

# Selbsttätige Klappschütze zur Wasserstandsregulierung

Autor(en): **Raemy, Félix**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria**

Band (Jahr): **90 (1998)**

Heft 5-6

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-939393>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Selbsttätige Klappschütze zur Wasserstandsregulierung

Félix Raemy

## Zusammenfassung

Eine neu konzipierte, selbstregulierende Klappschütze wird präsentiert. Mittels eines einstellbaren Gegengewichtes gewährt diese Anordnung einen konstanten Oberwasserspiegel bei freiem Ausfluss. Anhand von Laborversuchen ist die hydrodynamische Druckverteilung auf der Klappe bestimmt worden. Durch die Anwendung der Momentengleichung lassen sich optimale Bemessungskriterien definieren. Die Klappschütze verhält sich sehr stabil und ist frei von Vibrationen. Sie eignet sich besonders für kleine Durchflüsse in Bewässerungs- und Abwasserkanälen.

**Résumé:** Vanne plane pivotante, autorégulatrice du niveau d'eau dans un canal

Une nouvelle vanne permettant, à écoulement dénoyé, de maintenir constant le plan d'eau amont dans un canal en cas de variation du débit est présentée. Equipée d'un contrepoids dont la position est ajustable, celle-ci assure un contrôle purement hydraulique ne nécessitant aucun autre mécanisme de régulation. La répartition de la pression hydrodynamique agissant sur la vanne a été déterminée par des essais en laboratoire. A l'aide de l'équation des moments, des critères pour le dimensionnement optimal de l'installation ont été obtenus. La vanne plane pivotante est stable et exempte de vibrations. Son utilisation est particulièrement indiquée pour des débits relativement faibles, comme c'est le cas dans les canaux d'irrigation et les canaux d'évacuation des eaux usées.

**Summary:** Hinged flap gate for hydraulic level control in channels

The hinged flap gate, as a novel device, is introduced. This gate is able to assure a constant upstream water elevation for free gate flow in a channel under variable discharge. A suitably positioned counterweight allows a purely hydraulic control of the gate. Based on laboratory investigations, the distribution of the hydrodynamic pressures on hinged gates is determined. Parameters for the optimal design of the device are deduced from the equation of moments. The hinged flap gate is free of instabilities and not prone to vibrations. Its application is adequate for the control of relatively small discharges in irrigation channels and sewers.

## Einleitung

Zur Erreichung einer vorübergehenden Retention kann das Wasser in Bewässerungs- und Abwasserkanälen aufgestaut oder gespeichert werden. Wegen begrenzter Freibordreserve sollte dabei eine maximale Stauhöhe nicht überschritten werden. Seit Jahrzehnten sind zahlreiche selbstregulierende Schützen entwickelt worden, die einen konstanten Wasserspiegel bei variablem Durchfluss im Kanal ermöglichen. Leider haben sich viele dieser Einrichtungen infolge von hydrodynamischen Instabilitäten, mangelnder Betriebsgenauigkeit und Störungsanfälligkeit nicht bewährt. Als verbreitetes und bekanntes Reguliersystem sei immerhin die Neyrpic-Schütze erwähnt (Davidson 1951, Young 1953, FAO 1975). Es handelt sich um eine radiale Schütze, die mit einem Schwimmer und einem Gegengewicht ausgerüstet ist. Sie eignet sich besonders für mittlere Durchflüsse.

Die hier beschriebene Klappschütze ist an der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW)

der ETH Zürich entwickelt worden. Sie beruht auf früheren Anregungen von Pethick und Harrison (1981) respektive von Kay und Ashton (1983). Zur Regulierung des Oberwasserstandes wird die Wirkung eines nichtsenkrecht auf die Schützebene befestigten Gegengewichtes benutzt. Diese neue Anordnung wird mit Hilfe der Momentengleichung unter Berücksichtigung der gemessenen hydrodynamischen Druckverteilung auf der Schützentafel bemessen. Ihr Verhalten hat sich für alle Durchflüsse bis zum Bemessungsdurchfluss als einwandfrei erwiesen. Für den bei dieser Studie untersuchten Fall eines freien Ausflusses ist die Klappschütze hydrodynamisch stabil und bleibt stets vibrationsfrei; der vorgeschriebene Oberwasserstand wird mit guter Genauigkeit konstant gehalten.

