrucks im Modell ermittelt worden ist, wie nachher gezeigt wird. Die Untersuchungen im Gesamtmodell der Staustufe im Maßstab 1:50 haben aber später ergeben, daß dieser Höcker im Hochwasserfall zu einer Anhebung des Oberwasserspiegels führt, die in Verbindung mit der Höhenlage der Schleusenplattform aus betrieblichen





kleinste Überdruck am Wehrhöcker (auf den es ja beim Nachweis des ablösungsfreien Überströmens bzw. des Vermeidens negativer Überdrücke auch ankommt) gegenübergestellt (Abb. 11).

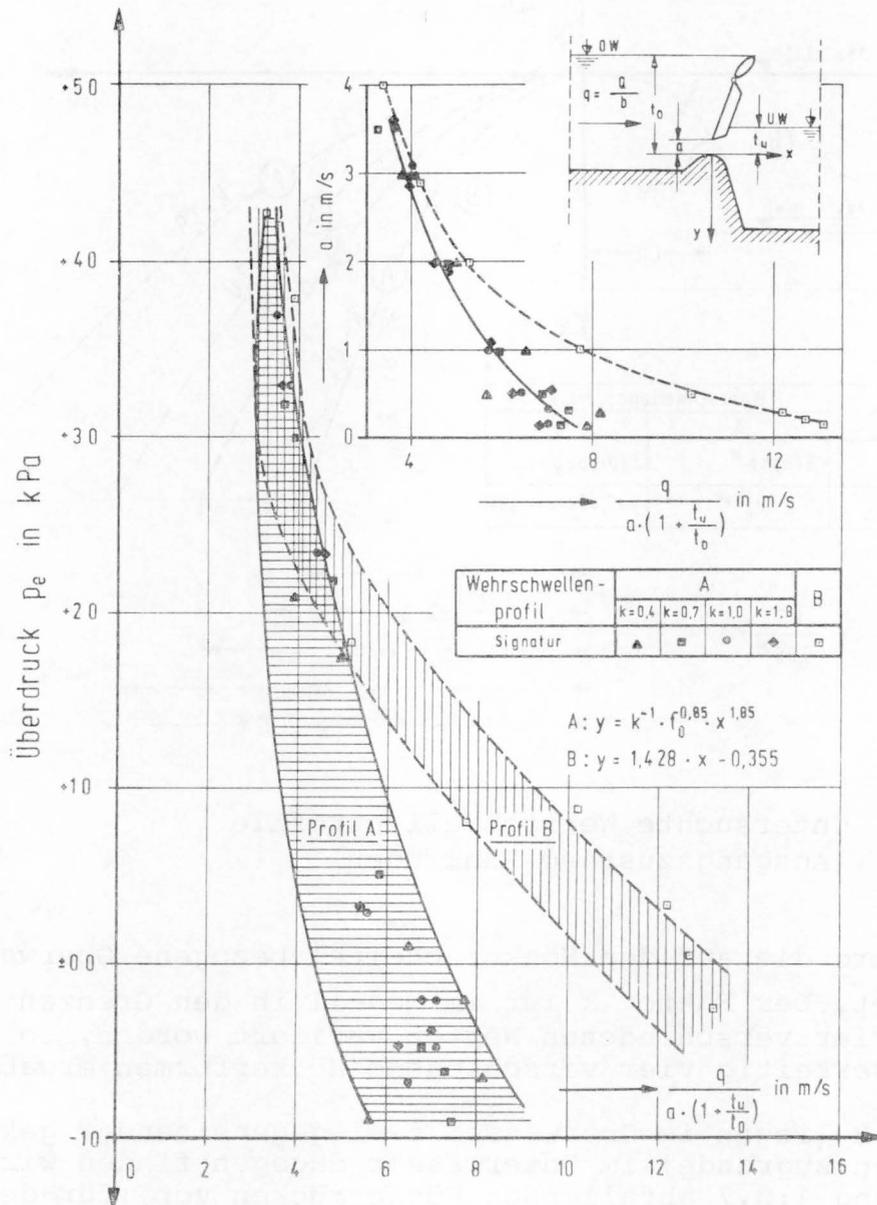


Abb. 11 Jeweils kleinster Überdruck über den untersuchten Wehrschwelen in Abhängigkeit von den Abfluß- und Betriebsbedingungen (Ausgangszustand Rehlingen)

Man sieht, daß bei dem nach den Gleichungen (1) und (2) geformten Profil A kein klarer Einfluß des unterstromigen Höcker-rückens auf den jeweils kleinsten Überdruck existiert, so daß wir alle für die Form A erzielten Ergebnisse unabhängig von der Größe des Faktors  $k$  (zwischen 0,4 und 1,8) in der geeigneten Weise zusammenfassen dürfen. Die Größe der negativen Über-

drücke lassen dieses Wehrhöckerprofil A deutlich ungünstiger aussehen als Profil B, das mit seiner unterstromigen Neigung von 1:0,7 auch bei diesen großmaßstäblichen Modellversuchen in den Vordergrund rückt und demnach Grundlage weiterer Einzeluntersuchungen für die geplanten Saarwehre sein konnte.

