

**PROCEEDINGS OF THE  
FOURTH INTERNATIONAL SYMPOSIUM  
ON FRESH WATER FROM THE SEA**

**HEIDELBERG, 9-14 SEPTEMBER 1973**

**REPRINT**

DER EINFLUSS GEOMETRISCHER PARAMETER AUF DEN DRUCKVERLUST UND DIE  
HYDRODYNAMISCHE STABILITÄT VON ÜBERSCHLEUSUNGSSTELLEN FÜR GROSSE MSF-ANLAGEN

F. MAYINGER, H. VOOS and J. ULRICH  
Technische Universität, Hannover, Germany BRD

ZUSAMMENFASSUNG

Für fünf verschiedene Formen von Überschleusungsstellen für große Entspannungsverdampfungsanlagen werden der Einfluß der geometrischen Parameter auf den Druckverlust sowie das Verhalten bei Nenn- und Teillast für einphasige Strömung untersucht. Es werden Hinweise für die Konstruktion solcher Überschleusungsstellen in Bezug auf Druckverlust, Teillastverhalten und hydrodynamische Stabilität gegeben.

EINLEITUNG

Der Weltbedarf an Trink- und Industrierwasser ist ständig im Steigen begriffen, und es wird versucht, zunehmend größere Anlageneinheiten zur Erzeugung von Süßwasser aus Meerwasser, insbesondere für das Entspannungsverdampfungsverfahren zu bauen. Hierfür müssen neue Formen von Überschleusungsstellen zwischen den Kammern entwickelt werden. Auf Anregung verschiedener Firmen wurden vor einiger Zeit am Institut für Verfahrenstechnik der T.U. Hannover hierzu Arbeiten aufgenommen. Sie werden durch den Minister für Forschung und Technologie der BRD gefördert und umfassen außerdem auch die Untersuchung des dynamischen Verhaltens der Gesamtanlage.

Bei der Entwicklung neuer Überschleusungsstellen für große Soleströme muß z.B. eine einfache und billige Fertigung, die Möglichkeit der exakten Vorausberechnung des Druckabfalls zwischen den Kammern, insbesondere in den Vakuumstufen, und das Teillastverhalten berücksichtigt werden.

Die Strömungsverhältnisse in der Überschleusungsstelle sind schwierig zu erfassen, da u.a. der Ausdampfbeginn wenig geklärt ist und von der Blendenform abhängt. Um klare Randbedingungen für Untersuchungen über den Einfluß der geometrischen Kenngröße bei Nenn- und Teillast zu schaffen, wurden deshalb erste Messungen, über die hier berichtet wird, mit einphasigem Fluid durchgeführt. In einem zweiten Schritt werden zur Zeit die Ausdampfvorgänge bei einfachen Überschleusungsformen untersucht.

VERSUCHSAPPARATUR

Die Versuche wurden mit kaltem Süßwasser in einem rechteckigen Zweikammersystem aus Plexiglas durchgeführt. In Bild 1 ist die Anlage schematisch dargestellt.

Durch die Pumpe (1) wird das Wasser über die Zulaufleitung (2) und eine Mengenmeßstelle (3) in die Kammern (4) gepumpt und fließt dort nach Strömungsgleichrichtern durch die aus Blende (7) und Wehr (8) gebildete Überschleusungsstelle. Hierbei sind als zu untersuchende

