

Überfälle

Detlef Aigner

1 Einleitung

Überfälle dienen der Überleitung des Wassers nach einem Aufstau durch Überströmen. Das können Wehre mit festen und beweglichen Verschlüssen, Bauwerke der Hochwasserentlastungen, wie z.B. Sammelrinnen oder Schachtüberfälle, Konstruktionen in der Wasserversorgung und Abwasserbehandlung zur Überleitung in eine nächste Behandlungsstufe wie z. B. Zu- oder Ablaufrinnen oder Messwehre in der Hydrologie bzw. im hydraulischen Versuchswesen zur Abflussmessung sein.

Überfälle werden nach Ihrer Form im Querschnitt oder Längsschnitt, ihres Anströmens, ihrer Strahleigenschaft, ihrer Beeinflussung aus dem Unterwasser, ihrer Funktion bzw. Aufgabe unterschieden und benannt. Oft tragen Überfälle auch den Namen der Personen die sich ihre Konstruktion ausgedacht und diese untersucht haben, wie z. B. das Thomson-Wehr (Dreiecküberfall, meist 90°), das Sutor-Wehr (Proportionalüberfall) oder das Cipoletti-Wehr (Trapez-Überfall).

Überfälle haben im Querschnitt, also der Ansicht in Strömungsrichtung, meist eine rechteckige Form, können aber auch als Kreis, Dreieck, Trapez, Parabel oder andere Formen ausgebildet sein (Bild 1).

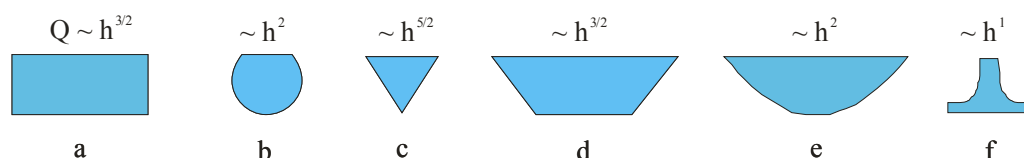


Bild 1: Ansichten von Überfällen a) Rechtecküberfall, b) Kreisüberfall, c) Dreiecküberfall, d) Trapezüberfall, e) Parabelüberfall, f) Proportionalüberfall

Diese Querschnitte bestimmen den funktionellen Zusammenhang zwischen Abfluss und Überfallhöhe $Q = f(h^x)$. In der Überfallformel ergibt sich der Exponent x von h aus diesen Querschnittsansichten.

Mit der Form des Überfalles in Längsrichtung, dem Längsschnitt, wird in den breitkronigen, den schmalkronigen, den ausgerundeten, den scharfkantigen und andere Überfälle unterschieden (Bild 2).

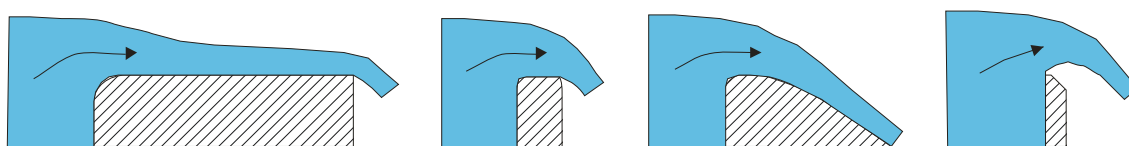


Bild 2: breitkroniger, schmalkroniger, ausgerundeter und scharfkantiger Überfall

Nach der Anströmrichtung im Grundriss werden Überfälle in senkrecht (rechtwinklig), schräg, radial und parallel angeströmte Überfälle eingeteilt (Bild 3).

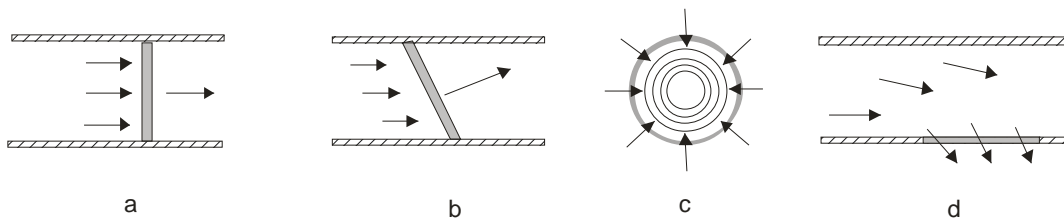


Bild 3: Überfälle mit a) senkrechter, b) schräger, c) radialer, d) paralleler Anströmend

Bezüglich der Strahlformen unterscheiden sich Überfälle in Konstruktionen mit anliegendem Strahl mit Überdruck- oder Unterdruckausbildung an der Strahlunterseite, mit abgelöstem freiem Strahl bei scharfkantigen belüfteten Überfällen oder anliegendem Strahl bei unbelüfteten Überfällen. Ein anliegender Strahl beim rundkronigen Überfall kann einen Unterdruck erzeugen, der gegenüber dem abgelösten Strahl zu einer Erhöhung des Abflusses führt. Aber auch der abgelöste Strahl über einen scharfkantigen Überfall weist höhere Geschwindigkeiten und damit höhere Abflüsse auf, als der Strahl über das breitkronige Wehr. An der Unterseite des Strahles herrscht Umgebungsdruck oder sogar Unterdruck, wenn sich z.B. ein unbelüfteter Strahl ansaugt. Die Druckreduzierung an der Unterseite des Strahles führt zu höheren Geschwindigkeiten und damit zu einem größeren Abfluss.

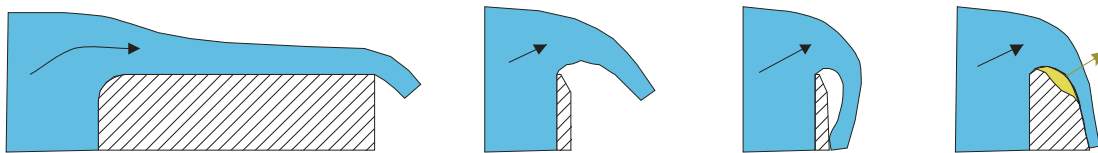


Bild 4: Strahlformen beim Überfall

Überfälle unterscheiden sich weiterhin hinsichtlich ihrer Beeinflussung aus dem Unterwasser. Er gibt den vollkommenen (unbeeinflussten) und den unvollkommenen (vom Unterwasser beeinflussten) Überfall. Man spricht hier auch vom Rückstau aus dem Unterwasser. Für kleine Messwehre kann die Oberflächenspannung des Wassers den Abfluss beeinflussen.