Bevor wir uns aber diesen Einzeluntersuchungen zuwenden, soll nochmals zum Problem der Leistungsfähigkeit des Wehres bei den verschiedenen Schwellenformen Stellung genommen werden, obgleich diese Frage nur akademische Bedeutung haben dürfte, da es bei einer Wehranlage unerheblich ist, ob der Segmenthub  $a$  ein paar cm mehr oder weniger beträgt, solange der Hochwasserabfluß davon unberührt bleibt (Abb. 12).

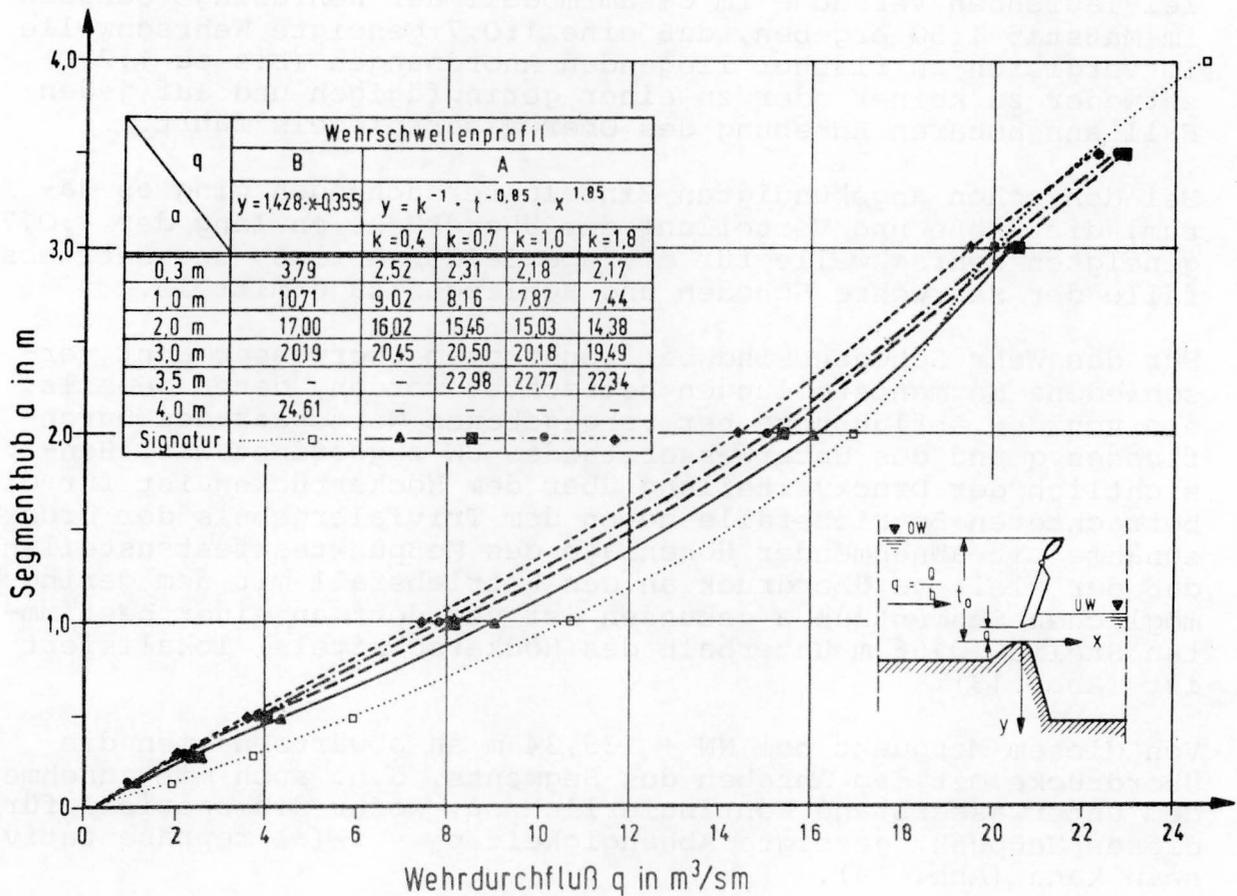


Abb. 12 Stellung und Durchflußleistung des unterströmten Segments bei den untersuchten Wehrschwellen (Ausgangszustand Rehlingen)

Wie auch schon im Fall Wahnhausen (s. nochm. Abb. 7) hängt die "Eichkurve" der 1:0,7 geneigten Wehrschwelle nach unten durch, was auf die größere Leistungsfähigkeit dieser Form B hinweist, solange das Segment wirksam eingetaucht ist, d.h. der Segmenthub ein bestimmtes Maß nicht überschreitet (hier  $a \leq 2,5$  m).

