

**Zeitschrift:** Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria  
**Herausgeber:** Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband  
**Band:** 82 (1990)  
**Heft:** 1-2

**Artikel:** Scharfkantiger Dreiecküberfall  
**Autor:** Hager, Willi H.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-939771>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 23.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Scharfkantiger Dreiecküberfall

Willi H. Hager

## Zusammenfassung

Anhand einer umfassenden Literaturübersicht wird der scharfkantige Dreiecküberfall als Präzisionsmengenmessbauwerk analysiert. Dabei werden sowohl der freie als auch der eingestaute Zustand betrachtet. Die Einflüsse der Froude-, der Weber- und der Reynolds-Zahl auf den Überfallbeiwert lassen sich noch nicht abschliessend beurteilen. Die vorgeschlagene Durchflussgleichung dürfte aber für normales Wasser zu Resultaten führen, die weniger als 1 % vom tatsächlichen Wert abweichen.

## Résumé: Déversoir triangulaire en mince paroi

Basé sur une revue de littérature, le déversoir triangulaire en mince paroi est analysé en tant que débit-mètre de précision. Les écoulements libre et submergé sont pris en considération. Les effets des nombres de Froude, de Weber et de Reynolds sur le coefficient de débit ne peuvent pas encore être jugés d'une manière définitive. Par contre, pour de l'eau normale, l'équation proposée pour le débit devrait amener une concordance avec le débit effectif de moins de 1 %.

## Summary: The V-notch weir

Based on a literature review, the V-notch weir as a precise discharge measurement structure is analysed. Both, free and submerged flow conditions are accounted for. The effects of gravity, surface tension and viscosity may not be treated definitively, however. Yet, the equation proposed for discharge deviates less than 1 % from the true discharge, provided ordinary water is considered.

## Einleitung

Unter einem Dreieckwehr versteht man einen Überfall zur Messung des (Wasser-)Durchflusses. Das Dreieckwehr zählt zu den genauesten Durchflussmessgeräten, mit denen sich durchaus Genauigkeiten von 1 % des Momentanwertes erreichen lassen. Dazu ist aber eine Reihe von peinlich einzuhaltenden Voraussetzungen zu erfüllen.

Bild 1 zeigt schematisch ein Dreieckwehr. Der rechteckige Zulaufkanal von der Breite  $B$  hat eine glatte Oberfläche. Die ebenfalls glatte Wehrplatte ist vertikal und besitzt eine symmetrische, dreieckige Öffnung mit einem Öffnungswinkel  $\alpha$ . Der Unterwasserstand liegt mindestens 5 cm unter der Wehrbasis, die Wehrhöhe  $w$  ist immer grösser als die Überfallhöhe  $h$ . Die Wehrkante ist scharf, 1,0 bis 2,0 mm dick und unterwasserseitig um  $60^\circ$  abgewinkelt.

Man unterscheidet zwei Abflussarten (Bos, 1976)

1. «Teilweise kontraktierendes Wehr» (TKW), für welches der Raum zwischen Seitenwänden des Zulaufkanals und den Wehrflanken zu klein für eine ausgebildete Einschnürung ist, und

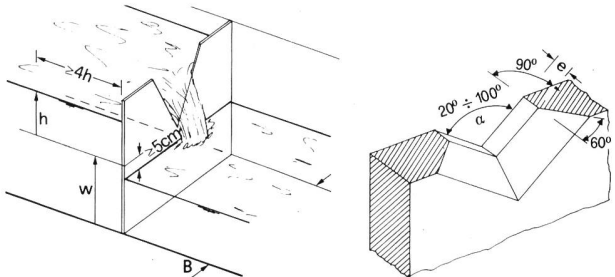


Bild 1. Schema eines Dreiecküberfalles – Bezeichnungen.

Tabelle 1. Charakteristika des teilweise (TKW) und des vollständig (VKW) kontraktierenden Wehres (ISO, 1971).

	TKW	VKW
$h/w$	$< 1,2$	$\leq 0,4$
$h/B$	$< 0,4$	$\leq 0,2$
$h > 50$ mm	$< 600$ mm	$< 380$ mm
$w$	$> 100$ mm	$\geq 450$ mm
$B$	$\geq 600$ mm	$\geq 900$ mm

2. «Vollständig kontraktierendes Wehr» (VKW), bei dem der Abstand der Seitenwände und des Bodens von den Wehrkanten genügend gross ist.

Nach ISO (1971) lassen sich die beiden Abflussarten durch die Angaben nach Tabelle 1 auseinanderhalten. Danach ist ein Abfluss als VKW bei kleinem und anschliessend TKW bei grösserem Durchfluss für ein Wehr möglich.

Um einen möglichst genauen Durchfluss zu ermitteln (Labormessungen), sollte neben den bereits erwähnten Voraussetzungen bezüglich des Zulaufkanals und des eigentlichen Wehres der Abfluss frei von Unterwassereinstau sein. Sind die Genauigkeitsansprüche geringer, so darf ein TKW vorgesehen werden, das u.U. sogar vom Unterwasser eingestaut wird. In solchen Fällen darf anstelle der Überfallhöhe auch die einfachere zu ermittelnde Spiegelbreite nach Eji (1986) berücksichtigt werden. Die vorliegende Untersuchung gibt eine Zusammenfassung für alle drei Abflusstypen und illustriert typische Abflusssituationen anhand ausgearbeiteter Fotografien, die an der Eidg. Technischen Hochschule in Lausanne (EPFL) gemacht wurden. Weiter soll ein Ausdruck für den Überfallbeiwert hergeleitet werden, der den Viskositätseinfluss des fließenden Mediums in Rechnung stellt. Die Arbeit wird durch eine Aufzählung der relevanten Literatur abgerundet. Für eine kurze Darstellung des Problemkreises sowie gängige Messverfahren wird auf die Werke von Ackers et al. (1978) und Herschy (1978, 1985) hingewiesen.

## Durchflussgleichung

Nimmt man die Geschwindigkeitsverteilung des Überfallstrahles nach Torricelli an, also

$$V(z) = \sqrt{2g(H-z)} \quad (1)$$

mit  $z$  als Vertikalkoordinate,  $H$  als Energiehöhe bezüglich der Wehrbasis, so folgt für den Durchfluss (Thomson, 1859; 1862)

$$Q = \frac{8}{15} C_d \operatorname{tg}(\alpha/2) \sqrt{2g} H^{5/2} \quad (2)$$

mit  $C_d$  als Durchflussbeiwert,  $g$  als Erdbeschleunigung,  $\alpha$  als Öffnungswinkel und  $H = h + Q^2/[2gB^2(h+w)^2]$  als Zulaufenergiehöhe.  $C_d$  korrigiert die Vereinfachungen bezüglich der Geschwindigkeitsverteilung, also die Berücksichtigung des internen Strahldruckes, der Strahlkontraktion, der Viskosität und der Oberflächenspannung.