## Laboruntersuchungen

Die Funktionstüchtigkeit der bemessenen Klappschütze ist in einem 7 m langen, 0,50 m breiten und 0,70 m hohen, rechteckigen Kanal überprüft worden. Alle Versuche sind im turbulenten, glatten Strömungsbereich durchgeführt worden. Gleichrichter und Filterelemente dienen zur Beruhigung des Zuflusses am Rinneneinlauf, so dass Oberflächenwellen vollständig unterdrückt werden. Der maximale Durchfluss (Q) beträgt 100 l/s. Bis 20 l/s ist die Durchflusskontrolle mit einem am Rinnende eingebauten Thompson-Überfall realisiert worden, über 20 l/s mit einem induktiven Durchflussmesser in der Zuleitung. Die Messgenauigkeit liegt bei ca.  $\pm 1,5\%$ .

Die Klappe ist 0,415 m lang und 0,499 m breit (Bild 1). Sie ist an einer unmitelbar unter ihrer Oberkante sich befindenden Drehachse so aufgehängt, dass sie ohne Durchfluss vertikal steht. Die Wasserundurchlässigkeit zwischen der Schütze und den Seitenwänden wird mit doppelseitig angebrachten Anpressdichtungen vollständig reibungsfrei gewährleistet. Die obere und untere Schützenkante sind standardgemäss ausgebildet. Zwecks Einstellung des er-

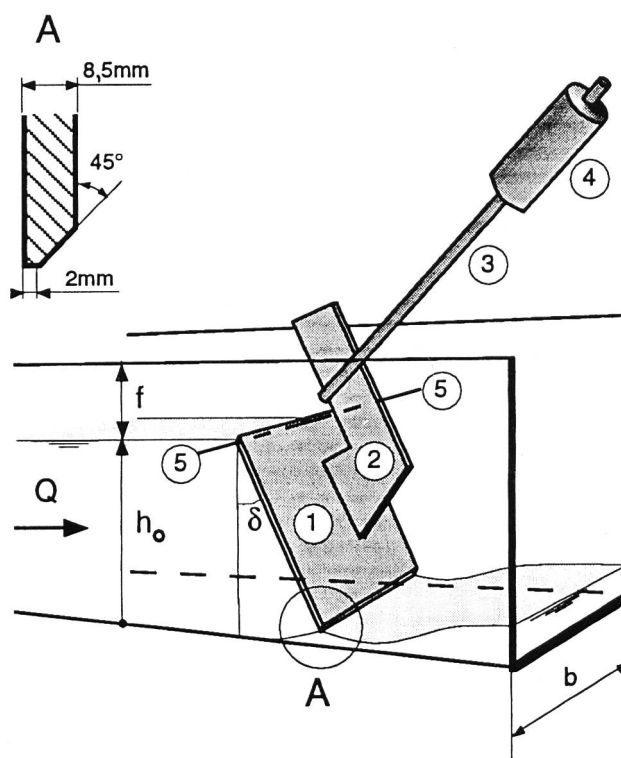


Bild 1. Schematische Darstellung der selbsttätigen Klappschütze mit 1 Schützentafel, 2 Aufhängevorrichtung, 3 Halterungsstange, 4 Gegengewicht, 5 Drehachse, f: Freibord.

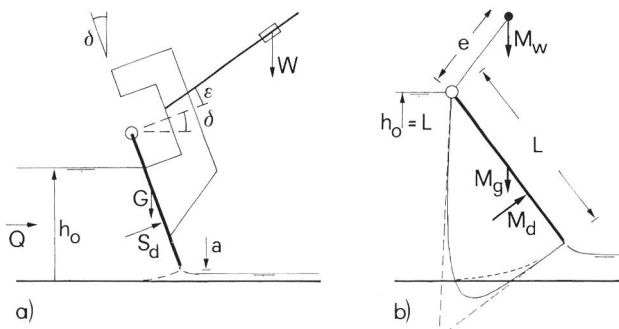


Bild 2. Selbsttätige Klappschütze: Definition a) der variablen Größen, b) der Momente.