In diesem Hubbereich ist die Form A immer ungünstiger, wenn auch jetzt ein Einfluß der  $k$ -Werte (in Gl. (2)) erkennbar ist, nach dem die Leistungsfähigkeit um so mehr zunimmt, je steiler der Wehrrücken abfällt. Bei Segmenthuben  $a > 3,0$  m heben sich diese Unterschiede mehr und mehr auf und die einzelnen Kurven gleichen sich einander an, da die Wirkung der Segmentschneide bei einem so weit angehobenen Verschuß schon verhältnismäßig gering ist. Wir sehen also wieder, daß die Neigung des Höckerrückens und die Stellung des Verschlusses bzw. der Segmentschneide in eindeutiger gegenseitiger Zuordnung in die Leistungsfähigkeit des Wehres hineinwirken.

Über die Verhältnisse des Hochwasserabflusses mit einem vom Wasserspiegel abgehobenen Segment konnten diese großmaßstäblichen Versuche aus Gründen des begrenzten Wasserdargebots im Versuchsgerinne keine Auskünfte geben, jedoch haben die parallel laufenden Versuche im Gesamtmodell der Wehranlage Schoden im Maßstab 1:50 ergeben, daß eine 1:0,7 geneigte Wehrschwelle im Vergleich zu flacher liegenden Anordnungen (bis zu 1:2,0) entweder zu keiner oder zu einer geringfügigen und auf jeden Fall annehmbaren Anhebung des Oberwasserspiegels führt.

Bei den schon angekündigten Einzeluntersuchungen ging es darum, die Größe und Verteilung der Überdrücke entlang der 1:0,7 geneigten Wehrschwelle für die speziellen Abfluß- und Betriebsfälle der Saarwehre Schoden und Rehlingen zu ermitteln.

Für das Wehr Schoden sind bei konstantem Oberwasser acht verschiedene Segmentstellungen betrachtet worden, denen jeweils ein von der Abflußkurve her vorgegebenes Wertepaar des Durchflusses  $q$  und des Unterwasserstandes  $UW$  zugeordnet war. Hinsichtlich der Druckverteilung über dem Höckerrücken ist für die betrachteten Betriebsfälle neben dem Trivialergebnis der Druckzunahme mit abnehmender Höhenlage des Meßpunktes festzustellen, daß der kleinste Überdruck an den Betriebsfall mit dem geringstmöglichen Segmenthub  $a$  gebunden ist und dort an einer bestimmten Stelle (0,66 m unterhalb des Höckerscheitels) lokalisiert ist (Abb. 13).

Von diesem Meßpunkt bei  $NN + 135,34$  m an abwärts nehmen die Überdrücke mit dem Anheben des Segments, d.h. auch mit zunehmendem Unterwasserstand kontinuierlich zu, wofür die speziell für diesen Meßpunkt gezeigte Abhängigkeit  $p_e = f(a)$  repräsentativ sein kann (Abb. 14).

Anders dagegen sieht es an der Stelle aus, die direkt unterhalb des Höckerscheitels liegt (Meßpunkt bei  $NN + 135,94$  m). Hier stellt sich in der Relation  $p_e = f(a)$  ein Minimum ein, das im vorliegenden Fall an einen Segmenthub von  $a = 1,0$  m gebunden ist. Auf dieses Versuchsergebnis werden wir bei der späteren Behandlung des Wehres Rehlingen nochmals zurückgreifen.

Für die Wehrschwelle Schoden läßt sich damit abschließend festhalten, daß an keiner Stelle des Höckers bzw. des Höckerrückens und bei keinem Abflußfall negative Überdrücke beobachtet werden

konnten, was ohne Zweifel mit der Erscheinung zu tun hat, daß schon bei kleinen Abflüssen das Unterwasser verhältnismäßig hoch ansteht. Dieses Ergebnis berechtigt zu der Annahme, daß auch beim  $(n - 1)$  - Betriebsfall, der in der streng zweidimensionalen Versuchsanordnung nicht verfolgt werden konnte, keine oder nur unbedeutende negative Überdrücke zu erwarten sind.