Dreiecküberfälle werden nach dessen Entwickler auch als Thomson-Überfälle bezeichnet. Er fand für  $\alpha = 90^\circ$  den  $C_d$ -Wert 0,595, wobei eine leichte Abnahme für zunehmende Werte von  $H$  feststellbar ist. Dies wird durch die systematischen Messungen von Barr (1910) bestätigt.

Cone (1916) hat als erster den Einfluss des Öffnungswinkels auf  $C_d$  studiert, wobei seine experimentelle Untersuchung Werte von  $\alpha = 28,4^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$  und  $120^\circ$  einschloss.  $C_d$  wird dabei durch grössere Winkel  $\alpha$  verkleinert. Demgegenüber stellten Yarnall (1926) und Greve (1930) nur einen geringen Einfluss des Winkels  $\alpha$  auf  $C_d$  fest.

Numachi et al. (1940) und Ferroglio (1946) haben den Querschnitt des Zulaufkanals systematisch verändert. Sie finden

eine Beziehung, die den Einfluss der Zuflussgeschwindigkeit in Rechnung stellt, in der also die Breite  $B$  und die Wehrhöhe  $w$  ihren Niederschlag finden.

Eine umfassende Arbeit über freie Dreiecküberfälle stammt von Heyndrickx (1948). Es werden nicht weniger als dreissig Untersuchungen zitiert, die sich grösstenteils mit Formeln, die auf eigenen Messungen beruhen, beschäftigen. Für den Überfallbeiwert  $C_d$  findet Heyndrickx die Abhängigkeit

$$C_d = f\left(R, W, \alpha, \frac{w}{h}, \frac{e}{h}, \frac{B}{h}, \frac{k}{h}\right) \quad (3)$$

wobei  $e$  die Dicke der Wehrkrone,  $B$  die Breite des rechteckigen Zulaufkanals und  $k$  die Rauigkeit der Wehrplatte bezeichnet.

Die Messungen von Barr (1910) zeigen, dass  $C_d$  mit zunehmender Kronendicke  $e$  zunimmt, bei  $\alpha = 90^\circ$  stellt sich ein Grenzwert von etwa  $C_{d\infty} = 0,580$  ein. Um Einflüsse der Kronendicke auf  $C_d$  auszuschalten, sollte nach ISO-Norm der Wert  $e$  zwischen 1 und 2 mm sein. Gleichzeitig sollte die Überfallkante leicht geölt werden, um keine Erhöhung von  $C_d$  durch Haftung des Strahls an der Kante zu erzeugen. Um Einflüsse der Plattenrauigkeit auszuschalten, sollte diese möglichst glatt, also gut poliert sein, und die Wehrtafel muss eben ausgebildet werden (Wehrprofil nicht aufmontiert). In bezug auf die Strömungsform für  $\alpha = 90^\circ$  ist zu unterscheiden zwischen

- der Strahl haftet komplett, Abflusstyp bis zu  $h < 3$  cm,
- der Strahl haftet und schliesst Luftblasen im Unterwasserbereich ein, Abflussform für  $2,5 < h < 4,5$  cm mit beträchtlicher Reduktion von  $C_d$ ,
- der Strahl ist in der Mitte frei, haftet aber seitlich an der Wehrplatte ( $h > 4$  cm), und
- der Strahl ist komplett frei, falls  $h > 4$  cm und die Wehrkrone geölt ist.

Um Einflüsse der Haftung auszuschliessen, sollen nur Überfallhöhen grösser als  $h = 5$  cm in Betracht gezogen werden. Wird des weiteren  $B/h > 3$  und  $w/h > 1$  vorausgesetzt, so gelingt Heyndrickx (1948) die folgende Darstellung der eigenen und einer Vielzahl fremder Messresultate

$$C_d = 0,5775 + \frac{0,214}{h^{1,25}} \quad (4)$$

mit  $h$  (cm)  $\geq 5$  cm. Die Abweichung in  $C_d$  ist dann für rund 90% der Messungen kleiner als  $\pm 1\%$ .

In Anlehnung an Kindsvater und Carter (1957) schlägt Bos (1976) anstelle von Gl. (2) als Durchflussbeziehung

$$Q = \frac{8}{15} C_e \operatorname{tg}(\alpha/2) \sqrt{2g} h_e^{5/2} \quad (5)$$

vor mit  $h_e = h + \delta$ .  $\delta$  stellt dabei wesentlich die Einflüsse der Oberflächenspannung in Rechnung, hängt also hauptsächlich von  $\alpha$  und  $e$  ab.  $C_e$  ist der zu Gl. (5) zugehörige Durchflussbeiwert. Er ist durch die Beziehung

$$C_e \left(1 + \frac{\delta}{h}\right)^{5/2} = C_d \left[1 + \frac{Q^2}{2gB^2h(h+w)^2}\right] = C_d \left[1 + \left(\frac{8}{15} C_d \frac{h^2 \operatorname{tg}(\alpha/2)}{B(h+w)}\right)^2\right]^{5/2} \quad (6)$$

mit  $C_d$  verbunden.

$\delta$  lässt sich durch (Bos, 1976)

$$\delta \text{ (mm)} = \frac{4}{5} [\operatorname{tg}(\alpha/2)]^{-3/4} \quad (7)$$

annähern, während für VKW die Approximation

$$C_e = 0,577 \left[1 + \left(\frac{\alpha - 70^\circ}{340^\circ}\right)^2\right] \quad (8)$$

gilt.

Eine umfassende, wenn auch nicht definitive Studie über Viskositäts- und Oberflächenspannungseinflüsse auf den Abfluss über Dreieckwehre führt Lenz (1943) durch. Aufbauend auf Hunderten von Versuchsergebnissen von drei Universitäten, die Wasser und Öle verschiedener Temperatur verwendeten, liess sich die Viskosität um einen Faktor von 1:150, jene der Oberflächenspannung um 1:2,5 verändern.