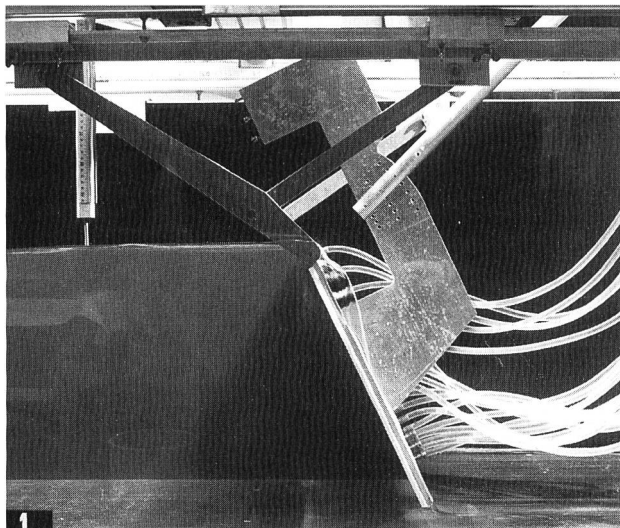


Bild 3. Druckmessstellen an der Klappe ( $Q=37,1$  l/s;  $\delta=26,1^\circ$ ).

forderlichen Rückhaltemomentes (für  $Q=0$  und beim Oberwasserstand  $h=h_0$  soll der Schützenwinkel  $\delta=0$  sein) kann das Gegengewicht entlang der Halterungsstange verschoben werden. Bild 2a zeigt die Definition des Schützenabflusses, Bild 2b jene der massgebenden Momente.

Die axiale hydrodynamische Druckverteilung über die Schützenlänge ist mit 18 Piezometern gemessen worden. Der Abstand zwischen den Messstellen ist von 40 mm bei der Schützenoberkante bis auf 10 mm nahe an der Unterkante reduziert worden. Die Ablesegenauigkeit der Druckhöhen beträgt ca.  $\pm 1$  mm (Bild 3).

### Druckverteilung auf der Klappschütze

Erstaunlicherweise lassen sich in der Literatur nur wenige Angaben über die Druckverteilung auf einer geneigten, ebenen Klappe finden. Obwohl mehrere experimentelle Arbeiten (Gentilini, 1941; Nago, 1977) sowie numerische Untersuchungen durchgeführt worden sind, liegen keine allgemeinen Resultate vor. Deshalb wird bei Bemessungsaufgaben oft die effektive, hydrodynamische Druckverteilung auf der Klappschütze vereinfachend durch die hydrostatische Druckverteilung ersetzt.

Die in der vorliegenden Studie gemessenen Druckverteilungen gelten für verschiedene Klappenwinkel  $\delta$  und relative Schützenlängen  $D=L/h_0$ , mit  $L$  als Schützenlänge und  $h_0$  als Oberwassertiefe (Bild 4).

An den freien Oberflächen, d.h. am Schützenstagnationspunkt und an der unteren Schützenkante wird der dynamische Druck relativ zum atmosphärischen Druck gleich null. Die dynamische Druckverteilung weicht in Richtung der unteren Kante immer mehr von der hydrostatischen

Druckverteilung ab. Sie erfährt eine Reduktion, die sowohl die Druckkraft als auch deren Moment bezüglich der Drehachse der Schütze signifikant reduziert.

Diese Reduktion nimmt mit  $D$  und  $\delta$  zu. Die hydrostatische Druckkraft  $S_s$  und die dynamische Druckkraft  $S_d$  werden durch Integration der entsprechenden Druckverteilungen über die Schützenfläche bestimmt. Für  $\delta=0$  ist selbstverständlich  $S_s=S_d$ , da bei geschlossener Schütze der Durchfluss gleich null ist. Der mit  $\sigma=S_d/S_s$  definierte Druckkraftkoeffizient nimmt somit bei wachsenden  $D$  und  $\delta$  ab. Bild 5a zeigt  $\sigma$  in Funktion von  $D$  und  $\delta$ . Als Annäherung der Messwerte gilt die folgende Beziehung

$$\sigma = 1 - \frac{1}{7} D \tan \delta, \quad \delta \leq 30^\circ. \quad (1)$$

Die Momente infolge des Wasserdrucks auf die Klappschütze sind ebenfalls bestimmt worden. Ihr Verhältnis  $\mu=M_d/M_s$ , mit  $M_d$  als dynamisches Moment und  $M_s$  als hydrostatisches Moment, hängt ebenfalls von  $D$  und von  $\delta$  ab. Bild 5b zeigt  $\mu$  in Funktion von  $D$  und  $\delta$ . Diese Messwerte können angenähert beschrieben werden mit

