

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 78 (1960)  
**Heft:** 49

**Artikel:** Allgemeine Stau- und Senkungskurven an Streichwehren  
**Autor:** Vischer, D.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-65000>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 02.04.2025

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

## Allgemeine Stau- und Senkungskurven an Streichwehren

DK 532.532

Von **D. Vischer**, Dr.-Ing., Motor-Columbus AG, Baden

### 1. Einleitung

Die Streichwehre gelangen in der Praxis des Wasserbaues vor allem als Hochwasserentlastung in Werkkanälen oder als Regenauslass in Entwässerungsrinnen zur Anwendung. In beiden Fällen übernehmen sie die Funktion eines Ueberlaufs längs der Strömung. Ihre einfache Anlage erfordert wenig Unterhalt und ist zugleich betriebssicher. H. Engels [1]<sup>1)</sup>, der ihre Wirkungsweise vor rund 40 Jahren am Modell untersuchte, beschreibt sie in seiner entsprechenden Veröffentlichung wie folgt: «Ein Streichwehr ist ein Ausschnitt in der Seitenwandung eines Gerinnes, durch den bei höheren Wasserständen das überschüssige Wasser zur Entlastung des Gerinnes überfallartig ausfliesst.»

Eine solche Disposition ist auch für den Nichtfachmann ohne weiteres verständlich. Demgegenüber erweist sich jedoch die rechnerische Behandlung als weniger allgemein zugänglich. Infolge der seitlichen Wasserabgabe ist der Abfluss im Gerinne diskontinuierlich und damit nicht leicht zu überblicken. Der vorliegende Aufsatz möchte zur Klärung beitragen und darüber hinaus eine gewisse Vorarbeit für die Bemessung von Streichwehren an prismatischen Gerinnen leisten, indem die allgemeinen Stau- und Senkungskurven abgeleitet werden.

### 2. Hinweise auf bekannte Berechnungsverfahren

Es scheint, dass die erstbekannten Berechnungsverfahren auf Grund von rein theoretischen Ueberlegungen entwickelt wurden. Sie scheiterten aber an der vorgefassten Meinung, der Wasserspiegel längs eines Streichwehres müsse unbedingt fallen und schliesslich asymptotisch die Streichwehrkrone erreichen.

H. Engels [1, 2] antwortete darauf mit einer Reihe von Versuchen, in denen er ein Ansteigen des Wasserspiegels beobachtete. In Verallgemeinerung seiner Messungen entwickelte er seine bekannte Streichwehrformel. Indem diese einige massgebende Grössen nicht berücksichtigt, verrät sie ihre rein empirische Herkunft und darf deshalb nur beschränkt angewandt werden. Andere Hydrauliker stellten auf Grund von Versuchen dagegen ein Abfallen des Wasserspiegels am Streichwehr fest. Die Widersprüche lösten sich erst, als der Empirie eine entsprechende Theorie gegenübergestellt wurde.

H. Favre [3] veröffentlichte als erster eine umfassende Theorie über die Berechnung von stationären diskontinuierlichen Abflüssen. Die entwickelten Formeln stimmen bis auf wenige Ausdrücke mit der erweiterten Gleichung von Bernoulli überein und werden auch ähnlich wie diese behandelt. Die Wasserspiegellage wird dabei schrittweise von Profil zu Profil durch ein Probiervorgehen ermittelt. Anhand von Versuchen konnten H. Favre und sein Mitarbeiter F. Braendle [4] die praktische Brauchbarkeit ihrer Methode beweisen. Die Favreschen Formeln ermöglichen auch heute noch die genaueste Berechnung von Streichwehren und werden vor allem dort gebraucht, wo der Einfluss der Reibung und die nichtprismatische Gerinneform die Anwendung einfacherer Ausdrücke verbietet.

<sup>1)</sup> Die Zahlen in eckigen Klammern beziehen sich auf den Literaturnachweis am Schluss des Aufsatzes.

G. De Marchi [5, 6] nahm willkürlich an, dass die Energielinie im Bereich eines Streichwehres parallel zur Sohle sei. Damit setzte er voraus, dass sich in jedem Gerinnequerschnitt die Reibungskräfte mit den Schwerkräften aufheben. Theoretisch trifft dies jedoch nur beim Normalabfluss zu. Die Druck- und Trägheitskräfte fasste er zur sogenannten Stützkraft zusammen, die längs eines Streichwehres konstant ist. Hieraus entwickelte er ein interessantes graphisches und rechnerisches Verfahren zur Ermittlung der Wasserspiegellage bei diskontinuierlichen Abflüssen. Der Unterschied zwischen Strömen und Schiessen kommt dabei besonders einfach zum Ausdruck. Im ersten Fließzustand steigt der Wasserspiegel am Streichwehr, im zweiten sinkt er.