Bezeichnen  $R = (gh^3v^{-2})^{1/2}$  die Reynolds-Zahl und  $W = \rho gh^2/\sigma$  die Weber-Zahl mit  $v$  als kinematischer Zähigkeit und  $\sigma$  als Oberflächenspannung, so schlägt Lenz den Überfallbeiwert  $C_d$  in Abhängigkeit von  $R^n W^m$  vor. Die Exponenten  $m$  und  $n$  sowie der Proportionalitätsfaktor hängen in komplizierter Weise vom halben Öffnungswinkel ( $\alpha/2$ ) ab. In der Diskussion der Arbeit von Lenz bezweifelt Kalinske den Ansatz für  $C_d$ , und Powell schlägt für den Überfallkoeffizienten einen modifizierten Ausdruck vor, der die Einflüsse von Viskosität und Oberflächenspannung durch die Summe  $0,788R^{-1/3} + 0,364W^{-1/4}$  ausdrückt.

Ranga Raju und Asawa (1977) untersuchen ebenfalls Einflüsse der Oberflächenspannung und der Viskosität bei Rechteck- und Dreiecküberfällen ( $\alpha = 90^\circ$ ). Der Überfallbeiwert hängt dabei vom Produkt  $P = (RW^3)^{1/5}$  ab. Für  $P > 900$  finden sie weder Einflüsse der Oberflächenspannung  $\sigma$  noch der kinematischen Zähigkeit  $v$ .

In der Diskussion weist Blaisdell (1978) vorerst auf seine Resultate (Blaisdell, 1939) hin, wobei für kleine Überfallhöhen  $h < 70$  mm zwischen anhaftendem und abgelöstem Überfallstrahl zu unterscheiden ist. Für denselben Wert  $h$  sind dann zwei unterschiedliche Durchflüsse möglich. Zum zweiten weist er auf Besonderheiten für Nullabfluss hin. Während seiner Versuche war dieser einmal bei  $h_1 = +1,4$  mm, ein anderes Mal bei  $h_2 = -0,6$  mm. Diese Anomalie muss dem abstossenden bzw. dem saugenden Effekt der Oberflächenspannung zugeschrieben werden.

### Modifizierter $C_d$ -Wert

Unter allen möglichen Dreiecküberfällen hat das  $90^\circ$ -Wehr eine überragende Bedeutung in der Praxis. Für Überfallhöhen  $5 \text{ cm} < h < 40 \text{ cm}$  lassen sich Durchflüsse zwischen  $1 \text{ ls}^{-1}$  und rund  $150 \text{ ls}^{-1}$  abführen. Vorerst seien breite Zulaufkanäle betrachtet, für die die Zulaufgeschwindigkeit  $V_0$  vernachlässigbar ist.

Bild 2 zeigt  $C_d$  in Abhängigkeit von  $h$  (cm) nach Messungen von Barr (1910), Yarnall (1926), Boucher (1937), Blaisdell (1939) und Heyndrickx (1948). Sie lassen sich durch die Beziehung

$$C_d = \frac{1}{\sqrt{3}} \left[1 + \frac{0,661}{h^{3/2}}\right] \quad (9)$$

ausgezeichnet approximieren (Bild 2).

Dreiecküberfälle, deren Öffnungswinkel verschieden von  $\alpha = 90^\circ$  ist, lassen sich ebenfalls durch Gl. (9) erfassen, falls  $h$  durch  $h \cdot [\operatorname{tg}(\alpha/2)]^{2/3}$  ersetzt wird. Diese Transformation erhält man bei Berücksichtigung der Reynoldszahl  $R = V \cdot L \cdot v^{-1}$ , falls für  $V = (2gh)^{1/2}$  und für  $L = 2\operatorname{tg}(\alpha/2) \cdot h$  die Oberflächenbreite eingesetzt wird. Bild 3 zeigt, dass die

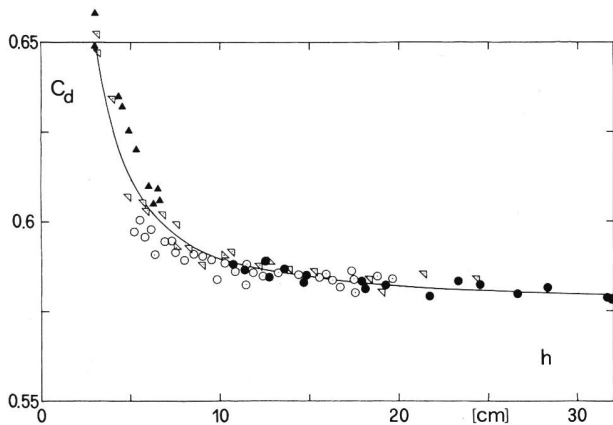


Bild 2. Überfallbeiwert  $C_d$  in Abhängigkeit von  $h$  (cm) für  $\alpha = 90^\circ$ ; (—) Gl. (9). (△) Barr (1910), (●) Yarnall (1926), (▽) Boucher (1937), (▲) Blaisdell (1939), (○) Heyndrickx (1948).

Messungen ausgezeichnet mit der modifizierten Gleichung (9) übereinstimmen. Der Grundwert  $3^{-1/2}$  ist dabei für die Messungen von Yarnall für  $\text{tg}(\alpha/2) = 1/4$  um 3% und für  $\text{tg}(\alpha/2) = 1/8$  um 4% erhöht worden. Dieser Einfluss muss der dünnen Wehrkrone zugeschrieben werden (Bild 3).

Die vorliegenden Ausführungen zeigen demnach, dass für freien, normgerechten Abfluss über scharfkantigen Dreiecküberfall der Durchfluss  $Q$  durch

$$Q = \frac{8}{15} C_{dm} \cdot \text{tg}(\alpha/2) \cdot \sqrt{2g} \cdot h^{5/2} \quad (10)$$

mit der Überfallhöhe  $h$  berechnet werden darf, wobei  $C_{dm}$  von der Froude-, der Reynolds- und der Weberzahl abhängt. Für  $F \rightarrow 0$  wird  $C_{dm} = C_d$ ; gilt zudem  $R \rightarrow \infty$  und  $W \rightarrow \infty$ , so wird  $C_{dm} = 1/\sqrt{3}$ . Für Wasser üblicher Temperatur gilt

$$C_{dm} = \frac{1}{\sqrt{3}} \left( 1 + \left[ \frac{h^2 \cdot \text{tg}(\alpha/2)}{3B(h+w)} \right]^2 \right) \left( 1 + \frac{0,66}{h^{3/2} \cdot \text{tg}(\alpha/2)} \right) \quad (11)$$

wobei  $h$  (cm),  $F$  berücksichtigt den Einfluss der Zuflussgeschwindigkeit (1. Korrekturglied) und lässt sich durch die Energiehöhe  $H$  anstelle der Überfallhöhe  $h$  in Rechnung stellen (vgl. Gl. [2]).  $R$  baut die Viskositätserscheinungen und  $W$  die Einflüsse der Oberflächenspannung in die Abflussbeziehung ein (2. Korrekturglied), die sich bei geringen Höhen  $h$  bemerkbar machen. Leider liegen noch keine Experimente vor, die den Einfluss der Kronendicke  $e$  auf  $C_{dm}$  abzuschätzen gestatten.