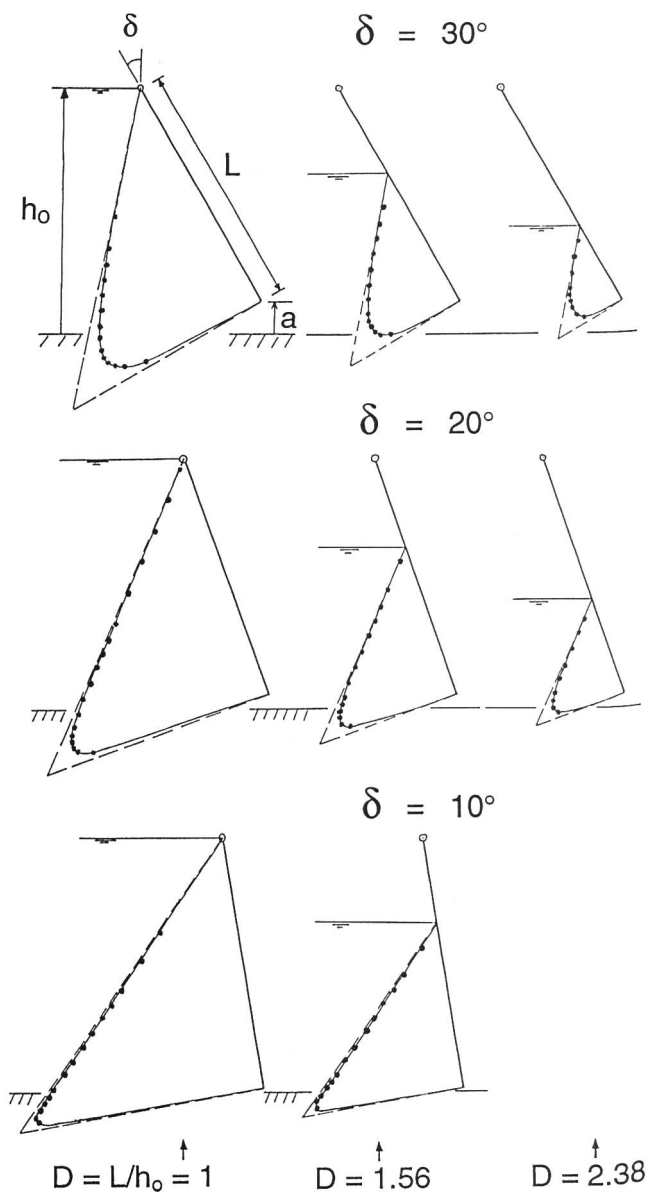


Bild 4. Dynamische (●) und hydrostatische (- - -) Druckverteilungen auf der geneigten Klappschütze.

$$\mu = 1 - \frac{1}{4} D^{1/2} \tan \delta, \quad \delta \leq 30^\circ. \quad (2)$$

Bei «konventionellen» Betrachtungen mit Annahme einer hydrostatischen Druckverteilung auf der Schütze wird  $\sigma = \mu = 1$ . Diese Vereinfachung der tatsächlichen Verhältnisse ist für die hier vorgestellte Klappschütze unzulässig, wie in der Folge belegt wird.

### Bemessung des Klappschützensystems

Das Klappschützensystem wird über die Momentengleichung bemessen. Zwei Momente müssen im Gleichgewicht sein (siehe Bild 2):

- das dynamische Moment  $M_a$  infolge der dynamischen Druckkraft auf die Klappe, als treibendes Moment, und
- die Summe der Momente  $M_g + M_w$  infolge des Klappengewichtes  $G$  und des Gegengewichtes  $W$ , als rückhaltendes Moment.