B. Gentilini [7] verglich die Theorie De Marchis mit den Ergebnissen eigener Versuche und kam zum Schluss, dass die Annahme vom Gleichgewicht der Reibungs- und Schwerkräfte dann berechtigt ist, wenn der Abfluss strömend erfolgt und die Streichwehrlänge ein gewisses Mass nicht überschreitet. Unter diesen Voraussetzungen erscheint eine Vereinfachung der Favreschen Ausdrücke im Sinne De Marchis sinnvoll.

### 3. Allgemeine Staukurven

Die Berechnung der Wasserspiegellage beim stationären und kontinuierlichen Abfluss erfolgt — wie schon erwähnt — anhand der erweiterten Bernoullischen Gleichung, die eine numerische Integration der zu Grunde liegenden Differentialgleichung ermöglicht. Der erforderliche Rechenaufwand ist selbst für einfache Gerinneformen beträchtlich. Deshalb versuchten verschiedene Hydrauliker für prismatische Gerinne eine direkte Lösung der Differentialgleichung. Als Beispiel sei hier auf die Formeln und Tabellen von Bresse für breite Rechteck-, von Tolkmitt für breite Parabel- und von Baticle für Dreieckgerinne hingewiesen [8]. Eine zusammenfassende Lösung, die für alle Querschnittformen gilt und deshalb den Namen einer *allgemeinen Staukurve* verdient, wurde von Bachmeteff entwickelt und ist kürzlich von K. Felkel [9] in gedrängter Form dargestellt worden. Zur Berücksichtigung der Querschnittform dienten dabei die sogenannten *hydraulischen Exponenten* als konstante Parameter.

Auf Grund dieser Arbeiten ist es naheliegend, für die Berechnung von stationären diskontinuierlichen Abflüssen den gleichen Weg zu beschreiten. A. Schoklitsch [10] und D. Citrini [11] haben dies für Rechteckquerschnitte mit konstanter und veränderlicher Breite bereits getan. Darüber hinaus soll hier jedoch versucht werden, die *allgemeinen Stau- und Senkungskurven* am Streichwehr für beliebige Querschnittformen aufzustellen.

### 4. Aufstellung der Formeln

#### a) Voraussetzungen

- a 1) Die Gerinneform sei prismatisch und damit die Wehrkrone parallel zur Sohle.
- a 2) Die Geschwindigkeit des seitlich über das Streichwehr abfliessenden Wassers sei nach Betrag und Richtung gleich derjenigen im Gerinne (Vernachlässigung der seitlichen Komponente).
- a 3) Die Reibungs- und Schwerkräfte seien im Gleichgewicht.

Die erste Voraussetzung ist geometrischer Natur und wird lediglich zur Vereinfachung eingeführt. Die beiden verbleibenden Voraussetzungen dagegen enthalten hydraulische Aussagen, die durch die Versuchsergebnisse von *H. Favre* [3, 4] und *B. Gentilini* [7] bestätigt worden sind. Die Grenzen dieser Aussagen müssten allerdings durch eine grössere Anzahl von Messungen noch überprüft und genauer festgelegt werden.

b) Bezeichnungen

- |                         |                                      |
|-------------------------|--------------------------------------|
| $z$ = Wasserspiegelkote | $l$ = Streichwehrlänge               |
| $h$ = Wassertiefe       | $B$ = Gerinnebreite auf der Höhe $z$ |
| $w$ = Streichwehrröhe   |                                      |