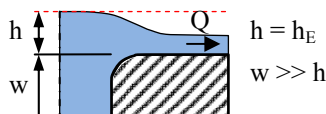
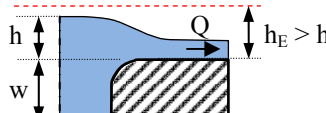
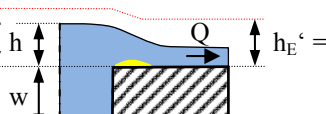
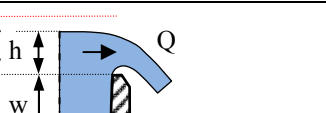

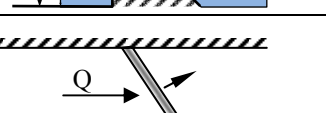

2 Überfallbeiwert

Als Überfallbeiwert oder Abflussbeiwert wird ein Korrekturwert bezeichnet, der die Abweichung zwischen theoretisch aufgestellter oder abgeleiteter Überfallformel und dem real auftretenden Abfluss definiert. In der Regel ist dieser Beiwert dimensionslos, kann aber auch durch die Einbeziehung der Erdbeschleunigung dimensionsbehaftet sein. Die einzelnen Einflussgrößen auf den Durchfluss bzw. auf den Überfallbeiwert sollen hier getrennt betrachtet werden, um ihre Auswirkungen auf deren Größe besser einschätzen zu können. Der dimensionslose Überfallbeiwert μ soll sich allgemein zusammensetzen aus:

$$\mu = \mu_0 \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 \cdot \mu_3 \cdot \mu_4 \cdot \mu_5 \cdot \mu_6 = \prod \mu_i \quad (1)$$

- μ_0 Basiswert des Überfallquerschnittes (Eulergleichung)
 μ_1 Einfluss der Zulaufgeschwindigkeit (kinetische Energie)
 μ_2 Einfluss durch Verluste und Einschnürung (Energieverluste)
 μ_3 Einfluss der Strahlform z.B. durch Saugdruck (v -Verteilung)
 μ_4 Unterwassereinfluss (Rückstau)
 μ_5 Einfluss bei schrägen Anströmens
 μ_6 Pfeilereinfluss

Tabelle 1 Berücksichtigung einzelner Einflussfaktoren im Überfallbeiwert

Überfall	Basiswert	Zulaufenergie	Zuströmung	Strahlbruck	Rückstau	Winkelinfluss	Pfeilereinfluss
$Q = \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot h^{3/2}$ $\mu = \prod_{i=1}^6 \mu_i$							
	μ_0	1	1	1	1	1	1
	μ_0	μ_1	1	1	1	1	1
	μ_0	μ_1	μ_2	1	1	1	1
	μ_0	μ_1	1	μ_3	1	1	1
	μ_0	μ_1	1	μ_3	μ_4	1	1
	μ_0	μ_1	1	μ_3	1	μ_5	1
	μ_0	μ_1	1	μ_3	1	1	μ_6

2.1 Basiswert μ_0

Ausgangspunkt dieser Betrachtung soll ein rechteckiger, unbeeinflusster Überfall sein, der ausgerundet angeströmt und im Längsschnitt breitkronig ausgebildet ist, so dass bei dessen Überströmung die verlustfreie Energiegleichung gilt und ein Übergang vom Strömen zum Schießen (Fließwechsel) stattfindet.

Am Beispiel des Rechteckquerschnittes mit dem Vergleich zur allgemeinen Überfallformel nach *Poleni* (siehe *Bollrich 2007* und *DIN 19558*) soll die Ermittlung des Überfallbeiwertes μ_0 gezeigt werden.

Beispiel Rechteckquerschnitt

Die allgemeine Überfallformel nach *Poleni* (siehe *Bollrich 2007* und *DIN 19558*) lautet für den Rechteckquerschnitt:

$$Q = \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot h^{3/2} = C \cdot b \cdot h^{3/2} \quad \text{mit} \quad C = \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot \sqrt{2g} \quad (2)$$

Als spezifischer Abfluss q wird der auf die Überfallbreite b bezogene Abfluss Q bezeichnet.

$$q = \frac{Q}{b} \quad (3)$$

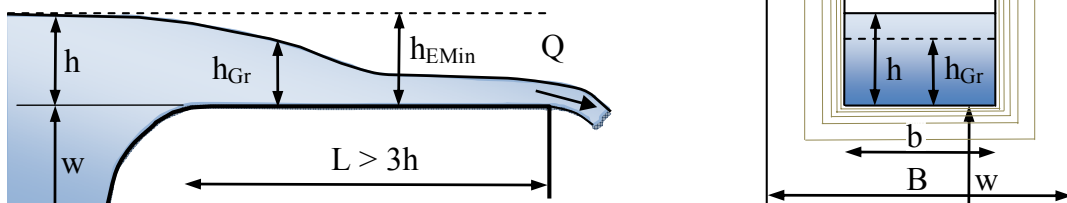


Bild 5: Breitkroniger Überfall (verlustfrei, ohne Zulaufeinfluss $w \gg h$, keine Einschnürungen, kein Unterwassereinfluss)

Aus dem Extremalprinzip für das Energieminimum kann unter Berücksichtigung folgender Annahmen Gleichung (4) geschrieben werden:

- $w \gg h$ und $B \gg b$
- im Zulauf stromlinienförmig ausgerundet, keine Einschnürungen
- kein Unterwassereinfluss
- $L > 3 h$, Fließwechsel auf dem Überfallrücken

$$h = h_E = h_{EMin} = \frac{3}{2} \cdot h_{gr} = \frac{3}{2} \cdot \sqrt[3]{\frac{Q^2}{g \cdot b^2}} \quad (4)$$

Das Einsetzen dieser Gleichung in die Abflussformel nach *Poleni* ergibt den theoretischen Überfallbeiwert des Rechteckquerschnittes μ_0 :

$$Q = \frac{2}{3} \cdot \mu_0 \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot h_E^{3/2} = \frac{2}{3} \cdot \mu_0 \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot \left(\frac{3}{2}\right)^{3/2} \cdot \frac{Q}{\sqrt{g \cdot b}} \quad (5)$$

$$\mu = \mu_0 = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0,577 \quad \text{bzw.} \quad C = C_0 = 1,705 \text{ m}^{1/2}/\text{s.}$$

Tabelle 2 Überfallbeiwerte μ_0 bei $h = h_E$ ohne Berücksichtigung anderer Überfalleinflüsse.