Für die Oberwassertiefe  $h_o = L$ , d.h. für  $D = 1$  (massgebender Bemessungsfall), gelten folgende Ausdrücke (Raemy und Hager, 1998):

$$M_a = \mu M_s = \mu \left(\frac{1}{2}\right) \rho g b L^2 (2L/3) \cos \delta \quad (3)$$

$$M_g = \left(\frac{1}{2}\right) G \cdot L \sin \delta \quad (4)$$

$$M_w = e \cdot W \cos(\epsilon + \delta) \quad (5)$$

mit  $e$  als Abstand zwischen der Drehachse und dem Schwerpunkt des Gegengewichtssystems,  $\epsilon$  als Winkel zwischen der Halterungsstange des Gegengewichtes und der Normalen zur Schützentafel,  $b$  als Schützenbreite,  $g$  als Erdbeschleunigung und  $\rho$  als Flüssigkeitsdichte.

Die Gleichgewichtsbedingung zwischen den Momenten lautet

$$M_a = M_g + M_w. \quad (6)$$

Durch Einsetzen von  $\mu$  aus der Gleichung (2) wird nach Dividieren durch  $\cos \delta$

$$\left(\frac{1}{2}\right) \rho g b L^3 - e W \cos \epsilon = \left[\left(\frac{1}{2}\right) G L - e W \sin \epsilon + \left(\frac{1}{2}\right) \rho g b L^3\right] \tan \delta. \quad (7)$$

Diese Gleichung muss für jeden Winkel  $\delta$  erfüllt sein. Sie liefert dementsprechend die zwei folgenden Bedingungen

$$1) \text{ für das rückhaltende Moment: } e W / (\rho g b L^3) = (3 \cos \epsilon)^{-1}, \quad (8)$$

$$2) \text{ für den Winkel } \epsilon: \sin \epsilon = (e W)^{-1} \left[\left(\frac{1}{2}\right) G L + \left(\frac{1}{2}\right) \rho g b L^3\right]. \quad (9)$$

Eliminiert man daraus  $(e W)$ , so folgt

$$\tan \epsilon = \frac{\left(\frac{1}{2}\right) G}{\rho g b L^2} + \frac{1}{4}. \quad (10)$$

Normalerweise ist das Schützensgewicht  $G$  viel kleiner als das Wasservolumen  $\rho g b L^2$ . Somit ist der Minimalwert von  $\tan \epsilon$   $\frac{1}{4}$ , was einem Winkel  $\epsilon$  von  $14^\circ$  entspricht. Der Term  $\frac{1}{4}$  im Ausdruck für  $\tan \epsilon$  ist massgebend und widerspiegelt den Einfluss des dynamischen Druckes auf die Klappe. Unter Vernachlässigung des hydrodynamischen Effekts würde dieses Term nicht erscheinen und man hätte  $\epsilon = 0$ .

Mit  $(\cos \epsilon)^{-1} = (1 + \tan^2 \epsilon)^{1/2}$  und Gleichung (10) folgt dann für das erforderliche rückhaltende Moment

$$\frac{e W}{\rho g b L^3} = \frac{1}{3} \frac{17}{16} + \frac{\left(\frac{1}{2}\right) G}{\rho g b L^2} \frac{1}{4} \approx 0,344 \frac{1}{4} + \frac{\left(\frac{1}{2}\right) G}{\rho g b L^2}. \quad (11)$$

Für  $G / (\rho g b L^2) \ll 1$  wird das erforderliche Minimalmoment

$$\frac{e W}{\rho g b L^3} = 0,35. \quad (12)$$

Die nichthydrostatische Druckverteilung auf die Klappschütze spielt deshalb eine wesentliche Rolle bei deren Bemessung. Da  $IGL/eW \ll 1$ , kann Gleichung (7) nicht erfüllt werden, falls der Term  $\left(\frac{1}{2}\right) \rho g b L^3$  vernachlässigt wird.

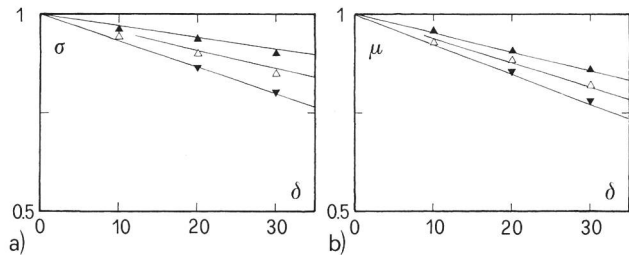


Bild 5. a) Druckkraftkoeffizient  $\sigma$  und b) Momentenkoeffizient  $\mu$  der Klappschütze in Funktion von  $\delta$  und für  $D = (\blacktriangle) 1, (\triangle) 1,56, (\nabla) 2,38$ .