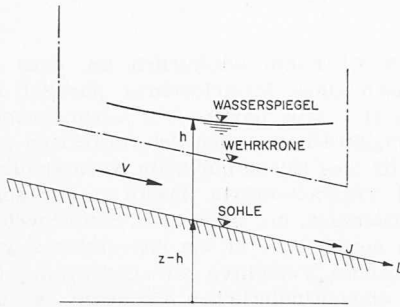


Bild 1. Schematischer Längsschnitt durch ein Streichwehr

- |                                         |                                                                                                                           |
|-----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $y$ = relative Wassertiefe $h/w$        | $\alpha$ = Koeffizient zur Berücksichtigung der Geschwindigkeitsverteilung im Querschnitt bei der Berechnung des Impulses |
| $u$ = relative Ueberströmhöhe $y-1$     | $\mu$ = Ueberfallkoeffizient nach Poleni                                                                                  |
| $x$ = relative Streichwehrlänge $l/B_w$ | $k$ = Rauigkeitswert nach Strickler                                                                                       |
| $F$ = benetzter Querschnitt             | $C$ = Rauigkeitswert nach Chézy                                                                                           |
| $P$ = benetzter Umfang                  | $g$ = Erdbeschleunigung                                                                                                   |
| $R$ = hydraulischer Radius $F/P$        | $F_r$ = Froudsche Zahl                                                                                                    |
| $J$ = Sohlgefälle                       |                                                                                                                           |
| $Q$ = Wasserführung                     |                                                                                                                           |
| $v$ = mittlere Geschwindigkeit $Q/F$    |                                                                                                                           |

Indices:

$a$  für Ausgangswerte der Berechnung (Randwerte)  
 $w$  für Werte, die zum Gerinne von der Höhe  $h = w$  gehören  
 Alle übrigen Bezeichnungen werden im Text definiert.

c) Ableitungen

Nach *H. Favre* [3] lautet die Differentialgleichung für den stationären diskontinuierlichen Abfluss unter Anwendung des Widerstandsgesetzes von Chézy und der Voraussetzung a 2) (siehe Bild 1)

$$-dz = \frac{v^2}{C^2 R} dl + \alpha \frac{v dv}{g}$$

und mit

$$dz = dh - J dl$$

$$(1) \quad J dl - dh = \frac{v^2}{C^2 R} dl + \alpha \frac{v dv}{g}$$

Die Voraussetzung a 3) sagt aus, dass

$$(2) \quad J C^2 = \frac{v^2}{R} = \frac{v_a^2}{R_a}$$

und somit

$$(3) \quad Q = F v_a \sqrt{\frac{R}{R_a}}$$

gilt.

Gleichung (1) vereinfacht sich deshalb auf

$$(4) \quad -dh = \alpha \frac{v dv}{g}$$

oder mit  $v = \frac{Q}{F}$

und  $dv = \frac{dQ}{F} - \frac{Q dF}{F^2}$  auf

$$(5) \quad -dh = \alpha \frac{Q}{g F^2} dQ - \alpha \frac{Q^2}{g F^3} dF$$

$dQ$  ist die pro Längenelement  $dl$  seitlich abfließende Wassermenge. Nach der bekannten Ueberfallformel gilt

$$(6) \quad dQ = -\frac{2}{3} \mu \sqrt{2g} (h-w)^{3/2} dl$$

Das negative Vorzeichen gibt an, dass  $Q$  in Fließrichtung abnimmt. Um auch die Wasserführung als Funktion der Wassertiefe auszudrücken, wird Gleichung (3) benutzt<sup>2)</sup>. Die Hauptgleichung (5) kann dann mit  $dF = B dh$  so umgeformt werden, dass sich die Variablen  $l$  und  $h$  unter der Voraussetzung a 1) trennen lassen.

$$(7) \quad dl = \left[ \frac{g F \sqrt{R_a}}{\frac{2}{3} \mu \sqrt{2g} \alpha (h-w)^{3/2} v_a \sqrt{R}} - \frac{v_a \sqrt{R} B}{\frac{2}{3} \mu \sqrt{2g} (h-w)^{3/2} \sqrt{R_a}} \right] dh$$

Zur Einführung von dimensionslosen Grössen werden neben  $x$  und  $y$  drei weitere Abkürzungen eingeführt:

$$y^m = \frac{F \sqrt{R_w}}{F_w \sqrt{R}}$$

(8)

$$y^n = \frac{B \sqrt{R}}{B_w \sqrt{R_w}}$$

(9)

$$\varphi = v_a \sqrt{\frac{B_w \alpha}{R_a P_w g}}$$

Gleichung (7) reduziert sich damit auf

$$(10) \quad dx = \frac{1}{\frac{2}{3} \mu \sqrt{2\alpha}} \sqrt{\frac{F_w}{B_w w}} \left[ \frac{y^m}{\varphi (y-1)^{3/2}} - \varphi \frac{y^n}{(y-1)^{3/2}} \right] dy$$