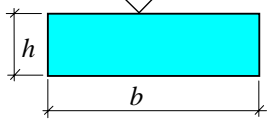
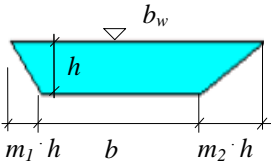

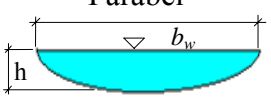
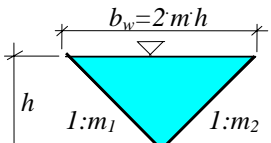
Überfallansicht	Grenztiefe	Überfallformel	μ_0
<p>Rechteck</p> 	$h_{gr,R} = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{g \cdot b^2}}$	$Q = \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot \sqrt{2g} \cdot b \cdot h^{1,5}$	0,577
<p>Trapez</p> 	$h_{gr,T} = h_{gr,R} \cdot \frac{\sqrt[3]{1 + 2 \cdot h_{gr,T}/b'}}{1 + h_{gr,T}/b'}$ $h_{gr,T} \cong h_{gr,R} \cdot 0,76 \sqrt[3]{\frac{h_{gr,R}}{b'}}$	$Q = \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot \sqrt{2g} \cdot b \cdot h^{1,5} \cdot \left(1 + \frac{4}{5} \frac{h}{b'}\right)$ $b' = \frac{b}{m} \quad m = \frac{m_1 + m_2}{2}$	0,52
<p>Kreis</p> 	$h_{gr,K} \cong \sqrt[4]{\frac{Q^2}{g \cdot d}}$	$Q = \mu \cdot \sqrt{g} \cdot d^{\frac{2}{3}} \cdot h^{\frac{11}{6}}$	0,529
<p>Parabel</p> 	$h_{gr,P} = \sqrt[4]{\frac{27 \cdot c \cdot Q^2}{32 \cdot g}}$ $c = \frac{4 \cdot h}{b_w^2}$	$Q = \mu \cdot \sqrt{\frac{g}{c}} \cdot h^2$	0,612
<p>Dreieck</p> 	$h_{gr,D} = \sqrt[5]{\frac{2 \cdot Q^2}{m^2 \cdot g}}$ $m = \frac{m_1 + m_2}{2}$	$Q = \frac{8}{15} \mu \cdot \sqrt{2g} \cdot m \cdot h^{2,5}$	0,537

Tabelle 2 zeigt die Anwendung dieses Prinzips auf andere Ansichtsformen aus Bild 1 zur Ermittlung des Basisüberfallbeiwertes μ_0 .

2.2 Beiwert μ_1 der Zulaufgeschwindigkeit

Der Einfluss der Zulaufgeschwindigkeit auf den Überfallbeiwert μ soll wieder am Beispiel des Rechteckquerschnittes erläutert werden.

Der Überfallbeiwert μ ergibt sich dann als Produkt des Basisbeiwertes μ_0 und des Beiwertes μ_1 aus dem Einfluss der Zulaufgeschwindigkeit.

$$\mu_1 = f\left(\frac{h}{w}; \frac{b}{B}\right) \quad \mu = \mu_0 \cdot \mu_1 \quad \mu_E = \mu_0$$

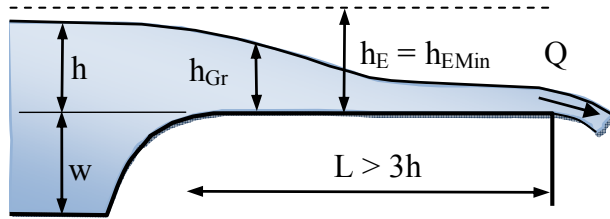


Bild 6: Breiten Überfall (mit Zulaufeinfluss, verlustfrei, keine Einschnürungen, kein Strahl- und Unterwassereinfluss)

Alle anderen Einflüsse werden als nicht vorhanden betrachtet, d. h. der Überfall ist weiterhin ausgerundet, ohne Berücksichtigung von Energieverlusten, es gibt keinen Strahleinfluss oder Unterwassereinfluss.

Mit Einsetzen von h_E mit

$$h_E = h + \frac{v^2}{2g} = h + \frac{Q^2}{2g \cdot B^2 \cdot (h+w)^2} \quad (6)$$

und μ_0 bzw. μ und h in Gleichung (2) und Gleichsetzen beider Gleichungen ergibt sich μ_1 aus dem Verhältnis von $(h_E/h)^{3/2}$.

$$Q = \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot h^{3/2} = \frac{2}{3} \cdot \mu_0 \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot \left(h + \frac{Q^2}{2g \cdot B^2 \cdot (h+w)^2} \right)^{3/2} \quad (7)$$

$$\mu_1 = \left(\frac{h_E}{h} \right)^{1,5} = \left(1 + \mu^2 \cdot \frac{2^2}{3^2} \cdot \left(\frac{b}{B} \right)^2 \cdot \left(\frac{h}{h+w} \right)^2 \right)^{1,5} \quad (8)$$

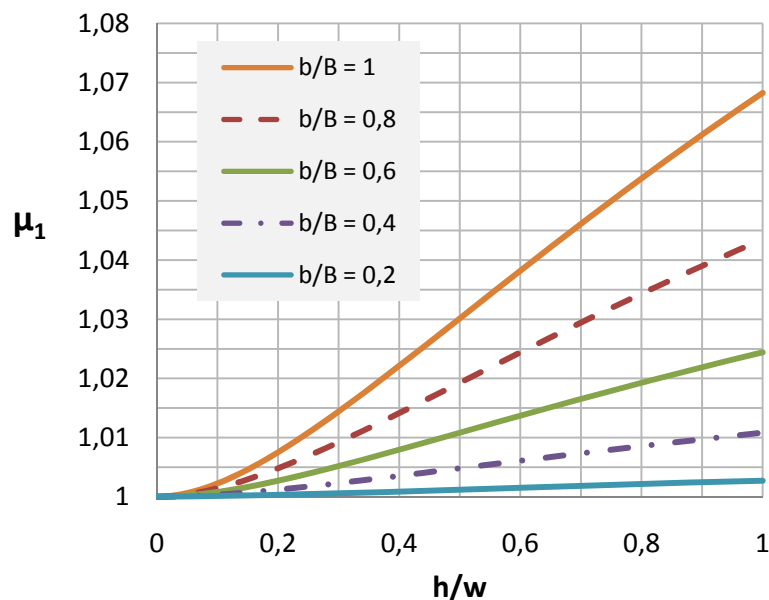


Bild 7: Einfluss der Zulaufgeschwindigkeit auf den Überfallbeiwert für den Rechteckquerschnitt

Der Einfluss der Zulaufgeschwindigkeit für den Rechteckquerschnitt bestimmt sich also aus der implizit zu lösenden Gleichung (8), die in guter Näherung in Gleichung (9) übergeht, wenn die Schwankungen von μ nicht zu groß werden. Bei großen Schwankungen von μ wie z. B. beim Standardüberfall muss Gleichung (8) durch eine Iteration zur Bestimmung von μ_1 gelöst werden.

$$\mu_1 \cong \left(1 + 0,16 \cdot \left(\frac{b}{B} \right)^2 \cdot \left(\frac{h}{h+w} \right)^2 \right)^{1,5} \quad (9)$$

Analog können diese Betrachtungen für die anderen Überfallquerschnitte durchgeführt und Einflussgleichungen auf den Überfallbeiwert für die Zulaufgeschwindigkeit aus den theoretischen Ansätzen gefunden werden (siehe Tabelle 3).