### Funktionstüchtigkeit der Klappschütze

Die mit Hilfe der Gleichungen (10) und (11) bemessene Einrichtung ist in den Versuchskanal eingebaut und auf ihre Funktionstüchtigkeit hin überprüft worden. Das Gewicht  $G$  der aus Aluminium erstellten Schütze beträgt 46 N; das Gegengewicht  $W$  inkl. dem Gewicht der Aufhängevorrichtung 134,3 N. Mit  $eW = 115,5$  Nm nach Gleichung (11) resultiert dann der Wert  $e = 0,86$  m und aus Gleichung (10) ein Winkel  $\epsilon = 18,5^\circ$ . Die Klappschütze ist für die Oberwassertiefe  $h_o = 0,415$  m ( $D = 1$ ) bei  $Q = 0$  ( $\delta = 0$ ) eingestellt worden.

Das Verhalten der somit optimal bemessenen Schütze ist aus dem Bild 6 ersichtlich und darf als zufriedenstellend bezeichnet werden. Die relative Oberwassertiefe  $h_o/L$ , respektive der Winkel  $\delta$ , sind in Funktion der Zulauf-Froudezahl  $F_o = Q / (g b^2 h_o^3)^{1/2}$  aufgetragen. Die Erhöhung des Durchflusses  $Q$  von 0 auf  $Q_{\max} = 100$  l/s (d.h.  $F_o$  von 0 bis ca. 0,25) übt dabei praktisch keinen Einfluss auf  $h_o$  aus. Die maximalen Spiegelschwankungen für  $0 < \delta < 45^\circ$  liegen bei  $\pm 1\%$ .

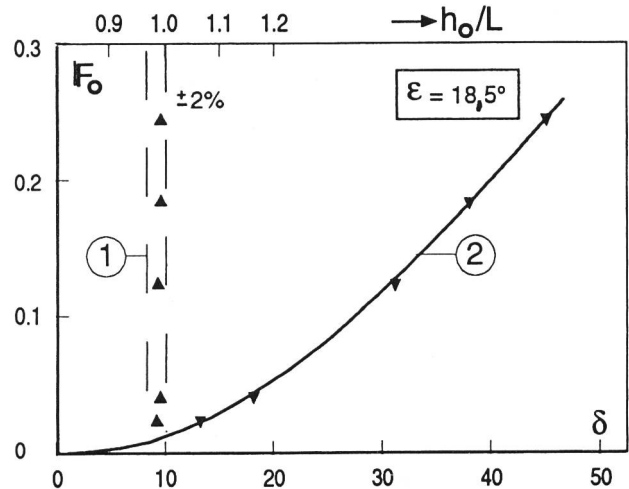


Bild 6. Optimal eingestellte Klappschütze ( $\epsilon = 18,5^\circ$ ). 1 Relative Oberwassertiefe  $h_o/L$  und 2 Winkel  $\delta$  als Funktionen der Zulauf-Froudezahl  $F_o$ .

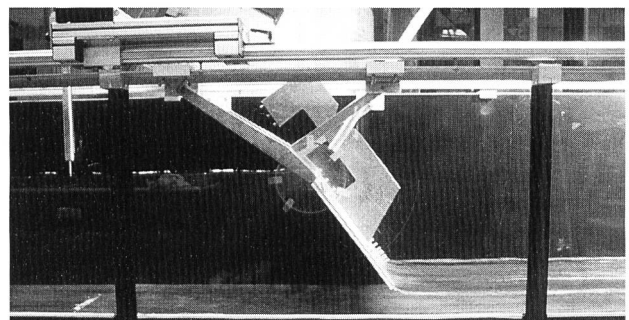


Bild 7. Seitliche Ansicht der Klappschütze mit  $h_o = L = 0,415$  m,  $Q = 50$  l/s und  $\delta = 31^\circ$  ( $\epsilon = 18,5^\circ$ ).