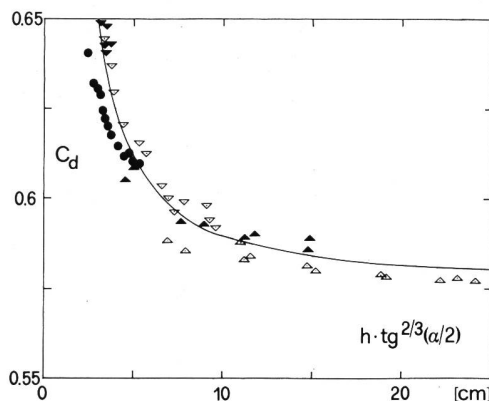


Bild 3.  $C_d$  in Abhängigkeit von  $h$  (cm) für verschiedene Öffnungswinkel  $\text{tg}(\alpha/2) = (\Delta) 1/2$ , (▲)  $1/4$  und (▽)  $1/8$  nach Yarnall (1926), (▼)  $1/12$  nach Reinhold (1933) und (●)  $1/25$  nach Grossi (1961).

## Eingestauter Überfall

Obwohl für Eichmessungen ausschliesslich der freie Überfall empfohlen wird, soll im folgenden der eingestaute Überfall näher betrachtet werden. Er wurde von Vennard und Weston (1943), Villemonte (1947), Mavis (1949) und Stevens (1949) untersucht. Diese Arbeiten fassen DeCoursey und Blanchard (1970) zusammen.

Die Beziehung zwischen den Durchflüssen  $Q_s$  bei eingestautem und  $Q$  bei freiem Überfall

$$q = Q_s/Q = (1 - S^n)^{0,385} \quad (12)$$

von Villemonte wird bestätigt, wobei  $S = h_u/h$  das Verhältnis von Unterwasserhöhe zu Überfallhöhe und  $n = 2,5$  den Exponenten der Überfallformel  $Q(h)$  bezeichnen (Bild 4). Für  $S \leq 0$  ist der Überfall frei, für  $0 < S < 1$  eingestaut. Der Einstau beginnt praktisch zu wirken, falls  $Q_s/Q = 99\%$ , entsprechend  $S = 0,23$ . Man kann deshalb die Unterwasserhöhe auf 23% der Überfallhöhe anwachsen lassen, ohne dass eine merkbare Durchflussreduktion eintritt.

Ein wesentliches Resultat von Villemonte ist der Nachweis von Gl. (12) für beliebige Wehrhöhen. Für  $S < 0,7$  dürfen ohne merklichen Qualitätsverlust ( $\pm 1\%$ ) Dreiecküberfälle eingestaut werden. Dann ist der Überfallstrahl getaucht. Wird das Wehr höher eingestaut, so ändert sich der Abfluss zu einem Oberflächenstrahl mit möglichen stehenden Oberflächenwellen. Mit Gl. (12) wird dann  $Q_s$  (leicht) unterschätzt.

Bild 4 zeigt eigene Messungen von  $q$ . Im allgemeinen liegen sie bis maximal 1,5% über den Werten nach Gl. (12). Die generelle Übereinstimmung ist jedoch gut (Bild 4).

## Fotografien

Die vorliegenden Untersuchungen wurden in einem Rechteckkanal der Breite  $B = 500$  mm durchgeführt, dessen rechte Wand aus Glas bestand und somit die seitliche Beobachtung erlaubte. Der Boden und die linke Seite des Kanals bestanden aus schwarzem PVC. In diesen Kanal wurde ein Dreiecküberfall mit einem Öffnungswinkel von  $90^\circ$  eingebaut. Die Wehrhöhe betrug  $w = 35,20$  cm, und die Kantenstärke war  $e = 0,85$  mm. Die Wassertiefen wurden mit einem Präzisions-Stechpegel aufgenommen ( $\pm 0,1$  mm). Der Durchfluss betrug bei freiem Abfluss immer  $Q = 7,95 \text{ ls}^{-1}$ , bei eingestautem Abfluss immer  $Q = 11,9 \text{ ls}^{-1}$ . Bild 5 zeigt den Überfall vom Unterwasser her. a) gibt dabei eine Gesamtübersicht und deutet auf einen beträchtlichen Lufteintrag in den Abfluss hin. b) zeigt die komplizierte Form des Überfallstrahles: die V-Form stammt dabei von den beiden Überfallflanken, die Rippen entsprechen Kapillarwellen.

Bild 6 zeigt Seitenansichten des Strahles, wobei jetzt die Dreidimensionalität des Phänomens klar hervortritt. b) ist auf die achsiale Strahlkontraktion scharfgestellt. Wie bei einem Rechtecküberfall wird die untere Strahlbegrenzung auch hier hochgehoben, während die seitlichen Wasser-

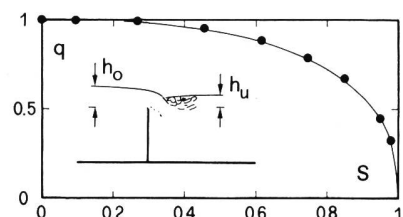


Bild 4. Eingestauter Dreiecküberfall, (—) Durchflussgleichung (12), (●) eigene Messungen. Definitionsskizze.



partikel sich bereits nach unten bewegen. Die Übertragung dieser verschiedenen Bewegungsrichtungen führt zu der in Bild 5b) besser sichtbaren Hohlraumbildung im Zentrum des Strahles. Da durch die Beruhigungselemente im Zulaufkanal eventuelle turbulente Strömungskomponenten auf das Minimum reduziert werden, besitzt der Strahl ein gläsernes, ja fast kristallartiges Aussehen, dessen Schönheit nur schwer durch Fotos wiederzugeben ist.

Der seitliche Verlauf des Wasserspiegels sowie interne Strömungsvorgänge werden durch Bild 7 für verschiedene relative Einstauhöhen  $S$  verdeutlicht. Je kleiner  $S$  ist, desto höher stürzt der Strahl nieder und desto mehr Luft wird in das Unterwasser eingetragen. Die Luftbläschen können somit bei Langzeitaufnahmen als Tracer dienen.

Aus den Bildern 7a) bis d) geht hervor, dass es sich um einen Tauchstrahl handelt. Bei Bild 7e) treten bereits beträchtliche Oberflächenwellen auf, Bild 7f) lässt infolge des hohen Einstaus keine klare Aussage zu.