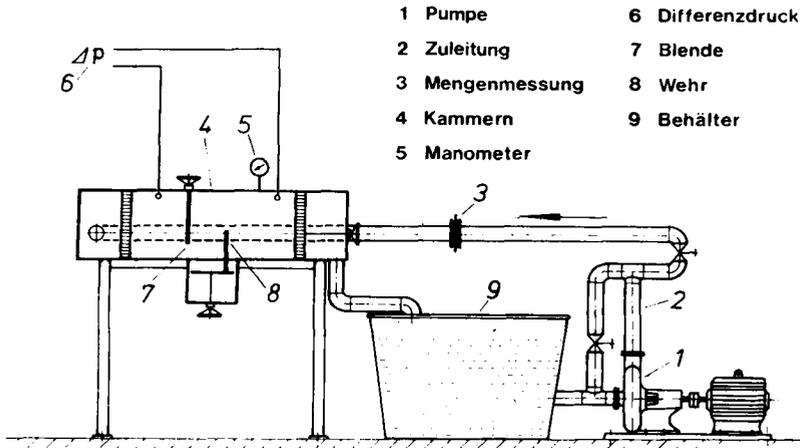


Bild 1

Einflußgrößen die Blendenhöhe  $H_B$ , die Wehrröhe  $H_W$  sowie der Abstand  $A_{BW}$  zwischen Blende und Wehr unabhängig voneinander zu verändern. Das Wasser fließt dann in den Vorratsbehälter (9) zurück. Der Absolutdruck (5) in den Kammern ebenso wie der Differenzdruck (6) werden gemessen. Die Untersuchungen wurden für fünf verschiedene Überschleusungsstellen durchgeführt. Diese sind in Bild 2 dargestellt. Bei der Form I handelt es sich um eine einfache Kombination aus einer Blende veränderlicher Höhe und einem verfahrenbaren und in der Höhe verstellbaren Wehr. Die Beobachtungen mit dieser Kombination ergaben, daß infolge der durch das Wehr bewirkten Änderung der Strömungsrichtung bei großen Geschwindigkeiten das Fluid gegen die Decke der Meßkammer gelenkt wurde. Deshalb wurde die Form II entwickelt, die zusätzlich eine waagerechte Prallplatte enthält. Die Formen III und V der Überschleusungsstellen beruhen auf Anregungen von Firmen, während Form IV mit seiner drehbar gelagerten waagerechten Platte der Literatur (1) entnommen ist.

Bei Form V handelt es sich um eine Kombination aus zwei Blenden. Hier wurde der Abstand zwischen Blende und Wehr konstant gehalten und entsprach der waagerechten Entfernung zwischen Spitze des Prallblechs und Blende.

Neben den erwähnten geometrischen Parametern konnte in den Kammern jeder beliebige Wasserstand eingestellt und der Volumenstrom in einem weiten Bereich verändert werden.

#### ERGEBNISSE DER DRUCKVERLUSTMESSUNGEN

Der am Differenzdruckmanometer gemessene Druckabfall setzt sich zusammen aus

$$\Delta p_{\text{ges}} = \Delta p_{\text{verl}} + \Delta p_{\text{stat}}$$

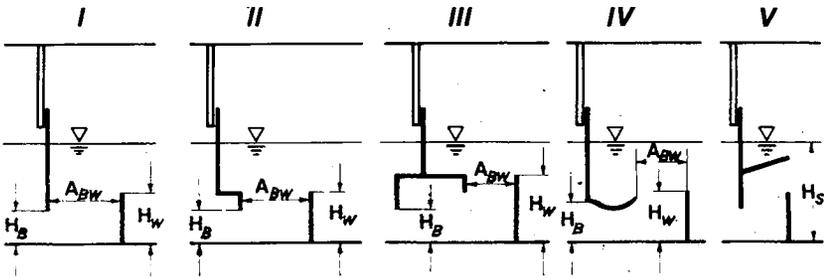


Bild 2

Regelt man den Wasserstand in allen Kammern auf gleiche Höhe ein, so sind bei der vorliegenden Versuchsausführung die mittleren Geschwindigkeiten vor der Blende und hinter dem Wehr in zwei aufeinander folgenden Kammern gleich und die gemessene Gesamtdruckdifferenz  $\Delta P_{ges}$  ist gleich dem Druckverlust  $\Delta P_{verl}$ . Die Druckverluste beruhen zum größten Teil auf nicht voll rückgewinnbaren Impulsänderungen und zu einem geringeren Anteil aus Reibung. Es wird ein Widerstandsbeiwert  $\zeta$  der Schleuse definiert mit

$$\zeta = \frac{2 \Delta P_{verl}}{g w^2}$$

Dabei ist  $w$  die Geschwindigkeit in der Blende, die aus dem Volumen und der Blendenfläche berechnet wird

$$w = \frac{\dot{V}}{F} = \frac{\dot{V}}{H_B \cdot B} \quad B \rightarrow \text{Kammerbreite}$$

In Bild 3 ist der Widerstandsbeiwert  $\zeta$  über dem Quotienten aus Blendenhöhe  $H_B$  und Wasserstand  $H_S$  (für  $H_B = H_S$  wird  $\zeta = 0$ ) aufgetragen.