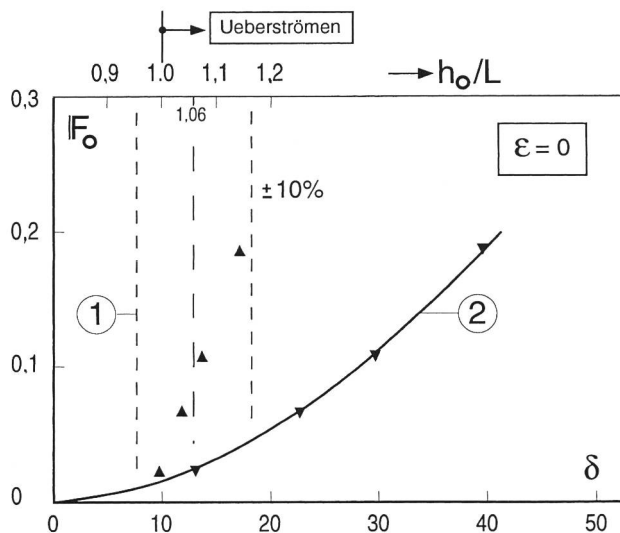


Bild 8. Ungünstig eingestellte Klappschütze ( $\epsilon = 0$ ).  
1 Relative Oberwassertiefe  $h_o/L$  und 2 Winkel  $\delta$  als Funktionen der Zulauf-Froudezahl  $F_o$ . Der Vergleich mit Bild 6 lässt die korrekte Bemessung von  $\epsilon$  erkennen.

Die Stabilität der Klappschütze ist ebenfalls ausgezeichnet. Bei jeglicher Durchflussänderung hat sich die Schütze sanft an die neuen Zuflussbedingungen angepasst. Die entsprechende Gleichgewichtslage wird rasch und ohne Oszillationen erreicht. Bei speziellen Versuchen ist die Schütze von Hand abrupt aus der Gleichgewichtslage um ca.  $\delta = -20^\circ$  oder  $\delta = +20^\circ$  versetzt worden. Die Schütze ist dann sofort mit einer stark gedämpften aperiodischen Schwingung zu ihrer ursprünglichen Lage zurückgekehrt (Raemy und Hager, 1997).

Die Stabilität der Schütze wird bei wachsendem Durchfluss grösser. Bei  $Q > Q_{\max} = 100$  l/s, d. h. bei  $\delta > 45^\circ$ , stellen sich Oberflächenwellen infolge einer Einlaufstörung im Zulaufkanal ein. Die Klappschütze wird durch das Aufprallen dieser Wellen beeinflusst. Mit der Einschränkung ihres Betriebsbereiches auf  $0 < \delta \leq 45^\circ$  ergibt sich somit eine einwandfreie Funktionsweise der Schütze. Bild 7 zeigt als Beispiel die optimal eingestellte Klappschütze bei einem typischen Betriebsfall mit  $h_o = L$  und  $Q = 50$  l/s.

Als zusätzliche Verifikation der vorher präsentierten Analyse ist die Klappschütze abgeändert und mit  $\epsilon = 0$ , d. h. mit senkrecht auf der Schützentafel stehender Gegen-

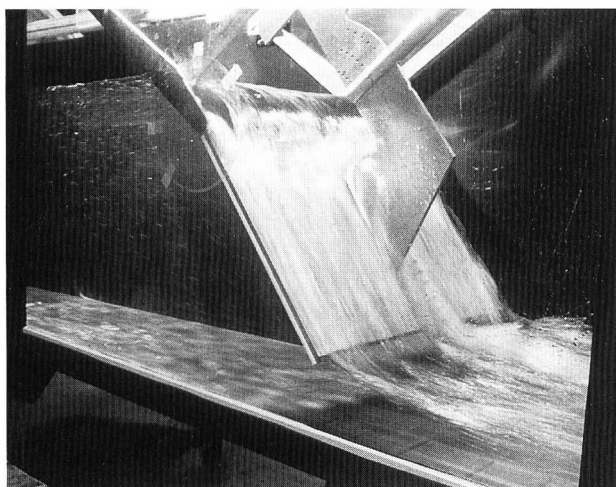


Bild 9. Klappschütze mit Gegengewichtshalterung senkrecht auf die Tafelenebene ( $\epsilon = 0$ ), bei  $Q = 100$  l/s,  $\delta = 39,3^\circ$  und einem Überfallanteil von  $0,16 Q$ . Ansicht stromaufwärts.