Bild 8 zeigt den Überfallstrahl bei verschiedenen Werten von  $S$ . Es ist bemerkenswert, wie durchsichtig der Strahl bei  $S = 0,27$  gegenüber  $S = 0$  infolge der weitgehenden Unterdrückung von Kapillarwellen wird.

Wird der Einstau Serhöht, so ändert sich der Überfallstrahl. Bild 9 zeigt Draufsichten für  $S$ -Werte zwischen 0,45 und 0,75. a) hat noch weitgehend die Form der in Bild 8 vom Unterwasser her betrachteten Strahlen, bei b) setzen die Oberflächenwellen ein, wobei der Strahl noch deutlich taucht, während bei c) ein Oberflächenstrahl sichtbar ist.

Adresse des Verfassers: Dr. Willi H. Hager, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), ETH-Zentrum, CH-8092 Zürich.

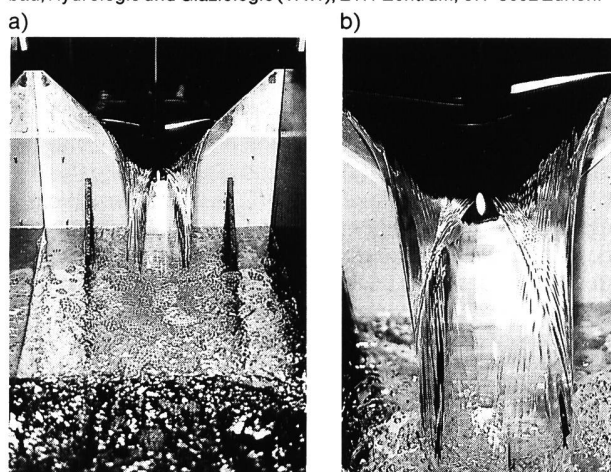


Bild 5. Überfallstrahl vom Unterwasser; a) Gesamtansicht, b) Detailansicht.

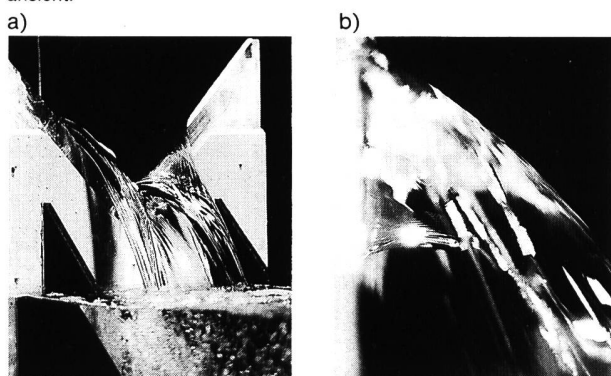
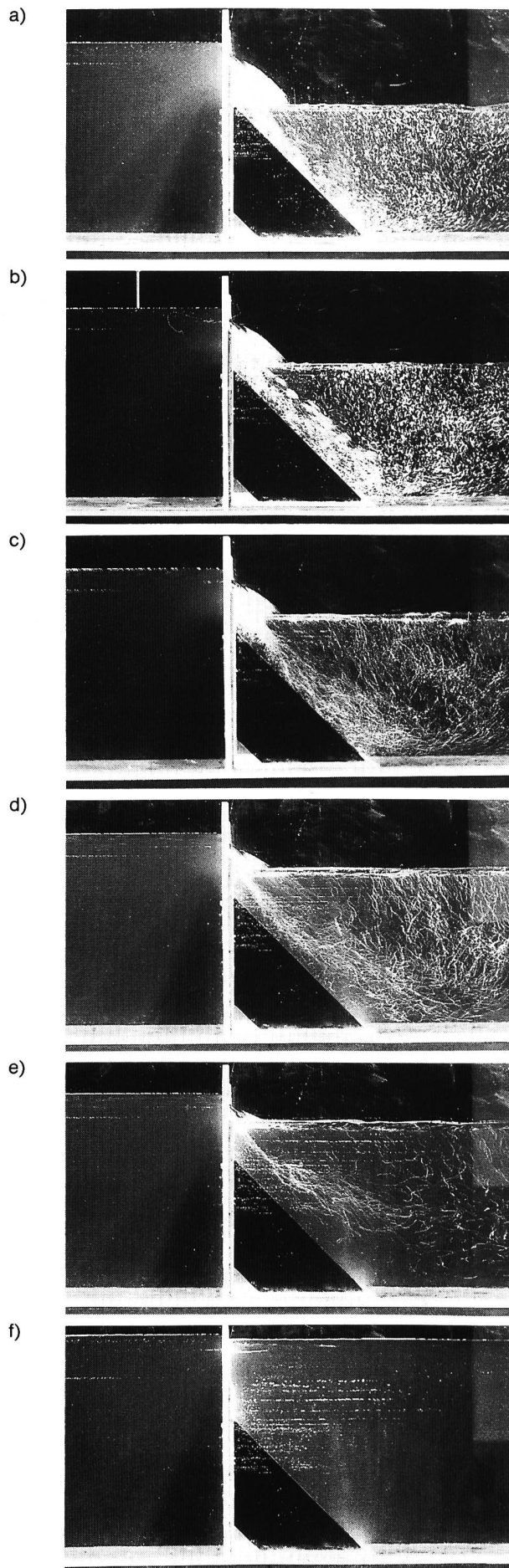


Bild 6. Überfallstrahl von der Seite; a) Gesamtansicht, b) Detail der Strahlkontraktion.

Bild 7, rechts. Seitliche Ansicht des Dreiecküberfalles für verschiedene Einstaus.  $S =$  a) 0, b) 0,10, c) 0,27, d) 0,45, e) 0,61 und f) 0,95.