2.3 Beiwert μ_2 der Verluste durch Strahleinschnürung

Strahleinschnürungen mit anschließendem Wiederanlegen des Strahles am breitkronigen Überfall führen zu einem Verlust und damit zur Verringerung des Überfallbeiwertes.

$$\mu_2 = f(\text{Form der Anströmkante, } b/B, h/w) < 1$$

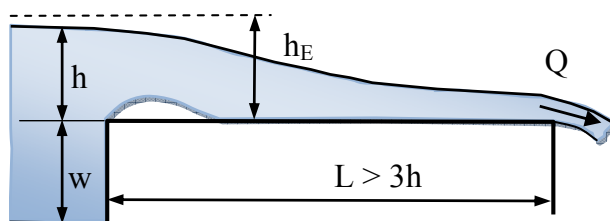
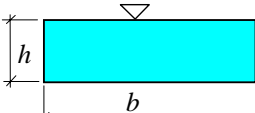
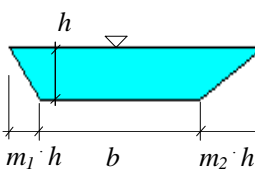
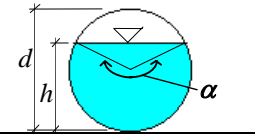
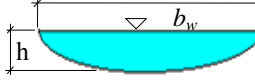
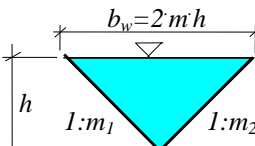


Bild 8: breitkroniger Überfall mit Strahlablösung und Einschnürung ($\mu_2 < 1$)

Die Einschnürung selbst ist abhängig von der Form des Überfalles im Längsschnitt also der Form der Anströmkante und der Anströmrichtung. Scharfe Kanten erzeugen eine große Strahleinschnürung, wogegen abgeschrägte oder abgerundete einen geringeren Einfluss haben. Außerdem hat die Wehrhöhe w und die Zuströmbreite B einen Einfluss auf die Ablösung und die Einschnürung, da die Stromlinienführung den Winkel der Strahlablösung an der Sohle bzw. der Strahleinschnürung in der Breite bestimmt. Scharfkantige Überfälle beeinflussen diesen Beiwert durch ihre Neigung (bewegliche Wehre) und Ausrundung. Nimmt man an, dass die für den Überfall zur Verfügung stehende Energiehöhe nur noch

$h_E^* = \varepsilon \cdot h_E$ beträgt, dann wird $\mu_2 = \varepsilon^x$ mit dem Exponenten x der Überfallhöhen aus den Überfallformeln. Da ε sicher nur gering von 1 abweicht, wird auch μ_2 nur wenig kleiner als 1, so dass dieser Beiwert in der Regel nicht extra aufgeführt wird. Energieverluste können sich eigentlich nur am breitkronigen Wehr ausbilden, wenn es bei der Zuströmung zu turbulenten Ablösungen kommt, die anschließend die Möglichkeit haben, sich wieder zu beruhigen. Bei scharfkantigen oder ausgerundeten Überfällen sind Energieverluste nicht von Strahlwirkungen zu trennen und zu unterscheiden.

Tabelle 3 Überfallbeiwert μ_1 zur Berücksichtigung Zulaufgeschwindigkeit und μ_2 zur Berücksichtigung der Energieverlustes $\varepsilon = 0,95 \dots 1$

Überfallansicht	μ_0	μ_1	μ_2
<p>Rechteck</p> 	0,577	$\left(1 + 0,16 \cdot \left(\frac{b}{B}\right)^2 \cdot \left(\frac{h}{h+w}\right)^2\right)^{1,5}$	$\varepsilon^{1,5}$
<p>Trapez</p> 	0,52	$\left(1 + 0,16 \cdot \left(\frac{b + 0,94 \cdot m \cdot h}{B}\right)^2 \cdot \left(\frac{h}{h+w}\right)^2\right)^{1,5}$	$\varepsilon^{1,5}$
<p>Kreis</p> 	0,529	$\left(1 + 0,15 \cdot \frac{h}{d} \cdot \left(\frac{d}{B}\right)^2 \cdot \left(\frac{h}{h+w}\right)^2\right)^2$	ε^2
<p>Parabel</p> 	0,612	$\left(1 + 0,05 \cdot \left(\frac{b_w}{B}\right)^2 \cdot \left(\frac{h}{h+w}\right)^2\right)^2$	ε^2
<p>Dreieck</p> 	0,537	$\left(1 + 0,021 \cdot \left(\frac{b_w}{B}\right)^2 \cdot \left(\frac{h}{h+w}\right)^2\right)^{2,5}$	$\varepsilon^{2,5}$

2.4 Einfluss des Strahldruckes - Beiwert μ_3

Einerseits kommt es bei einem scharfkantigen Überfall mit einem sich ablösenden freien Strahl zur Strahleinschnürung, andererseits findet eine Durchflusserhöhung wegen des geringeren Druckes an der Unterkante des Überfallstahles gegenüber dem breitkronigen Überfall statt.

Noch extremer kann sich beim anliegenden rundkronigen Überfall, wie z. B. beim Standardüberfall an der Strahlunterkante ein Unterdruck ausbilden (Bild 9). Diese Druckbedingungen führen zur Vergrößerung der Geschwindigkeit des Überfallstrahles und damit zur Durchflusserhöhung. Es findet eine Art „Ansaugen“ des Strahles statt. Eine Verstärkung dieses Effektes kann man auch bei schlechter oder fehlender Belüftung des Überfallstrahles an scharfkantigen Überfällen beobachten. Die dadurch entstehende Sogwirkung führt zu einer Erhöhung des Überfallbeiwertes.