Die übrigen Parameter wie die reduzierten Werte von Wehrabstand und  $A_{BW}/L$ , Wehrhöhe  $H_W/H_S$  und die Reynoldszahl waren für alle Formen konstant und gleich. Man erkennt, daß  $\zeta$  für die Formen I, III und IV in erster Näherung unabhängig von  $H_B/H_S$  ist. Bei der Form II traten bei großen Blendenöffnungen unter der waagerechten Prall-

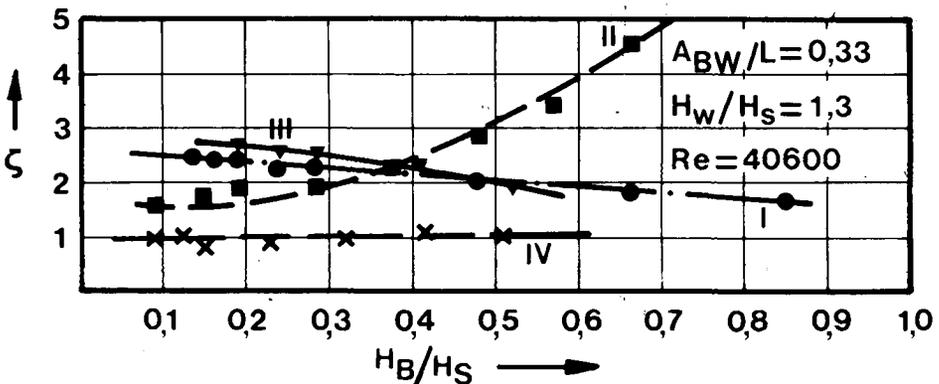


Bild 3

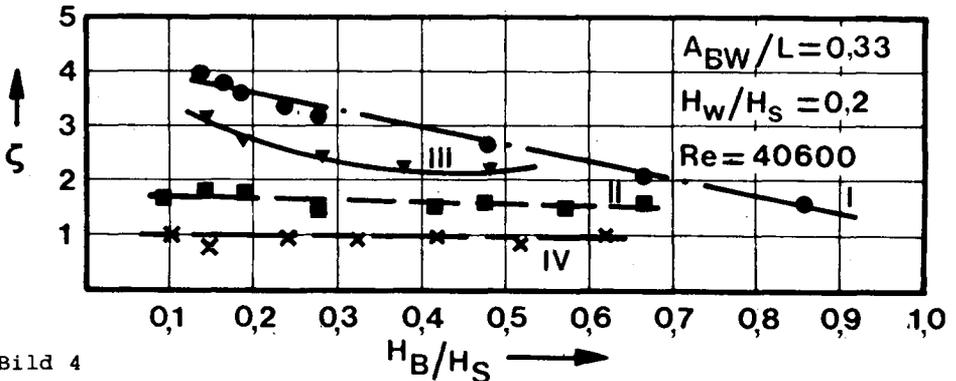


Bild 4

platte Wirbelbildungen auf, die den freien Strömungsquerschnitt einengen. Daraus erklärt sich das Abnehmen des Druckverlustbeiwertes mit kleiner werdender Blendenöffnung. Die Ausbildung dieser Wirbel wird zusätzlich von der Wehrhöhe beeinflusst. Mit abnehmender Blendenhöhe wurden diese Wirbel kleiner und verschwanden schließlich. Bei Form IV ist das waagerechte Prallblech beweglich gelagert und verstellt sich je nach Blendenhöhe und dem daraus resultierenden Staudruck. Dadurch ergibt sich der gezeigte konstante Verlauf des Widerstandsbeiwertes. In Bild 4 ist nochmals der Widerstandsbeiwert über  $H_B/H_S$  aufgetragen. Gegenüber Bild 3 wurde nur das Verhältnis  $H_W/H_S$  verändert. Ein Vergleich der Meßwerte zeigt, daß die Wehrhöhe den Druckverlustbeiwert nur wenig beeinflusst. Für die Form II zeigt sich jetzt kein Ansteigen des Druckverlustbeiwertes mit zunehmender Blendenhöhe mehr. Dies ist, wie bereits oben erläutert, damit zu erklären, daß durch die geringere Wehrhöhe die Wirbelbildung unter der Prallplatte ausblieb.