gewichtshalterung, bewusst ungünstig eingestellt worden. Das entsprechende Verhalten der Schütze ist aus den Bildern 8 und 9 ersichtlich. Als Versuchsbedingung ist die Gegengewichtslage so gewählt worden, dass mit dem kleinen Durchfluss  $Q = 10$  l/s ( $\delta = 13^\circ$ ) die Oberwassertiefe  $h_o$  gerade ohne Überströmen der Schütze eingehalten wird. Dann ist der Durchfluss allmählich bis  $Q_{\max} = 100$  l/s erhöht worden. Daraus hat eine unzulässige Vergrößerung der Oberwassertiefe  $h_o$  von  $0,415$  m auf  $h_{o, \max} = 0,475$  m (ca. 14 %) mit starker Überströmung der Schütze (ca. 16 % des Zuflusses) resultiert. Obwohl sich das System immer stabil verhalten hat, lässt sich mit der konventionellen Klappschütze mit  $\epsilon = 0$  die Zuflusswassertiefe  $h_o$  über den Variationsbereich von  $Q$  nicht konstant halten. Der erforderliche Winkel  $\epsilon$  nach der Gleichung (10) bestimmt deshalb massgeblich die Wirkung der Klappschütze.

## Schlussfolgerungen

Die «selbsttätige Klappschütze» wird rein hydraulisch kontrolliert. Im Gegensatz zu anderen Reguliernsystemen beruht ihre Arbeitsweise ausschliesslich auf der justierten Wirkung eines Gegengewichtssystems. Sie ist in der Lage, den Wasserstand in einem Kanal mit grosser Genauigkeit automatisch konstant zu halten. Ihre optimale Bemessung erfolgt aufgrund einer Momentengleichung. Die Resultate der Analyse sind durch Laborversuche vollumfänglich bestätigt worden. Die Klappschütze ist eine einfache, wirksame und wirtschaftliche Regulieranordnung, die sich speziell für kleine Durchflüsse in der Bewässerungs- und Abwassertechnik eignet.

Als nächster Schritt soll ein Prototyp in situ untersucht werden. Konstruktive und betriebliche Aspekte, wie die Dichtung, die Verstopfungsanfälligkeit auf Feststoffe, die Unterhaltsbedürfnisse und selbstverständlich die Funktionstüchtigkeit der Klappschütze sollten dabei eingehend betrachtet werden.

## Verdankung

Der Autor möchte sich bei Dr. Markus Schwalt, früherer Mitarbeiter an der VAW, für die Entwicklung der hier vorgestellten Einrichtung sowie bei Prof. Dr. D. Vischer für seine Unterstützung bestens bedanken. Ein besonderer Dank geht an PD Dr. W. H. Hager, VAW, der an dieser Studie massgebend beteiligt gewesen ist.

## Literatur

- Davidson, S. M. (1951): Automatic water control gates. Engineers' Bulletin 35(7): 4–21.
- FAO (1975): Small hydraulic structures. FAO Irrigation and Drainage Paper 26(2): Food and Agriculture Organisation of the United Nations: Rome.
- Gentilini, B. (1941): Sui processi di efflusso piano. L'Energia Elettrica 19(4): 213–233; 19(6): 361–380.
- Kay, M. G., Ashton, D. A. (1983): A laboratory investigation of counterbalanced flap gates for water level control. Journal Institution Water Engineers 37: 506–512.
- Nago, H. (1977): Hydraulic pressure acting on shell-type gates. Transactions of Japanese Society of Civil Engineers 9: 170–172.
- Pethick, R. W., Harrison, A. J. M. (1981): The theoretical treatment of the hydraulics of rectangular flap gates. 19 IAHR Congress New Delhi B(C12): 247–254.
- Raemy, F., Hager, W. H. (1997): Flap gate for hydraulic head control. 27 IAHR Congress San Francisco A: 320–325.
- Raemy, F., Hager, W. H. (1998): Hydraulic level control by Hinged Flap Gate. Proc. Institution of Civil Engineers, Water, Maritime & Energy (wird publiziert).
- Young, W. R. (1953): The Neyrpic developed water control gates and distributors. Engineers' Bulletin 37(2): 16–18.

Adresse des Verfassers: Dr.-Ing. Félix Raemy, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), ETH-Zentrum, CH-8092 Zürich.