$$\mu_3 = f(\text{Form des Überfalles, Strahlform, Strahlbelüftung, Sogwirkung } h/h_B)$$

$$\mu_3 \geq 1$$

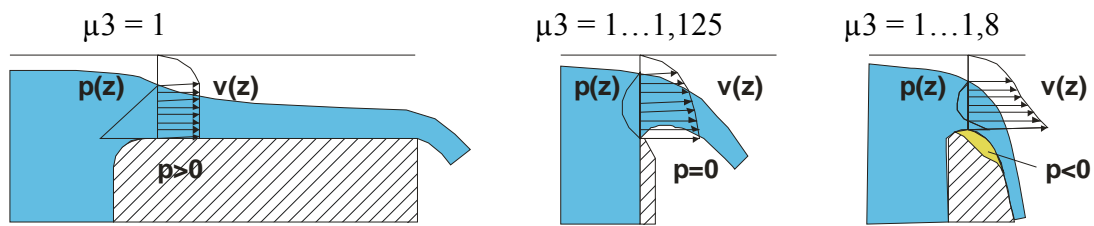


Bild 9: Druckbedingungen am Überfall und damit verbundene Geschwindigkeitsverteilungen,
links: breitkronig (ausgerundet), hydrostatische Druckverteilung,
mitte: scharfkantig, Umgebungsdruck – quadratisches Geschwindigkeitsprofil
rechts: Standardwehr, Unterdruck - stark verzerrtes Geschwindigkeitsprofil

2.5 Der unvollkommene Überfall – Beiwert μ_4

Ein Sonderfall ist die Berücksichtigung der Beeinflussung des Abflusses aus dem Unterwasser, der sogenannte Rückstau. Dieser tritt auf, wenn der Unterwasserstand über die Höhe der Überfallkante ansteigt. Er ist abhängig von der Wehrform. Dieser Beiwert μ_4 soll hier nur der Vollständigkeit halber genannt werden, ohne näher darauf einzugehen. Angaben dazu sind in Bollrich (2007) zu finden.

$$\mu_4 = f(\text{Überfallform}, h_U/h)$$

$$\mu_4 \leq 1$$

2.6 Einfluss der schrägen Anströmung – Beiwert μ_5

Die schräge Anordnung der Überfallkante zur Anströmrichtung führt zur Vergrößerung der Überfallbreite.

$$b_\alpha = \frac{b}{\sin \alpha} \quad (10)$$

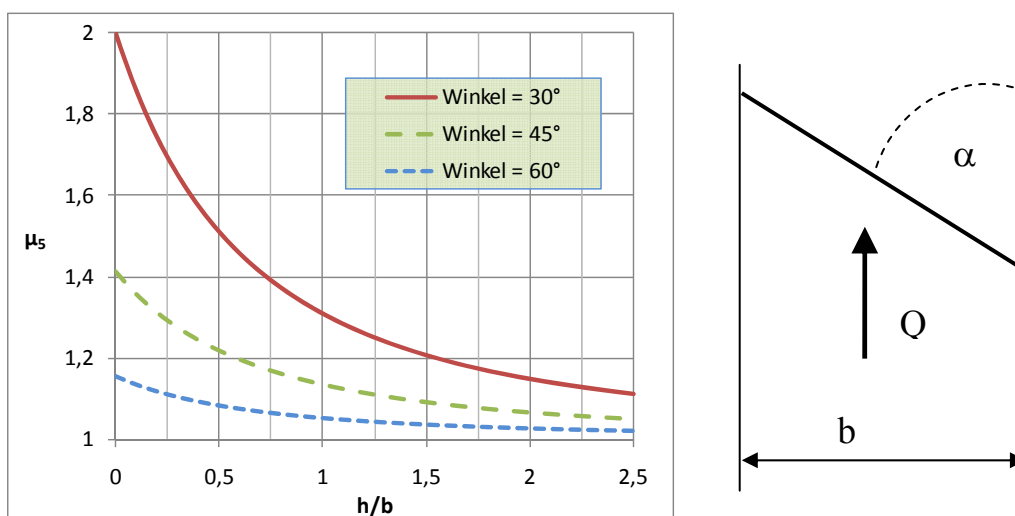


Bild 10: Einfluss auf den Überfallbeiwert bei schiefen Wehren nach Gentilini

Diese vergrößerte Breite wird allerdings nur bei sehr geringer Zulaufgeschwindigkeit voll wirksam. Wird die Zulaufgeschwindigkeit größer, kommt es wegen

der Trägheit der Strömung zur Einschnürung und wieder zur Reduzierung von b_∞ . Untersuchungen dazu hat Gentilini (siehe Schmidt, 1957) durchgeführt (Bild 10).

$$\begin{aligned} \mu_5 &= f(\text{Winkel des schiefen Wehres, } h/b) \\ \mu_5 &\geq 1 \\ \mu_5 &= 1 + \left(\frac{1}{\sin\alpha} - 1\right) \cdot \frac{1}{(1+0,75 \cdot h/b)^2} \end{aligned} \quad (11)$$

2.7 Einfluss von Pfeilern – Beiwert μ_6

Die Anordnung von Pfeilern auf dem Überfallrücken führt natürlich zur Verringerung der Überfallbreite, mindestens um die Pfeilerbreite, meistens aber etwas mehr, da Ablösungen und Einschnürungen zu einer weiteren Verringerung der effektiven Abflussfläche und des Abflussquerschnittes führen. Ragen die Pfeiler in das Becken vor dem Wehr weit hinein, dann kann jeder Bereich zwischen den Pfeilern als ein einzelnes Wehrfeld ohne weitere seitliche Einschnürung betrachtet werden. Wird der Pfeiler aber erst auf der Wehrkrone angeordnet, wird die bereits beschleunigte Strömung besonders stark beeinflusst und der Überfallstrahl zusätzlich eingeschnürt.

$$\begin{aligned} \mu_6 &= f(\text{Pfeilerform und Anordnung des Pfeilers, } h_E/b) \\ \mu_6 &\leq 1 \quad b_w - \text{wirksame Wehrbreite} \\ \mu_6 &= \frac{b_w}{b} = 1 - \frac{h_E}{b} \cdot (n_L - n_R) \end{aligned} \quad (12)$$

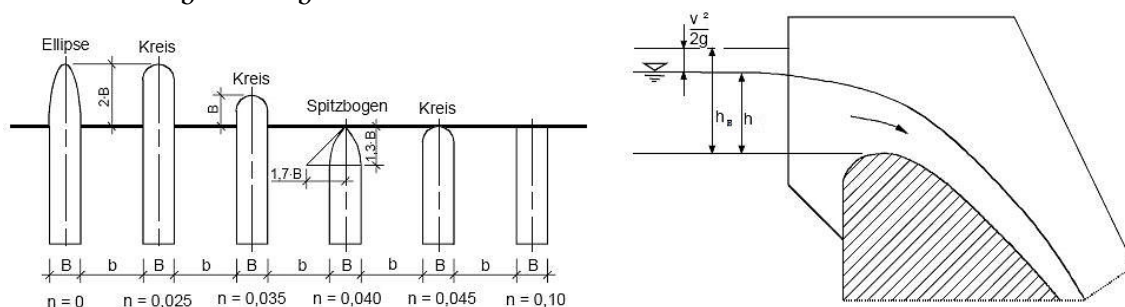


Bild 11: Pfeilerformen und deren Beiwerte zur Ermittlung der wirksamen Überfallbreite b_w

3 Anwendungsbeispiele

Überfallbeiwerte werden meist empirisch in Modellversuchen ermittelt. Dabei wird in der Regel nicht nach Einflussfaktoren getrennt, sondern ein Gesamtbeiwert bestimmt. Die Untersuchung einzelner, voneinander getrennter Einflussfaktoren ist von Hager (1995) bekannt. Er unterteilte den Überfallbeiwert in einen Basiswert, Einflüssen aus Zulaufbedingungen, Viskosität, Einschnürung bzw. Ausrundung.