Es konnte beobachtet werden, daß bereits geringste Wehrhöhen ausreichen, um die Strömung umzulenken und somit auch untere Strömungsschichten an die Oberfläche zu führen. Die Wehrhöhe beeinflusst lediglich die statische Druckänderung, was in den Vakuumstufen bei geringen Druckunterschieden von Bedeutung ist.

In Bild 5 sind die Widerstandsbeiwerte in Abhängigkeit vom Abstand zwischen Blende und Wehr aufgetragen. Hierbei ergeben sich für verschiedene Blendenhöhen unterschiedliche Aussagen. Während aber für große Blendenhöhen der Widerstandsbeiwert linear stark zunimmt, ist für kleine Blendenhöhen ein Minimum zu beobachten.

Betrachten wir zunächst die Kurve für kleine Blendenöffnungen ( $H_B/H_S = 0,143$ ), bei der  $\zeta$  unterhalb des Umschlagpunktes abnimmt. Hier bildet sich zwischen Blende und Wehr, wie in Bild 6 skizziert, ein Wirbel aus Wasser und Luft. Das Wasser strömt in dem engen Spalt a zwischen Wirbel und Wehr mit hoher Geschwindigkeit. Die Spaltbreite beträgt etwa das doppelte der Blendenhöhe. Unterhalb des kritischen Abstandes zwischen Blende und Wehr verschwindet plötzlich der Wirbel, und die Druckverluste nehmen zunächst ab, da nunmehr ein breiterer Querschnitt für die Strömung zur Verfügung steht und auch die Impulsverluste am Rande des Totwassergebietes entfallen. Wird der Abstand zwischen Blende und Wehr verkleinert, bildet sich ein enger Strömungskanal mit hohen Verlusten, wodurch der Widerstandsbeiwert sehr stark ansteigt.