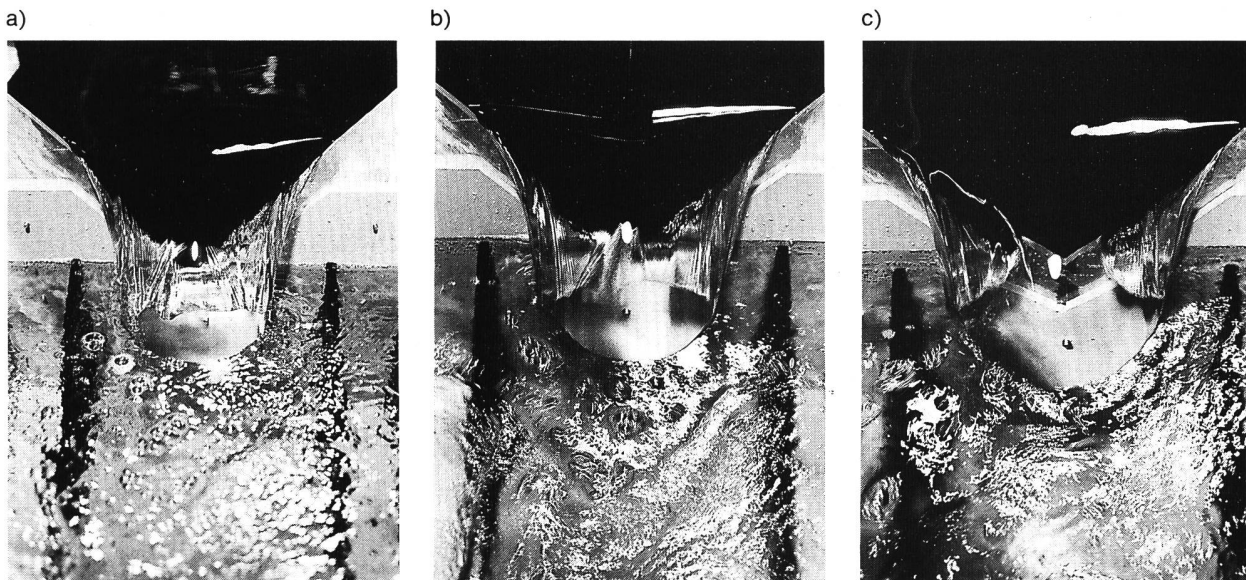


Bild 8. Überfallstrahlen bei relativ geringem Unterwassereinstau; a)  $S = 0$ , b)  $S = 0,10$  und c)  $S = 0,27$ .

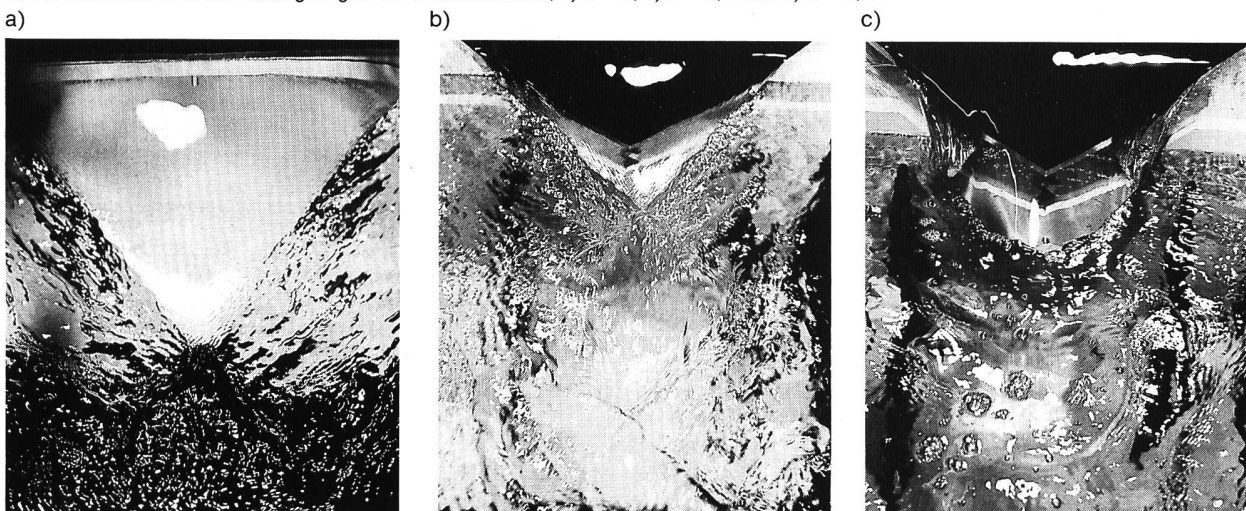


Bild 9. Überfallstrahlen bei relativ grossem Unterwassereinstau; a)  $S = 0,45$ , b)  $S = 0,61$  und c)  $S = 0,75$ .

#### Literaturnachweis

- Ackers, P., White, W.R., Perkins, J.A., und Harrison, A.J.M. (1978). Weirs and Flumes for Flow Measurement. John Wiley & Sons, Chichester – New York.
- Barr, J. (1910). Experiments upon the Flow of Water over Triangular Notches. «Engineering», Vol. 89, April 8th, 435–437; April 15th, 473; April 30th, 514.
- Blaisdell, F.W. (1939). Discharge of V-Notch Weirs at Low Heads. «Civil Engineering», Vol. 9, 8, 495–496.
- Blaisdell, F.W. (1978). Diskussion zu Ranga Raju und Asawa (1977). «J. Hydraulics Division», ASCE, Vol. 104, HY7, 1114–1116.
- Bos, M.G. (1976). Discharge Measurement Structures. Laboratorium voor Hydraulica en Afvoerhydrologie, Landbouwhogeschool, Wageningen, Nederland, Rapport 4.
- Boucher, R. (1937). Nouvelles expériences sur l'écoulement en déversoirs triangulaires. «Revue Trimestrielle Canadienne», Sept., 253–271.
- Cone, V.M. (1916). Flow Through Weir Notches with Thin Edges and Full Contractions. «J. Agricultural Research», Vol. 5, 23, 1051–1113.
- DeCoursey, D.G., und Blanchard, B.J. (1970). Flow Analysis of Large Triangular Weir. Proc. ASCE. «J. Hydraulics Division», Vol. 96, HY7, 1435–1454.
- Eli, R.N. (1986). V-Notch Weir Calibration Using New Parameters. Proc. ASCE. «J. Hydraulic Engineering», Vol. 112, 4, 321–325.
- Ferroglio, L. (1946). Contributo allo studio dello stramazzo triangolare. «L'Energia Elettrica», Vol. 23, 402–405.
- Greve, F. (1930). Calibration of Sixteen Triangular Weirs at Purdue University. «Engineering News-Record», Vol. 105, July 31, 166–167.
- Grossi, P. (1961). Su uno stramazzo triangolare in parete sottile, libero, con angolo al vertice molto piccolo. «L'Acqua», Vol. 39, Fasc. 4, 99–100.
- Herschey, R.W. (1978). Hydrometry – Principles and Practices. John Wiley & Sons, Chichester – New York.
- Herschey, R.W. (1985). Streamflow Measurement. Elsevier Applied Science Publishers, London and New York.
- Heyndrickx, G. (1948). Note sur le déversoir triangulaire en mince paroi. «Revue Générale de l'Hydraulique», Vol. 14, N° 43, 23–38.
- ISO: Association Française de Normalisation (1971). Mesure de débit de l'eau dans les canaux au moyen de déversoirs en mince paroi. X 10–311, ISO/TC 113/GT 2, 152.
- Kindsvater, C.E., und Carter, R.W.C. (1957). Discharge Characteristics of Rectangular Thin-Plate Weirs. «J. Hydraulics Division», ASCE, Vol. 83, HY6, Paper 1453, 1–36.
- Lenz, A.T. (1943). Viscosity and Surface Tension Effects on V-Notch Weir Coefficients. «Trans. ASCE», Vol. 108, 759–802.
- Mavis, F.T. (1949). Submerged Thin Plate Weirs. «Engineering News-Record», July 7, 65–69.
- Numachi, F., und Kurokawa, T. (1939). Der Einfluss von Überlappungen auf den Überfallbeiwert eines rechtwinklig-dreieckigen Messwehres. «Vdl-Zeitschrift», Vol. 83, Nr. 13, 393–394.
- Ranga Raju, K.G., und Asawa, G.L. (1977). Viscosity and Surface Tension Effects on Weir Flow. Proc. ASCE, «J. Hydraulics Division», Vol. 103, HY10, 1227–1231; Vol. 105, HY4, 426.
- Reinhold, F. (1933). Ein bemerkenswertes Eichverfahren für Messüberfälle insbesondere bei kleinsten Überfallhöhen. «Wasserkraft und Wasserwirtschaft», Vol. 28, Heft 23, 274–276.
- Stevens, J.C. (1949). Weir Formulas Compared. «Engineering News Record», Vol. 143, October 20, 100.