Die Untersuchung der einzelnen Einflussfaktoren ist nur durch konsequente Trennung der Faktoren des Überfallbeiwertes am physikalischen Modell möglich. In der Regel werden die Beiwerte bei Untersuchungen vermischt. Da die einzelnen Beiwerte einerseits den Durchfluss steigern aber andererseits verringern, sind die Schwankungen des Überfallbeiwertes oft nur gering und es wird auf genauere Untersuchungen verzichtet.

Hier soll an drei Beispielen auf mögliche Verbesserungen bei der Bestimmung des Überfallbeiwertes durch eine getrennte Untersuchung einzelner Einflussfaktoren eingegangen werden.

3.1 Beispiel: Dreiecküberfall – Messwehr

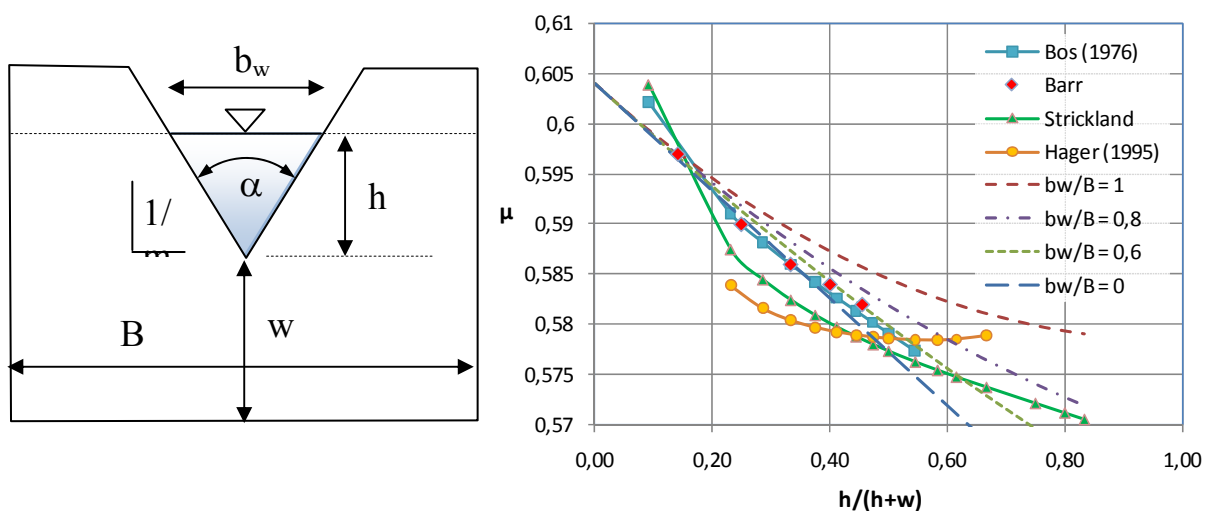


Bild 12: Scharfkantiges Dreieckwehr mit Vergleich der Überfallbeiwerte für das 90°-Wehr nach Gleichung (14)

Das erste Beispiel zeigt ein Thomson-Überfall ($\alpha = 90^\circ$, $m = 1$) mit Messwerten bzw. Analysen von Messwerten von 4 Autoren, die u.a. in Skripten von Loiskandl (2003), Valentin (2003) bzw. in Rössert (1999) zu finden waren.

In Bild 12 wurde mit Hilfe der Gleichung (1), der Aufteilung des Überfallbeiwertes in einzelne Einflussfaktoren, der Einfluss der Zulaufbedingungen erkennbar dargestellt. Durch den Vergleich mit den Messwerten bzw. den aus Messwerten gewonnene Gleichungen der anderen Autoren ergaben sich folgende Beiwerte.

$$\mu = \mu_0 \cdot \mu_1 \cdot \mu_3$$

$$\mu_0 = 0,537$$

$$\mu_1 = \left(1 + \mu^2 \cdot \frac{4^2}{15^2} \cdot \left(\frac{b_w}{B} \right)^2 \cdot \left(\frac{h}{h+w} \right)^2 \right)^{2,5} \cong \left(1 + 0,021 \cdot \left(\frac{b_w}{B} \right)^2 \cdot \left(\frac{h}{h+w} \right)^2 \right)^{2,5} \quad (13)$$

$$\mu_3 = 1,125 - 0,1 \cdot \frac{h}{h+w}$$

$$\mu = 0,537 \cdot \left(1 + 0,021 \cdot \left(\frac{b_w}{B} \right)^2 \cdot \left(\frac{h}{h+w} \right)^2 \right)^{2,5} \cdot \left(1,125 - 0,1 \cdot \frac{h}{h+w} \right) \quad (14)$$