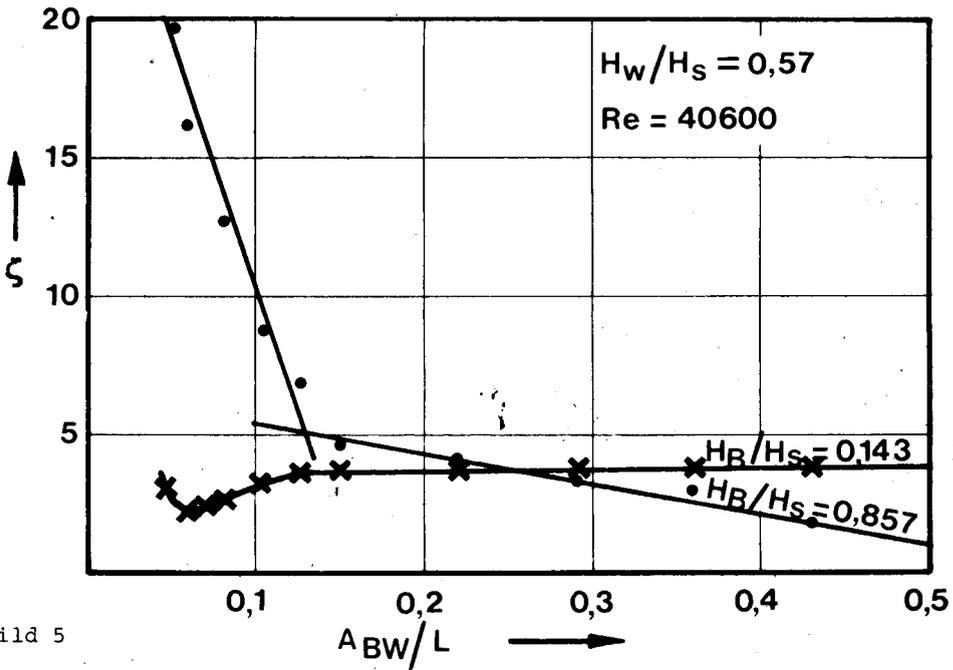


Bild 5

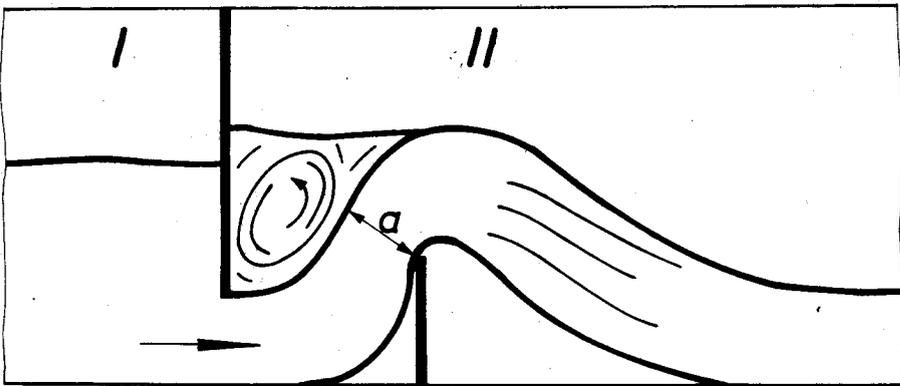


Bild 6

Unterschreitet man bei großen Blendenöffnungen einen kritischen Wert des reduzierten Wehrabstandes  $A_{BW}/L$ , so tritt eine heftige Wirbelbildung auf, die zu einer starken Zunahme des Widerstandsbeiwertes führt. Daraus folgt, daß man bei der Konstruktion von Überschleungsstellen darauf achten muß, einen Mindestabstand zwischen Blende und Wehr einzuhalten, da unterhalb dieser Grenze Herstellungsungenauigkeiten den Druckverlust erheblich beeinflussen.

In Bild 7 ist schließlich für die Überschleungsform V, die, wie Bild 2 zeigte, aus zwei Blenden besteht, der Widerstandsbeiwert über der Blendenöffnung aufgetragen. Bei kleinen Wehrhöhen ist das Ergeb-

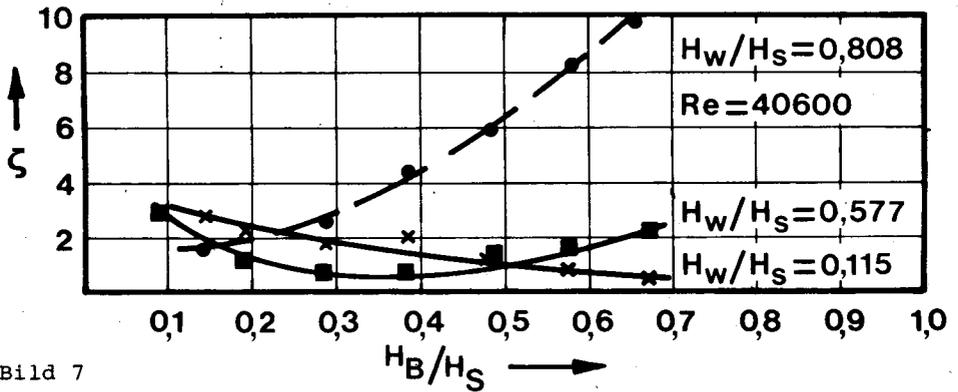


Bild 7

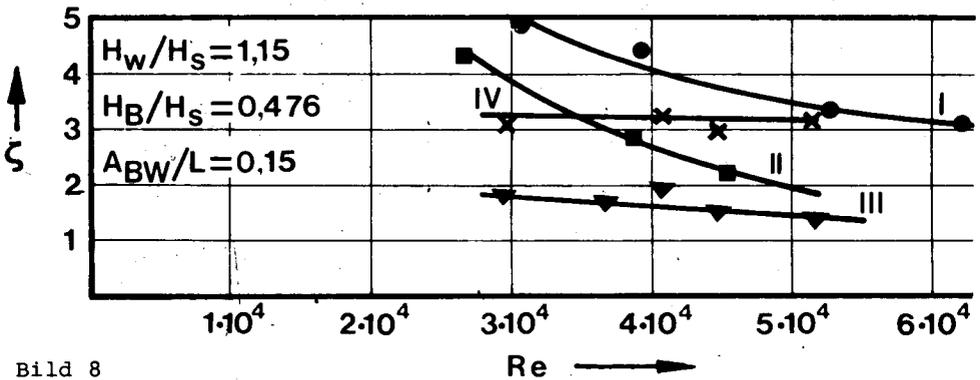


Bild 8

nis ähnlich dem in Bild 3 für Form I aufgezeichneten Verhalten. Bei kleineren Abständen zwischen Wehr und Prallblech bilden sich mit zunehmender Wehrhöhe immer ausgeprägtere Wirbel in der Schleuse aus, die ähnlich wie bei Form II durch Einengung des Strömungsquerschnittes zu einem Ansteigen des Druckverlustbeiwertes mit zunehmender Blendenhöhe führen.