Thomson, J. (1859). On Experiments on the Measurement of Water by Triangular Notches in Weirboards. Report of the 28th Meeting, British Association for the Advancement of Science, Leeds, Sept. 1858, 181–185.

Thomson, J. (1862). On Experiments on the Gauging of Water by Triangular Notches. Report of the 31st Meeting of the British Association for the Advancement of Science in 1861, 151–158.

Vennard, J.K., und Weston, R.F. (1943). Submergence Effect on Sharp-Crested Weirs. «Engineering News-Record», Vol. 130, June 3, 118–120; Vol. 131, July 29, 187.

Villemonais, J.R. (1947). Submerged Weir Discharge Studies. «Engineering News Record», December 25, 54–57.

Yarnall, R. (1926). Accuracy of the V-Notch-Weir Method of Measurement. «Trans. ASME», Vol. 48, 939–964.

#### Weitere Referenzen

Blanchard, B.J., und DeCoursey, D.G. (1970). A Design for Flow Controls. «Water Resources Bulletin», Vol. 6, No. 2, 222–228.

Castex, L. (1969). Quelques nouveautés sur les déversoirs pour la mesure des débits. «La Houille Blanche», Vol. 24, 541–548.

Contessini, F. (1936). Taratura dello stramazzo triangolare con apertura angolare di 90°. Appendice alla parte II de «Dispositivi per la misura della portata dei canali con minime perdite di quota». «L'Energia Elettrica», Vol. 13, N° 5, 243–263.

Dzubak, M. (1962). Beitrag zur Methodik der Messung des Durchflusses an dreieckigen Überfällen. «Vodohospodarsky Casopis», Vol. 10 (2), 142–155 (in Tschechisch mit deutscher Zusammenfassung).

Engels, H. (1916). Das neue Flussbau-Laboratorium der Königlichen Technischen Hochschule Dresden. «Zeitschrift Verein deutscher Ingenieure», Vol. 60, Nr. 9, 26. Februar, 170–175.

Ferroglio, L. (1938). Un nuovo impianto per prove su modelli idraulici. Taratura di uno stramazzo triangolare. «L'Industria», Vol. 52, N° 5, 163–172.

Franke, P.-G. (1962). Messüberfälle. «Gas-Wasserfach (Wasser – Abwasser)», Vol. 103, Heft 40, 1072–1075; Heft 42, 1137–1140; Heft 44, 1178–1181.

Gaskell, H. (1914). The Diaphragm Method of Measuring the Velocity of Fluid-Flow in Pipes. «Proc. Inst. Civil Engineers», Vol. 197, 243–263.

Gentilini, B. (1936). Stramazzi in parete sottile liberi e rigurgitati, 3. Teil. «L'Energia elettrica», Vol. 13, N° 10, 585–592.

Gourley, H.J.F., und Crimp, B.S. (1915). The Flow of Water over Sharp-Edged Notches and Weirs. Minutes of Proceedings, «The Institution of Civil Engineers», London, Vol. 200, 388–408.

Greve, F.W. (1932). Flow of Water Through Circular, Parabolic, and Triangular Vertical Notch-Weirs. «Engineering Bulletin, Purdue University, Lafayette, Indiana», Vol. 40, 1–84.

Hégly, V.-M. (1921). Expériences sur des déversoirs à nappe libre avec contraction latérale. «Annales des Ponts et Chaussées», Vol. 91, N° 31, 290–389 (mit Erratum und zusätzlichen Figuren).

Hégly, M. (1937). Sur le coefficient  $\mu$  des déversoirs à nappe libre. «Annales des Ponts et Chaussées», Vol. 107/2, N° 20, 566–577.

Hertzler, R.A. (1938). Determination of a Formula for the 120-Deg V-Notch Weir. «Civil Engineering», Vol. 8, N° 11, 756–757.

Ho, C., und Wu, S.-L. (1931). The Flow of Water over Sharp Crested Weir Notches; Rectangular, Trapezoidal, and Triangular. Dissertation Cornell University, 155 p.

Horton, R.E. (1907). Weir Experiments, Coefficients and Formulas. US Geological Survey, Water Supply and Irrigation Paper N° 200, Washington.

Jicinsky, K., und Seflova, H. (1982). Presnost urceni prutoku Thomsonovym prelivem. «Vodohospodarsky Casopis», Vol. 30 (4), 430–442 (in Tschechisch).

Johnson, P.B., und Storey, H.C. (1948). Instrument Facilitates Setting of Weir Zero Values. «Civil Engineering», Vol. 18 (Nov), 699–700.

Joint Committee of the Institution of Civil and Mechanical Engineers (1924). Standard Tests for Hydraulic Power Plants. «Proc. Institution of Mechanical Engineers», Vol. 1, 305–306.

Kessler, L.H. (1932). Study of Flow over Triangular, or V-Notch Weirs. «Engineering Experiment Station», University of Wisconsin, Project N° H-15.

Koch, L. (1923). Versuche über die Veränderlichkeit des Beiwertes  $c$  in der Thomson-Formel  $Q = c h^{5/2}$ . «Bauingenieur», Vol. 3, Heft 22, 607–608.