$$Q = \frac{8}{15} \mu \cdot \sqrt{2g} \cdot m \cdot h^{2,5}$$

3.2 Beispiel: Rechtecküberfall – Messwehr

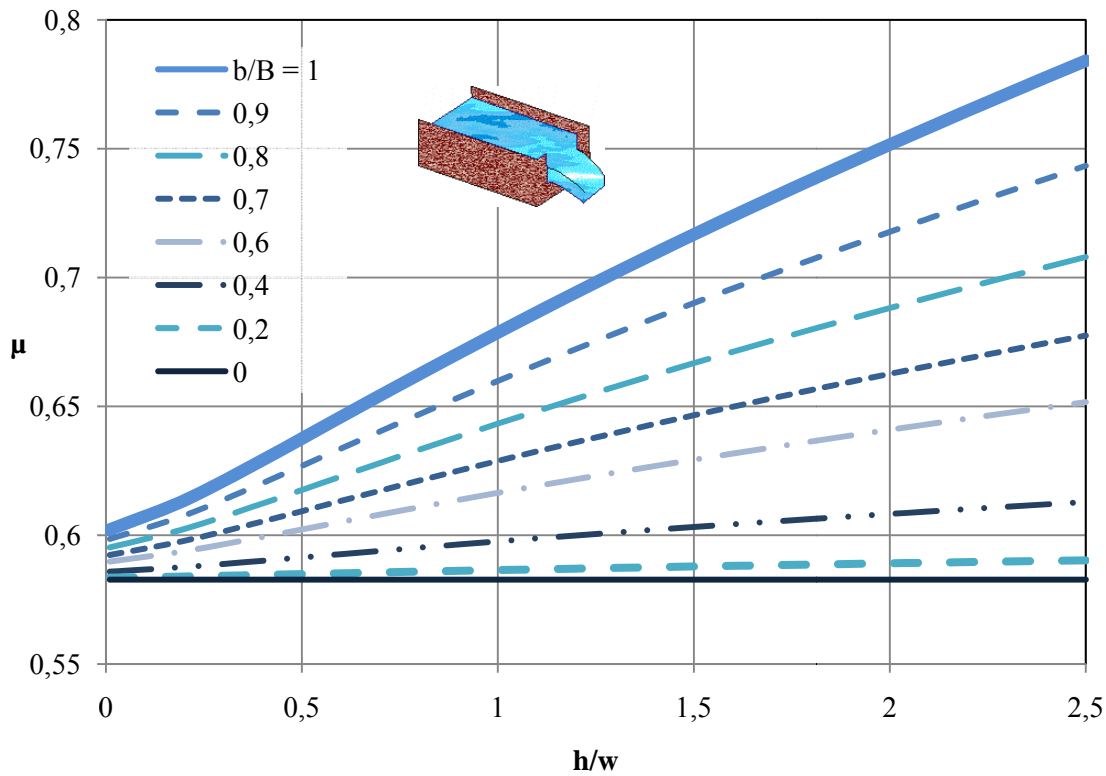
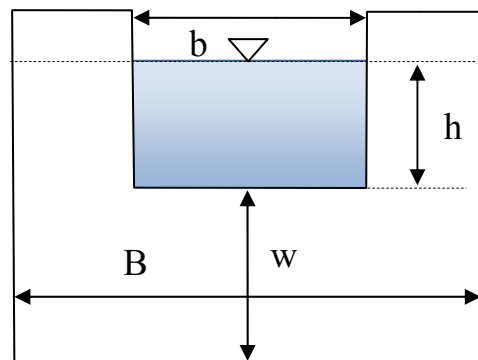


Bild 13: Einfluss der Zulaufbedingungen auf den Überfallbeiwert am Rechteckwehr in Anlehnung an ISO (1980) und LMNO Engineering nach Gleichung (16)

Das zweite Beispiel zeigt ein scharfkantiges Messwehr als Rechteckwehr. Es wurden die Beiwerte μ_0 und μ_1 nach Tabelle 3 verwendet und für die Strahlverformung μ_3 aus Vergleichsrechnungen (Hager (1995) und LMNO (2008)) ermittelt. Die Ergebnisse sind in Bild 3 dargestellt. Bedingung ist eine Belüftung des Überfallstrahles.



$$\mu_0 = 0,577$$

$$\mu_1 = \left(1 + \mu^2 \cdot \frac{2^2}{3^2} \cdot \left(\frac{b}{B} \right)^2 \cdot \left(\frac{h}{h+w} \right)^2 \right)^{1,5} \cong \left(1 + 0,16 \cdot \left(\frac{b}{B} \right)^2 \cdot \left(\frac{h}{h+w} \right)^2 \right)^{1,5} \quad (15)$$

$$\begin{aligned}\mu_3 &= 1,01 + 0,033 \cdot \left(\frac{b}{B}\right)^2 \cdot \left(1 + 2 \cdot \frac{h}{w}\right) \\ \mu &= 0,577 \cdot \left(1 + 0,16 \cdot \left(\frac{b}{B}\right)^2 \cdot \left(\frac{h}{h+w}\right)^2\right)^{1,5} \cdot \left(1,01 - 0,033 \cdot \left(\frac{b}{B}\right)^2 \cdot \left(1 + 2 \cdot \frac{h}{w}\right)\right) \\ Q &= \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot \sqrt{2g} \cdot b \cdot h^{1,5}\end{aligned}\quad (16)$$

3.3 Beispiel: Standardüberfall

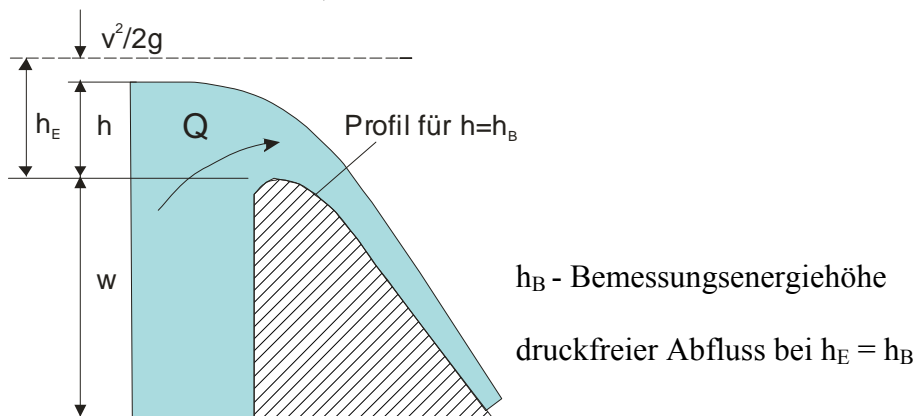


Bild 14: Standardprofil

Beim Standardprofil wird in der Regel der dimensionsbehaftete Überfallbeiwert C_E angegeben. Der auf die Energieüberfallhöhe bezogene Wert beinhaltet bereits die Zuströmbedingungen, die sich aus der Wehrhöhe w und der Zuströmbreite B ergeben. Oft wird der Einfluss der Zuströmbreite vernachlässigt und die Überfallformel für den spezifischen Durchfluss q verwendet.

$$\begin{aligned}q &= C_E \cdot h_E^{1,5} = C \cdot h^{1,5} \\ C &= \frac{2}{3} \cdot \sqrt{2g} \cdot \mu = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{2g} \cdot \mu_0 \cdot \mu_1 \cdot \mu_3 = C_0 \cdot \mu_1 \cdot \mu_3 = C_E \cdot \mu_1 \\ \mu_0 &= 0,577 \text{ bzw. } C_0 = 1,705 \text{ m}^{1/2}/\text{s}\end{aligned}$$