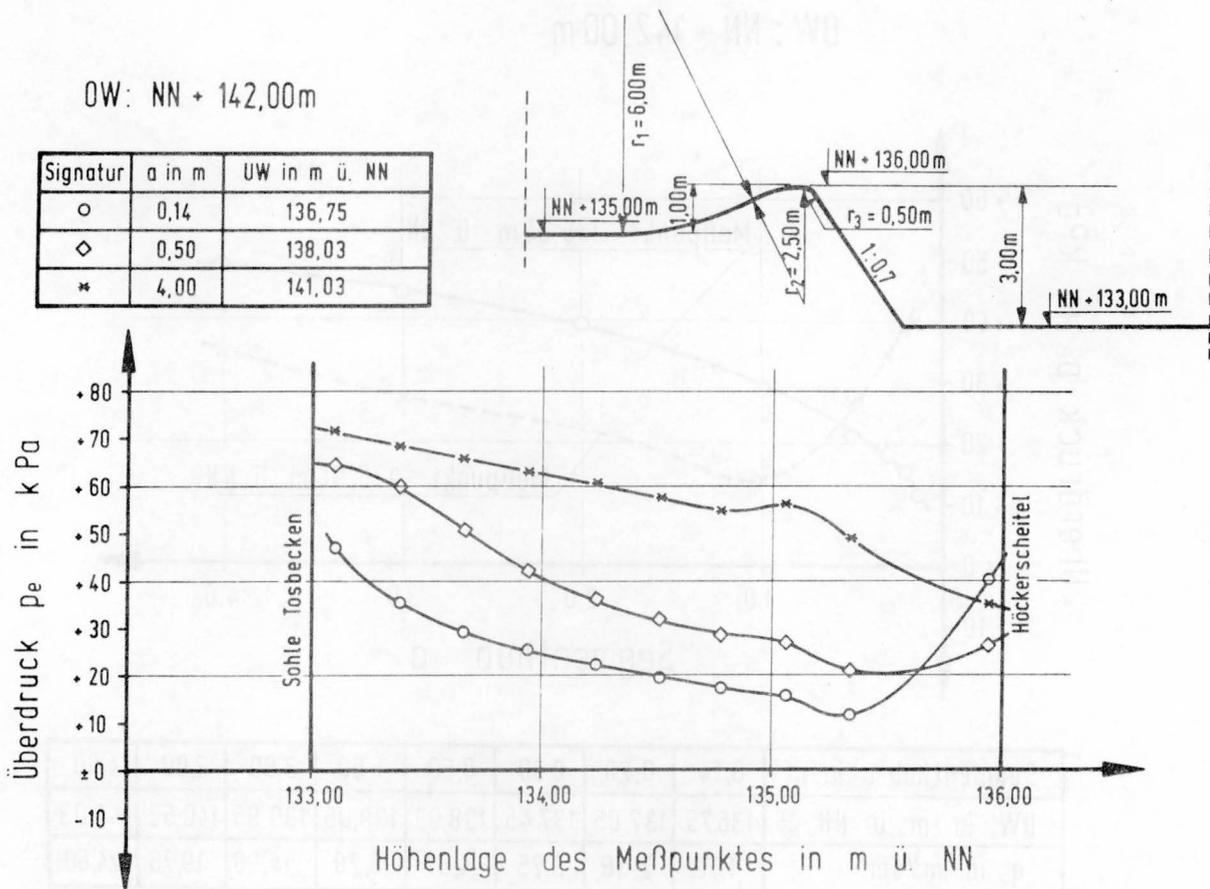


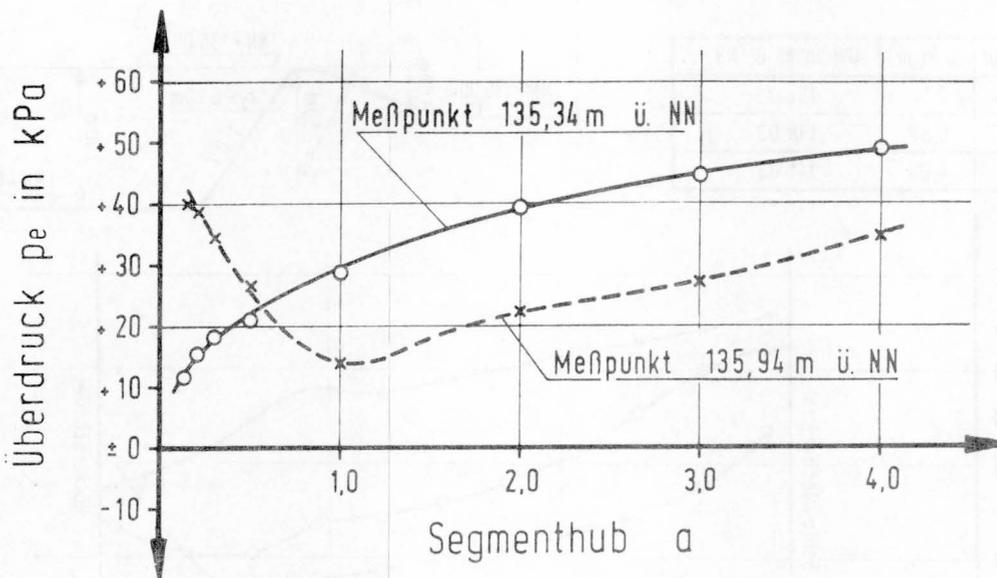
Abb. 13 Verteilung des Überdrucks über der Wehrschwelle bei verschiedenen Abfluß- und Betriebsbedingungen (Wehranlage Schoden)

Gehen wir nun auf die analogen Untersuchungen des Wehres Rehlingen über, so entdecken wir jetzt, daß beim kleinsten betrachteten Segmenthub ( $a = 0,15\text{ m}$ ) entlang einer gewissen Strecke des Höckerrückens ein negativer Überdruck auftritt, der mit Werten von  $- 0,6$  bis  $- 2,7\text{ kPa}$  jedoch so gering ist, daß wir praktisch von einem Restdruck Null sprechen dürfen (Abb. 15).