Komitee von Regelmessungen (1944). Regeln für Durchflussmessungen bei 90° Überfällen. «Journal Society Mechanical Engineers» (Japan), Vol. 47, Nr. 326, 270–276 (in Japanisch).

Mavis, F.T. (1970). Diskussion zu «Flow Analysis of Large Triangular Weirs» von DeCoursey, D.G., und Blanchard, B.J., Proc. ASCE, «Journal of Hydraulics Division», Vol. 96, HY12, 2675–2678.

Mawson, H. (1927). Applications of the Principles of Dimensional and Dynamical Similarity to the Flow of Liquids Through Orifices, Notches and Weirs. «Proc. Institution of Mechanical Engineers», Vol. 85, 537–547.

Maxwell, W.H.C., und Weggel, J.R. (1969). Surface Tension in Froude Models. Proc. ASCE, «Journal of Hydraulics Division», Vol. 95 (2), 677–701; Vol. 96 (3), 845.

Numachi, F., Kurokawa, T., und Tota, E. (1937). Einfluss der durch Überlappungsherstellung bewirkten stromwärts unstetig hervorragenden Fläche der Wehrkante eines rechtwinklig-dreieckigen Wehrs auf die Durchflussszahl. «Trans. Society Mech. Engrs. of Japan», Vol. 3, N° 11, 174–176 (mit deutscher Zusammenfassung).

Numachi, F., und Saito, I. (1948). On allowable shortest Length of Channel for Triangular Notch. «Journal of the Japan Society of Mechanical Engineers», Vol. 51, No. 357, 229–230 (in Japanese).

O'Brien, M.P. (1927). Least Error in V-Notch Weir Measurements when Angles 90 Degrees. «Engineering News-Record», Vol. 98, N° 25, 1030.

Pardoe, W.S. (1929). Discussion zu «Precise Weir Measurement» von Schoder, E.W., und Turner, K.B. «Trans. ASCE», Vol. 94, 1130–1136.

Pardoe, W.S. (1936). Diskussion zu «Venturi and Weir Measurements». «Mechanical Engineering», Vol. 58 (Jan), 60–62.

Patocka, C., und Bemova, I. (1966). Sharp-edged Notches. «Vodohospodarsky Casopis», Vol. 14 (3), 267–285 (in Tschechisch mit englischer Zusammenfassung).

Ramponi, F. (1958). Influenza della forma del canale di alimentazione sull'efflusso da stramazzi circolari e triangolari. «L'Energia Elettrica», Vol. 35, N° 5, 462–470.

Ranga Raju, K.G., und Chandra, S. (1973). Discharge Relation for a Right-Angled V-Notch. «Irrigation and Power», India, Vol. 30, 249–255.

Ranga Raju, K.G., und Asawa, G.L. (1979). Comprehensive Weir Discharge Formulae. Proc. IMEKO Symposium on Flow Measurement and Control in Industry, Tokyo, Japan, N° 2–1, 35–38.

Ranga Raju, K.G. (1984). Scale Effects in Analysis of Discharge Characteristics of Weir and Sluice Gates. «Symposium on Scale Effects in Modelling Hydraulic Structures», ed. H. Kobus 2.2, 1–4, Esslingen.

Rowell, H.S. (1913). Note on James Thomson's V-Notches. «Engineering», Vol. 95, Part 1, May 2nd, 589.

Schlag, A. (1961). La mesure des débits par déversoirs en mince paroi. «Bulletin Trimestriel de Cebedeau», No. 51, Fasc. 1, 27–30.

Schlag, A. (1962). Note sur la mesure des Débits pour déversoir triangulaire. «La Tribune du Cebedeau», Vol. 15, No. 218, Fasc. 1, 22–24.

Shen, J. (1981). Discharge Characteristics of Triangular-Notch Thin-Plate Weirs. Geological Survey Water-Supply Paper 1617-B, US Government Printing Office, Washington (45 pages).

Smith jr., E.S. (1934). The V-Notch Weir for Hot Water. «Trans. ASME», Vol. 56, RP-56-9, 787–789; Discussion by H.N. Eaton, Vol. 57, 249–250.

Staus, A. (1924). Überfallversuche. «Gas- und Wasserfach», Vol. 67, Heft 26, 371–375.

Steward, W.G., und Longwell, J.S. (1913). Experiments on Weir Discharge. «Trans. ASCE», Vol. 76, 1045–1093.

Switzer, F.G. (1915). Test of the Effect of Temperature on Weir Coefficients. «Engineering News», Vol. 73, N° 13, April 1, 636–637.

Tarrant, J. (1927). Flow of Water Over a V-Notch. «Trans. ASME», Vol. 49, Hyd-50-8, 25–27.

Turneure, F.E. (1935). Current Work at the University of Wisconsin. «Engineering News-Record», Vol. 114, March 28, 455–457.

Viparelli, M. (1947). Sullo stramazzo Thomson. «Atti fondazione politecnica del Mezzogiorno», Napoli, Vol. 3, 1–25.

Wagenbach, W. (1910). Der dreieckige Überfall. «Zeitschrift für das gesamte Turbinenwesen», Vol. 7, Heft 36, 561–563.

Wakhlui, O.N. (1984). Scale Effects in Hydraulic Model Studies. «Symposium on Scale Effects in Modelling Hydraulic Structures», ed. H. Kobus 2.13, 1–7, Esslingen.

Watanabe, I. (1933). On the Discharge Coefficient of Triangular Notch. «Journal Society Mechanical Engineers» (Japan), Vol. 36 (Nov.), 765–766.

Woodburn, J.G. (1932). Tests of Broad-Crested Weirs. «Trans. ASCE», Vol. 97, auf p. 415.

Yarnall, D.R. (1912). The V-Notch Weir Method of Measurement. «Trans. ASME», Vol. 34, Paper N° 1374, 1055–1072.

Yarnall, D.R. (1913). The V-Notch Weir Method of Measuring Water. «Engineering News», Vol. 69, N° 6, 248–249.

Yarnall, D.R. (1927). Accuracy of the V-Notch-Weir Method of Measurement. «Mechanical Engineering», Vol. 49, No. 1, 21–24.

Yosino, S., und Yamada, T. (1932). Experiments on a Right-Angled Triangular Notch with Incomplete Contractions. «Journal Society Mechanical Engineers» (Japan), Vol. 35, N° 187, 1112–1115 (in Japanisch).

Wir sind daran, die Referenzen zum Dreiecküberfall zu vervollständigen. Deshalb sind wir für alle Ergänzungen an Literaturziten dankbar. Ein ergänzter Literaturnachweis erscheint am Ende des Jahrgangs 82(1990).