Die bisher dargestellten Ergebnisse waren alle für konstante Reynolds-Zahlen aufgetragen. Bei den Untersuchungen über den Einfluß des Wehrabstandes, bei denen die Blendenöffnung nicht geändert wurde, wurde damit auch der Volumenstrom des Fluids konstant gehalten. In der Praxis wird eine Zunahme des Druckverlustbeiwertes im Teillastgebiet, d.h. mit abnehmender Reynolds-Zahl angestrebt, da der Druckverlust auch für kleine Volumenströme unverändert bleiben soll.

In Bild 8 ist der Druckverlustbeiwert  $\zeta$  über dem Volumenstrom  $\dot{V}$  bzw. der Reynolds-Zahl aufgetragen. Wie die Ergebnisse zeigen, ist mit den Schleusenformen I und II diese Zunahme des Druckverlustbeiwertes in einem gewissen Grade zu erreichen. Bei diesen Formen entsteht der Druckverlust nicht nur aus reiner irreversibler Impulsänderung, sondern zusätzlich noch durch Verwirbelung von Flüssigkeit und Gas bzw. Dampf, und es ergibt sich dadurch die gewünschte Abhängigkeit von der Reynoldszahl.

## HYDRODYNAMISCHE INSTABILITÄTEN

Bei bestimmten geometrischen Abmessungen von Blende und Wehr der Überschleusungsform I wurden Strömungsinstabilitäten beobachtet. Bei den bisher diskutierten Ergebnissen wurden diese Bereiche des instabilen Verhaltens ausgespart, und es wurde deshalb eine gesonderte Meßreihe durchgeführt, die das Ziel hatte, festzustellen, welche geometrischen Grenzbedingungen für das Auftreten von Schwingungen bzw. Pulsationen verantwortlich sind. In der Regel bildeten sich starke Oberflächenwellen teilweise mit heftiger Schwallbildung in Längsrichtung der Kammer aus. Diese Instabilitäten entstehen dadurch, daß sich periodisch zwei gegenläufige Wirbel, wie in Bild 9 skizziert, aus einem Wasser-Luft-Gemisch ausbilden, von denen der eine zwischen Blende und Wehr und der andere sich hinter dem Wehr befindet. Zwischen diesen beiden Wirbeln muß das aus der Blende kommende Wasser durchtreten, was zur Schwallbildung führt. Die beiden Wirbel stehen mit und über dem Wasserstrahl im Impuls- und Energieaustausch und kleine Störungen, die immer vorhanden sind, führen zur Zu- und Abnahme des einen oder anderen Wirbelgebietes. In der Regel wächst dabei das Wirbelgebiet zwischen Blende und Wehr, was zu einer Abnahme der Wirbelintensität führt, das Wirbelgebiet füllt sich schließlich mit nahezu ruhendem Fluid auf, bis wieder eine neue Wirbelbildung einsetzt.