Das Verhältnis der beiden Überfallbeiwerte C und C_E entspricht der Zuströmbedingung μ_1 für das Rechteckprofil. Da der Überfallbeiwert μ bei starker Überlastung des Standardüberfalles $h > h_B$ stark ansteigt und größer als 1 werden kann, ist für den Standardüberfall die Verwendung der Überschlagsformel für μ_1 aus Tabelle 3 nicht möglich. Der Beiwert muss iterativ aus Gleichung (8) berechnet werden. Mit $b = B$ für den spezifischen Abfluss ergibt sich μ_1 aus Gleichung (8) zu:

$$\mu_1 = \frac{C}{C_E} = \left(\frac{h_E}{h}\right)^{1,5} = \left(1 + \mu^2 \cdot \frac{4}{9} \cdot \left(\frac{h}{h+w}\right)^2\right)^{1,5}\quad (17)$$

Der Einfluss des Strahldruckes auf den Abfluss wird mit μ_3 ermittelt. Den Überfallbeiwert C_E untersuchten u.a. Knapp und Schirmer für den Überdruckbereich $h/h_B \leq 1$ bzw. den Unterdruckbereich $h/h_B > 1$. Für den Bemessungsfall $h_E = h_B$ ergibt sich der Strahleinfluss als Funktion von h_B/w nach Knapp (1960) zu:

$$\mu_{3B} = \frac{C_{EB}}{C_0} = 1,355 \cdot \left(0,9674 - 0,015 \cdot \left(\frac{h_B}{w} \right)^{0,9742} \right)^{1,5} \quad (18)$$

Für ein mit h_B konstruiertes Profil wird dann der Strahleinfluss μ_3 mit Hilfe von μ_{3B} (Gleichung (18)) für den Überdruckbereich $h/h_B \leq 1$ nach Knapp (1960) berechnet zu:

$$\mu_3 = \frac{C_E}{C_0} = \left(1 + \frac{h_E}{h_B} \right)^{3,3219 \cdot \log(\mu_{3B})} \quad (19)$$

Für den Unterdruckbereich $h/h_B > 1$ wurde die Gleichung von Schirmer (1976) zur Bestimmung von μ_3 umgestellt zu:

$$\begin{aligned} \mu_3 = \frac{C_E}{C_0} = \mu_{3B} \cdot & \left(0,8003 + 0,0814 \cdot \frac{h_B}{w} - 0,00646 \cdot \left(\frac{h_B}{w} \right)^2 - 0,0822 \cdot \frac{h_E}{w} \right. \\ & \left. + 0,2566 \cdot \frac{h_E}{h_B} - 0,0619 \cdot \left(\frac{h_E}{h_B} \right)^2 + 0,00598 \cdot \left(\frac{h_E}{h_B} \right)^3 \right) \end{aligned} \quad (20)$$

Mit den Gleichungen (18), (19) und (20) kann nun der Überfallbeiwert $C_E = C_0 \cdot \mu_3$ des Standardwehres berechnet werden. Eine Iteration zur Ermittlung von Q ist allerdings nicht zu umgehen. Entweder man sucht die Lösung über h_E oder iteriert μ_1 mit Hilfe der Gleichung (17) und berechnet Q aus der Überfallformel mit μ bzw. C .

$$q = \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot \sqrt{2g} \cdot h^{3/2} = C \cdot h^{3/2} \quad \text{mit}$$

$$\begin{aligned} \mu &= \mu_0 \cdot \mu_1 \cdot \mu_3 & \text{bzw.} \\ C &= C_0 \cdot \mu_1 \cdot \mu_3 \end{aligned}$$

4 Zusammenfassung

Die Aufteilung des Überfallbeiwertes in einzelne Einflussfaktoren ermöglicht eine viel bessere Auswertung, Bewertung und den Vergleich von empirischen Werten unterschiedlicher Modellversuche. Wie am Beispiel des Standardüberfalles gezeigt, können die hier von den Zulaufbedingungen unbeeinflusst ermittelten Beiwerte auf der Basis der Energieüberfallhöhe einfacher auf die Gleichung mit der messbaren Überfallhöhe übertragen werden. Durch die Vermischung der einzelnen Einflussfaktoren bei der empirischen Ermittlung der Zusammenhänge zwischen Abfluss und Überfallhöhe ergeben sich zwar teilweise einfacheren Gleichungen für den Überfallbeiwert, eine Übertragung auf Konstruktionen anderer Abmessungen ist aber durch die vorgegebenen Anwendungs-

grenzen der Formeln kaum möglich. Die beschriebene Vorgehensweise ermöglicht durch die Trennung der den Überfall beeinflussenden Faktoren ein besseres Verständnis und eine gesicherte Anwendung von ermittelten Beiwerten auf die Abflussberechnung bei Überfällen.

5 Literatur

Aigner, D.: Hydraulik der Wasserbehandlungsanlagen und industrieller Prozesse. in Martin/Pohl: Technische Hydromechanik 4, hydraulische und numerische Modelle. Verlag Bauwesen, 2. Auflage Berlin 2008

Bollrich, G.: Technische Hydromechanik 1, 6. Auflage. Verlag Bauwesen Berlin 2007

Bos, M.G.: Discharge measurement structures. Publication No. 161, Delft Hydraulic Laboratory, Delft 1976

Hager, W.H.: Abwasserhydraulik - Theorie und Praxis. Springer Verlag; Berlin Heidelberg New York 1995

Knapp, F.H.: Ausfluss, Überfall und Durchfluss im Wasserbau. Verlag G. Braun, Karlsruhe 1960

LMNO Engineering, Research, and Software, Ltd., is located in Athens, Ohio (USA), Debbie und Ken Edwards, Internetpresents: <http://www.lmnoeng.com> (2008)

Loiskandl, W.: Hydraulik I. Vorlesungsskript des Institut für Hydraulik und landeskulturelle Wasserwirtschaft Wien, 2003

Valentin, F.: Hydraulik II – angewandte Hydromechanik. TU München Eigenverlag, München 2003

Rössert, R.: Hydraulik im Wasserbau. 10. Auflage, Oldenburg Verlag München Wien 1999

Schmidt, M.: Gerinnehydraulik. Verlag für Technik, Berlin 1957

Schirmer, A.: Wirkungsweise und Leistungsgrenzen rundkroniger Überfälle an Talsperren bei Überlastung. Dissertation Fakultät Bau-, Wasser- und Forstwesen der TU Dresden, 1976

Autor:

apl. Prof. Dr.-Ing. habil. Detlef Aigner

Institut für Wasserbau und THM

TU Dresden

01062 Dresden

Tel.: ++49 – 351 – 463 34725

Fax: ++49 – 351 – 463 36601

detlef.aigner@tu-dresden.de