Wenn wir jetzt an den  $(n - 1)$  - Betriebsfall denken, von dem wir wissen, daß er eine Zunahme des negativen Überdrucks bringt, dürfen wir im direkten Vergleich mit den Versuchsergebnissen Wahnhausen/Fulda annehmen, daß dieser negative Überdruck trotzdem noch in Grenzen bleiben wird, die im Hinblick auf diesen seltenen und verhältnismäßig kurz anhaltenden Betriebsfall ohne

Sorgen hingenommen werden können. Wie schon bei Wahnhausen gezeigt, aber auch die systematischen Versuche mit verschiedenen Wehrschwelenformen für das Saarwehr Rehlingen ergeben haben, ist von flacher angeordneten oder anders geformten Höckerrücken eher eine Verschlechterung der Druckverhältnisse zu erwarten, wenn man nicht gerade an sehr flache Wehrschwelenneigungen denkt, die aber eine erhebliche Verteuerung des Wehrunterbaues bringen.

OW : NN + 142,00 m



Segmenthub a in m	0,14	0,20	0,30	0,50	1,00	2,00	3,00	4,00
UW in m ü. NN	136,75	137,05	137,45	138,03	139,05	139,95	140,52	141,03
q in m <sup>3</sup> /sm	1,79	2,38	3,25	4,97	9,29	14,90	19,70	24,60

Abb. 14 Abhängigkeit des Überdrucks von den Abfluß- und Betriebsbedingungen (Wehranlage Schoden)

Hinsichtlich der Verteilung des Überdrucks über den Höckerrücken und ihrer Zuordnung zu den durch den Segmenthub a angezeigten Abflußbedingungen stellen wir beim Wehr Rehlingen die gleichen Zusammenhänge wie beim Wehr Schoden fest. Abgesehen von einem Bereich kurz unterhalb des Höckerscheitels nehmen die Überdrücke mit dem Segmenthub (d.h. auch mit ansteigendem Unterwasser) wieder zu, wofür die am Meßpunkt NN + 167,81 m gemessenen Überdrücke als Beispiel genommen werden dürfen (Abb. 16).

Für die vorher ausgenommene Zone kurz unterhalb des Höckerscheitels, für die der Meßpunkt NN + 169,20 m repräsentativ sein kann, finden wir in der Abhängigkeit  $p_e = f(a)$  beim gleichen Segmenthub  $a = 1,0$  m das Minimum wieder, das wir schon beim Wehr