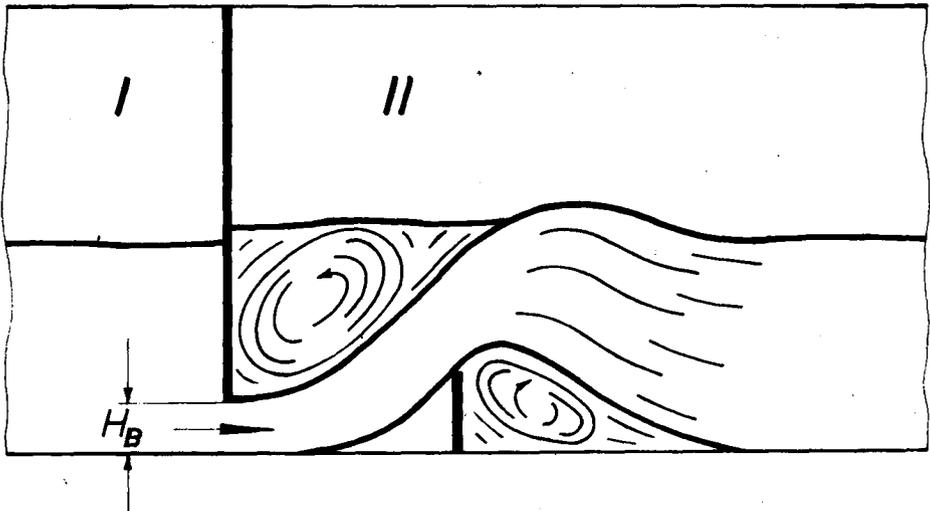


Bild 9

Die Messungen ergaben eine starke Abhängigkeit dieser Instabilitäten vom Volumenstrom und von der Blendenhöhe. Für kleine Blendenhöhen gibt es nur wenige spezielle geometrische Zuordnungen, d.h. bei großen Wehrentfernungen, für die diese Instabilitäten nicht auftreten. Vermeiden lassen sich diese hydrodynamischen Instabilitäten im gewissen Maße dadurch, daß der Wasserstand in der Kammer unter die Oberkante des Wehres gesenkt wird, diese Maßnahme ist leicht einzusehen, da sich dann der oben beschriebene zweite Wirbel nicht aus-

bilden kann und der Wasserstrahl frei über das Wehr fällt. Diese Absenkung des Wasserspiegels ist jedoch nur begrenzt möglich, da sonst die Gefahr besteht, daß die nächste Blendenöffnung nicht mehr genügend mit Wasser bedeckt ist und so ein Überreißen von Dampf bzw. Gas entsteht, was zum Druckausgleich zwischen den Kammern führt.

#### ZUSAMMENFASSUNG UND WEITERE ARBEITEN

Aus den bisher durchgeführten Messungen lassen sich folgende Ergebnisse zusammenfassen:

1. Da der Widerstandsbeiwert bei konstanter Reynolds-Zahl durch die Blendenhöhe nur wenig beeinflusst wird, andererseits aber diese das Auftreten von Instabilitäten entscheidend beeinflusst, sollte das Verhältnis  $H_D/H_C$  nicht kleiner als 0,3 gewählt werden.
2. Der Abstand zwischen Blende und Wehr sollte oberhalb eines kritischen Wertes liegen, da sonst der Druckverlustbeiwert eine starke Abhängigkeit von diesen geometrischen Parametern zeigt.
3. Die Wehrhöhe hat in weiten Bereichen keinen Einfluß auf den Druckverlust, für die gewünschte Strömungsführung ist eine kleine Wehrhöhe ausreichend.
4. Bei der Schleusenform I empfiehlt es sich unter Umständen zur Vermeidung von Instabilitäten, den Wasserstand hinter dem Wehr kleiner als die Wehrhöhe zu halten, wobei aber darauf zu achten ist, daß die Überdeckung der nächsten Blende genügend groß bleibt.

Zur Zeit werden für die Überschleusungsform V Ausdampfvorgänge in der Schleuse untersucht. Hierbei werden neben der reinen Ausdampfung auch die Abhängigkeit des Druckverlustes vom Dampfgehalt untersucht. Die Arbeiten werden dann an einer halbertechnischen Anlage fortgeführt, wobei diese den Einbau unterschiedlicher Überschleusungsstellen gestattet, die unter idealen An- und Abströmverhältnissen bei zweiphasiger Strömung getestet werden sollen. Parallel hierzu laufen Untersuchungen des dynamischen Verhaltens einer Gesamtanlage, wobei hier insbesondere die Rückwirkungen von Störungen in der Einzelstufe auf das Gesamtverhalten ebenso wie das Übergangsverhalten bei Laständerungen untersucht werden sollen.

#### Literatur

1. R. Philip Hammond, A new type of flash evaporator for seawater distillation, Ghem Tech, Dezember 1971 (754 / 757)

#### THE INFLUENCE OF GEOMETRIC PARAMETERS ON THE PRESSURE DROP AND HYDRO-DYNAMIC STABILITY OF ORIFICES FOR LARGE MSF-PLANTS

Only a few publications are known for the calculation of the pressure drop in combinations of orifices and weirs for large MSF-plants. Because of the low level of absolute pressure in the last stages of the plant the calculation of the pressure drop must be rather exactly. With cold pure water as fluid the pressure drop of the different combinations of orifices and the weirs has been explored in depen-

dance of the distances between orifice and weir, the height of the weir, the free height of the orifice and the mass flow rate

The whole pressure drop is caused by the acceleration on the orifice, the flow over the weir, and the turbulence and the vortices in the space between orifice and weir. The pressure drop between orifice and weir is mainly caused by the carrying under of air and by the two-phase turbulence. In reducing the distance between orifice and weir to a certain point the pressure drop coefficient remains nearly constant. By passing this point the air-water mixture disappears and the pressure drop coefficient decreases. In reducing the distance still more this pressure drop is increasing again because of the resistance of the very small channel.