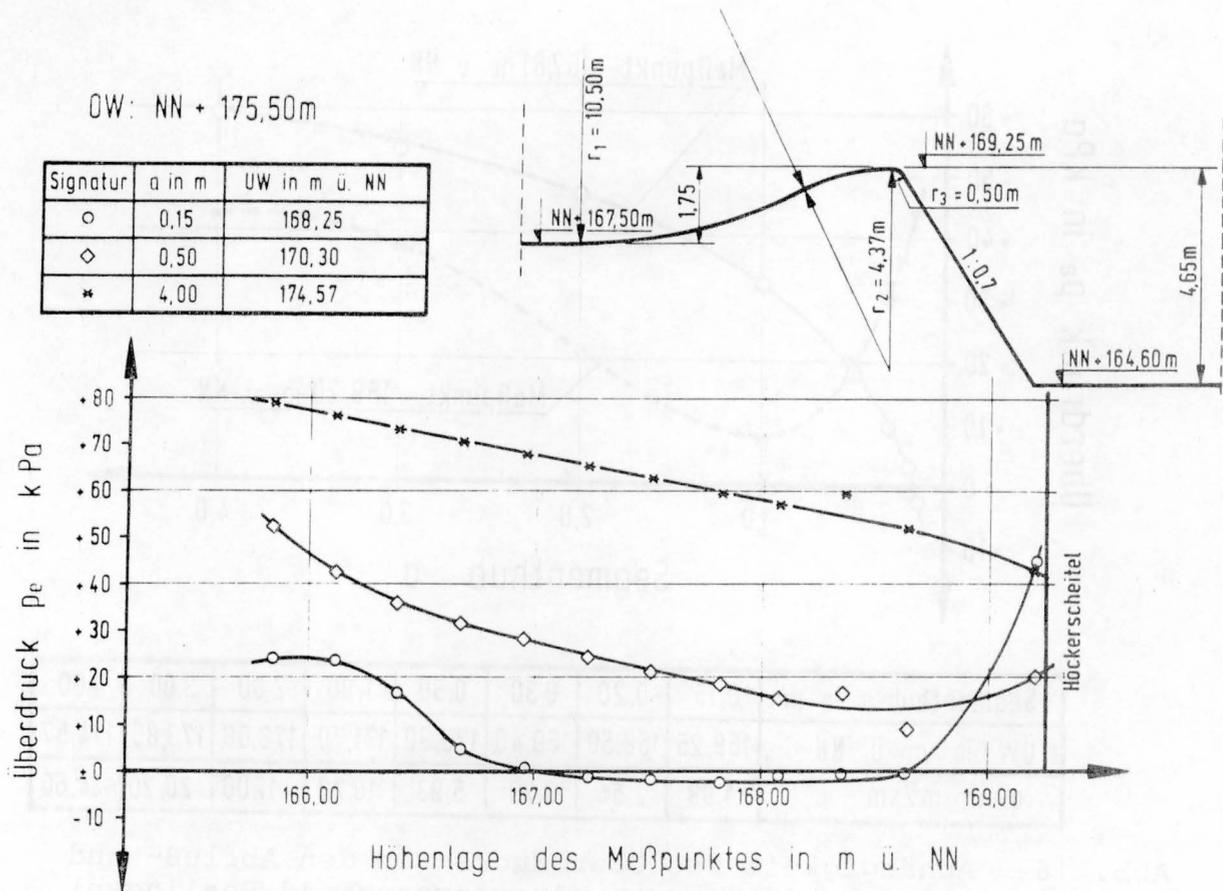


Abb. 15 Verteilung des Überdrucks über der Wehrschwelle bei verschiedenen Abfluß- und Betriebsbedingungen (Ausgangszustand Rehlingen)

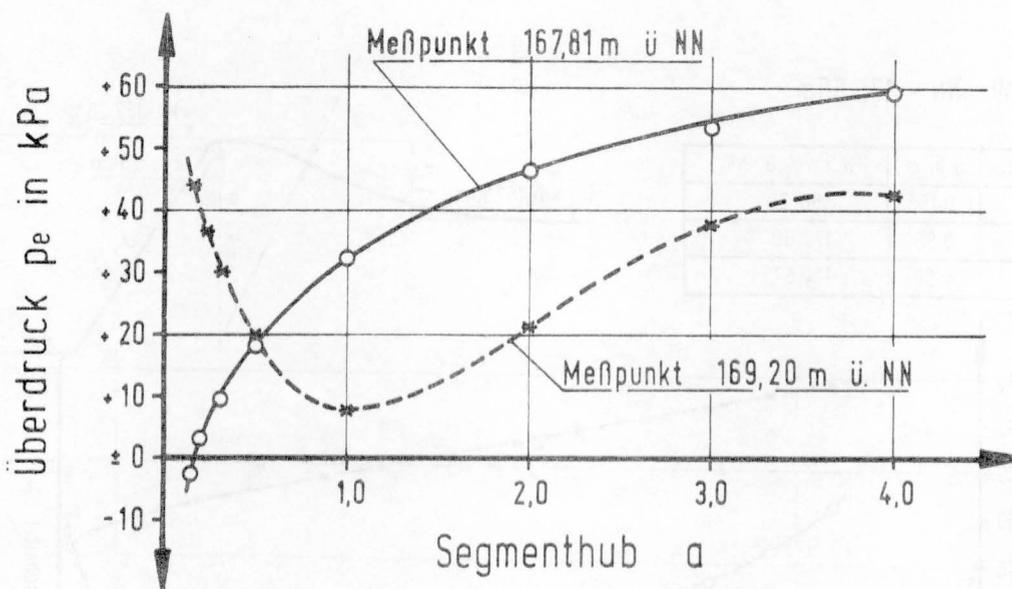
Schoden erkannt, dort jedoch nicht näher betrachtet haben. Beim erkennbaren Unterschied in der Höckerhöhe, der Stauhöhe und der Höhenlage des Unterwassers in Bezug zur Segmentschneide zwischen den beiden betrachteten Saarwehren dürfte damit die Lage des Minimums durch die Form und die Neigung des Höckerrückens in Verbindung mit der Stauwandneigung des Verschlusses bestimmt sein. Wie auch schon beim Wehr Schoden tritt der absolute kleinste Überdruck aber weiter unterhalb des Höckerscheitels auf.