For different free heights of the orifice the pressure drop coefficient rests rather constant.

During the measurements hydrodynamic instabilities were observed. Oscillations were caused by water-air mixtures rolling between orifice and weir and behind the weir. For different mass flow rates the geometric conditions (free height of orifice, weir and water level) for the instabilities were explored. The measurements show that the range of instabilities is strongly dependant of the free height of the orifice.

#### L'INFLUENCE DES PARAMETRES GEOMETRIQUES SUR LA PERTE DE PRESSION ET LA STABILITE HYDRODYNAMIQUE DES ORIFICES DES GRANDES INSTALLATIONS MSF

Il y a seulement quelques publications connues sur la calculation de la perte de pression des combinaisons des orifices et barrages pour des grandes installations MSF. A cause du bas niveau de la pression absolue dans les dernières chambres de l'installation la calculation de la pression doit être assez exacte. Avec de l'eau pure et froide comme fluide la perte de pression des combinaisons de différents orifices rectangulaires et des barrages ont été exploré en fonction de la distance entre l'orifice et le barrage, l'hauteur du barrage, l'hauteur libre de l'orifice, le flux de masse et le niveau de l'eau. Toute la perte de pression est provoqué par l'accélération sur l'orifice, le flux au-dessus du barrage, et la turbulence et le tourbillon dans l'espace entre l'orifice et le barrage est surtout provoqué par le tourbillons du mélange de l'eau et de l'air et par la turbulence deux-phasique. En réduisant la distance entre l'orifice et le barrage à un certain degré le coefficient de perte de pression reste à peu près constant. Ayant passé ce point le mélange eau-air disparaît et le coefficient de perte de pression diminue. En réduisant la distance encore plus ce coefficient va grandir encore, à cause de la résistance du canal étroit.

Pour différents hauteurs libres d'orifice le coefficient de perte de pression reste presque constant. L'influence de l'hauteur du barrage sur la perte de pression rest négligible.

Pendant les mesures hydrodynamiques des instabilités ont été observé. Des oscillations étaient provoquées par des mélanges eau-air roulant entre l'orifice et le barrage et derrière le barrage. Pour des flux de masse différents les conditions géométriques (l'hauteur libre de l'orifice, barrage et niveau de l'eau) pour les instabilités ont été exploré des mesures montrent que l'échelle des instabilités dépend extrêmement sur l'hauteur libre de l'orifice.

## SALINE WATER CONVERSION BIBLIOGRAPHY

Volume 1.	Antiquity-1940	U.S. DOLL.	8.-
Volume 2.	1941 - 1950	»	7.-
Volume 3.	1951 - 1954	»	8.-
Volume 4.	1955 - 1956	»	7.-
Volume 5.	1957 - 1958	»	8.-
Volume 6.	1959 - 1960	»	8.-
Volume 7.	1961 - 1962	»	8.-
Volume 8.	1963 - 1964	»	10.-
Volume 9.	1965 - 1966	»	12.-
Volume 10.	1967 - 1968		In preparation

---

## WATER DESALTING ABSTRACTS

Abstracts of publications and patents starting 1969

Volume 1	(1970)	1745 references	U.S. DOLL.	30.-
Volume 2	(1971)	1525 references	»	30.-
Volume 3	(1972)	2192 references	»	30.-
Volume 4	(1973)	Europe Surface Mail	»	40.-
		Overseas Air Mail	»	50.-

---

## PROCEEDINGS OF THE THIRD INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FRESH WATER FROM THE SEA

Dubrovnik, September 1970

4 Volumes D. M. 100.-

---

## PROCEEDINGS OF THE FOURTH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FRESH WATER FROM THE SEA

Heidelberg, September 1973

4 Volumes D. M. 250.-

---

A. DELYANNIS and E. DELYANNIS, Editors  
TSALDARI ST. 34, ATHENS - AMAROUSSION, GREECE.