Zum Schluß wollen wir gemeinsam für die Wehre Schoden und Rehlingen diesen kleinsten Überdruck dem uns schon bekannten dimensionsbehafteten Ausdruck

$$\frac{q}{a \left( 1 + \frac{t_u}{t_o} \right)} \quad \text{in m/s}$$

gegenüberstellen, der die Abflußbedingungen am Wehr sowie die Stellung des Segmentes erfaßt (Abb. 17).

OW : NN + 175,50 m



Segmenthub a in m	0,15	0,20	0,30	0,50	1,00	2,00	3,00	4,00
UW in m ü. NN	168,25	168,50	169,40	170,30	171,70	173,08	173,85	174,57
q in m <sup>3</sup> /sm	1,98	2,54	3,79	5,93	10,70	17,00	20,20	24,60

Abb. 16 Abhängigkeit des Überdrucks von den Abfluß- und Betriebsbedingungen (Ausgangszustand Rehlingen)

Wir erkennen, daß sich die kleinsten Überdrücke an den beiden Wehren dann zu unterscheiden beginnen, wenn der vorher angesprochene Ausdruck die Größe von 4,0 m/s überschreitet. Danach werden die Ergebnisse am Wehr Schoden im Vergleich immer günstiger, während die kleinsten Überdrücke am Wehr Rehlingen mit einem Wert sogar ein wenig in den negativen Bereich laufen, worauf schon früher hingewiesen worden ist. In diesem Unterschied zeigen sich die spezifischen Eigenheiten der beiden untersuchten Anlagen, die durch den dimensionsbehafteten Ausdruck auf der Abszisse nicht erfaßt werden können.

#### 4. Schlußbetrachtung

Für die neuen Zugsegmentwehre Wahnhausen/Fulda sowie an der Saar war die Frage nach den günstigsten Wehrschwellenneigungen gestellt, die unter dem Bestreben nach einem möglichst kurzen und bautechnisch einfachen Wehrunterbau noch ohne Strahlablösungen erreichbar sind. Unabhängig voneinander und in verschiedenen Maßstäben durchgeführte Modellversuche führten zu dem Ergebnis, daß in allen betrachteten Fällen eine 1:0,7 geneigte Wehrschwelle unter den gegebenen Umständen eine optimale Lösung ist, bei der allerdings beim (n - 1) - Betriebsfall ein geringfügiger negativer Überdruck nicht vermieden bzw. ausgeschlossen werden kann,

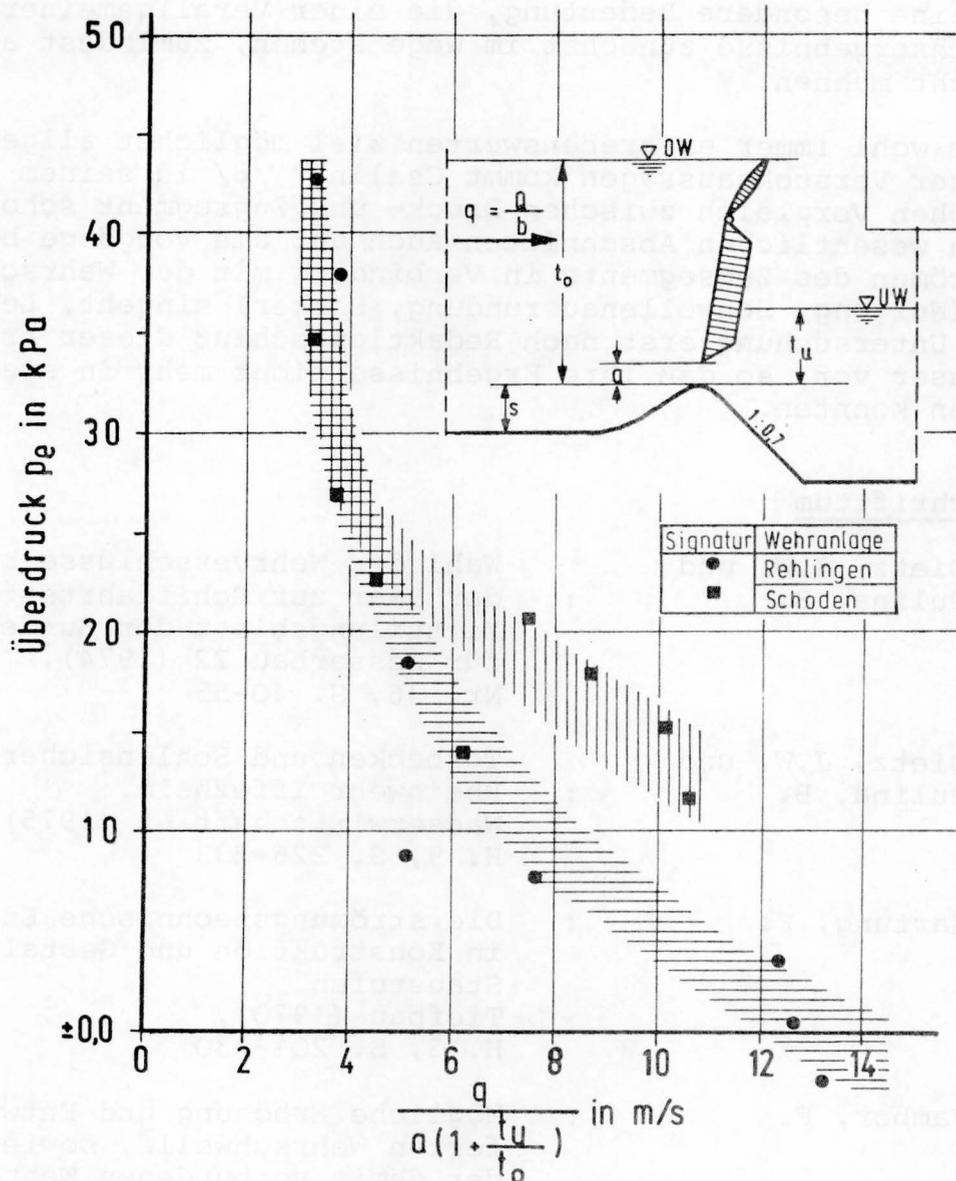


Abb. 17 Jeweils kleinster Überdruck über der 1:0,7 geneigten Wehrschwelle in Abhängigkeit von den Abfluß- und Betriebsbedingungen (Wehranlagen Schoden und Rehlingen)

wie speziell für den Untersuchungsfall Wahnhausen nachgewiesen werden konnte. Da eine derartige Erscheinung auch bei etwas flacheren Schwellenneigungen zu beobachten war, sollte sie im Hinblick auf die Seltenheit dieses Betriebsfalles in Verbindung mit den wirtschaftlichen Konsequenzen anderer Lösungen nicht überbewertet werden.

Die erzielten Ergebnisse sind selbstverständlich den speziellen Randbedingungen der untersuchten Wehre zugeordnet, von denen die Abmessungen des Verschlusses einschließlich der Stützarme und Drehlager, d.h. die Objektvariablen einerseits und die Betriebsvariablen andererseits zu nennen sind. Hiervon erlangen die Neigung der Stauwand samt Schneide und die Höhenlage des Unterwas-

sers eine besondere Bedeutung, die einer Verallgemeinerung der Versuchsergebnisse zunächst im Wege stehen, zumindest aber zur Vorsicht mahnen.

Diesem wohl immer erstrebenswerten Ziel möglichst allgemeingültiger Versuchsaussagen kommt Csallner /8/ in seinem systematischen Vergleich zwischen Druck- und Zugsegment schon näher, der in wesentlichen Abschnitten auch auf die Vorgänge beim Unterströmen des Zugsegments in Verbindung mit der Wehrschwellenform (Neigung, Schwellenausrundung, Höcker) eingeht. Leider lag diese Untersuchung erst nach Redaktionsschluß dieser Arbeit der Verfasser vor, so daß ihre Ergebnisse nicht mehr in sie einfließen konnten.

### 5. Schrifttum

- /1/ Dietz, J.W. und Pulina, B. : Wahl der Wehrverschlüsse beim Ausbau der Saar zur Schifffahrtsstraße. Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau 22 (1974), Nr. 36, S. 40-55
- /2/ Dietz, J.W. und Pulina, B. : Tosbecken und Sohlensicherung am Rheinwehr Iffezheim. Wasserwirtschaft 65 (1975), H. 9, S. 226-233
- /3/ Hartung, F. : Die strömungstechnische Entwicklung in Konstruktion und Gestaltung der Staustufen. Tiefbau (1970), H. 3, S. 201-230
- /4/ Jambor, F. : Mögliche Erhöhung und Entwicklung der festen Wehrschwelle, sowie Gestaltung der damit verbundenen Wehrkonstruktionen im besonderen des Sektorwehres. Die Bautechnik 36 (1959), H. 6, S. 221-228 und H. 8, S. 297-300
- /5/ Müller, W. : Über das Zugsegment als Verschuß im Stahlwasserbau. Die Wasserwirtschaft 57 (1967), H. 11, S. 385-392
- /6/ Murphy : Spillway Crest Design. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station Vicksburg (1975), Paper H-73-5
- /7/ Schirmer A. und Diersch, H.-J. : Untersuchungen zum hydraulischen Verhalten von festen rundkronigen Überfällen bei Überlastung. Wasserwirtschaft-Wassertechnik 26 (1976), H. 12, S. 405-412

- /8/ Csallner, K. : Strömungstechnische und konstruktive Kriterien für die Wahl zwischen Druck- und Zugsegment als Wehrverschluß. Bericht Nr. 37 aus der Versuchsanstalt für Wasserbau der TU München - Oskar von Miller Institut - (1978)