Die Integration dieser Beziehung liefert die relative Streichwehrlänge in Abhängigkeit der relativen Wassertiefe. Für die Randbedingung soll  $x_a = 0$  angenommen werden. Wenn die beiden zu behandelnden Integrale mit

$$M = \int_{y_a}^y \frac{y^m}{(y-1)^{3/2}} dy$$

(11)

$$N = \int_{y_a}^y \frac{y^n}{(y-1)^{3/2}} dy$$

bezeichnet werden, gilt

$$(12) \quad x = \frac{1}{\frac{2}{3} \mu \sqrt{2\alpha}} \sqrt{\frac{F_w}{B_w w}} \left( \frac{M}{\varphi} - \varphi N \right)$$

Die Wasserspiegellage längs des Streichwehres ist damit allgemein formuliert, so dass Gleichung (12) als allgemeine Stau- oder Senkungskurve bezeichnet werden kann.

5. Diskussion der Formeln

a) Die hydraulischen Exponenten

Die mit Gleichung (8) eingeführten Werte  $m$  und  $n$  sollen im folgenden als hydraulische Exponenten bezeichnet werden.

$$(13) \quad m = \frac{\log \frac{F}{F_w} \sqrt{\frac{R_w}{R}}}{\log y}$$

$$n = \frac{\log \frac{B}{B_w} \sqrt{\frac{R}{R_w}}}{\log y}$$

<sup>2)</sup> Aus Gleichung (4) folgt, dass die sogenannte spezifische Energie  $H = h + \alpha' \frac{v^2}{2g}$  konstant ist. Diese Beziehung könnte zur Elimination von  $Q$  herangezogen werden (siehe z. B. [10]); sie ist für die weitere Behandlung jedoch nicht zweckmässig.

Sie stellen ein Charakteristikum für die Gerinneform dar, was sich am besten anhand einiger wichtiger Querschnittstypen zeigen lässt.

**Schmalere Rechteckquerschnitt:**

$$F = Bh, R \approx \frac{B}{2} \rightarrow m = 1, n = 0$$

**Breitere Rechteckquerschnitt:**

$$F = Bh, R \approx h \rightarrow m = \frac{1}{2}, n = \frac{1}{2}$$

**Breitere Parabelquerschnitt<sup>3)</sup>:**

$$F = sh^{3/2}, B = s'h^{1/2}, R \approx s''h \rightarrow m = 1, n = 1$$

**Dreieckquerschnitt<sup>3)</sup>:**

$$F = sh^2, B = s'h, R = s''h \rightarrow m = \frac{3}{2}, n = \frac{3}{2}$$

Bei Rechteckquerschnitten gilt immer die Beziehung  $m + n = 1$ .

Die hydraulischen Exponenten sind im allgemeinen Funktionen von  $h$  respektive  $y$ . Eine Ausnahme hievon bilden einzig die hydraulischen Exponenten der Dreieckgerinne, weil dort die  $m$ - und  $n$ -Werte infolge der geometrischen Aehnlichkeit aller benetzten Querschnitte konstant sind. Für die Integration in Gleichung (11) werden jedoch für alle Querschnittformen konstante hydraulische Exponenten angenommen. Diese Vereinfachung ist deshalb zulässig, weil die abgeleiteten Formeln auf Grund der Voraussetzung a 3) ohnehin nur für kürzere Streichwehre gelten. Die Variation von  $m$  und  $n$  ist dann gering und kann unterdrückt werden. Bei der Berechnung der Wasserspiegellage genügt es, wenn man die Randwerte  $m_a$  und  $n_a$  bestimmt oder Mittelwerte schätzt.

**b) Die Froudsche Zahl**

Die in Gleichung (9) definierte Abkürzung kann wie folgt umgeschrieben werden:

$$(14) \quad \varphi = \frac{v_a}{\sqrt{\frac{F_a g}{B_a \alpha}}} \sqrt{\frac{B_w P_a}{B_a P_w}}$$

Der Faktor  $\sqrt{\frac{B_w P_a}{B_a P_w}}$

ist ähnlich wie die hydraulischen Exponenten ein Charakteristikum für die Gerinneform im Randquerschnitt. Für Dreieckquerschnitte sowie breite Rechteck- und Parabelquerschnitte nimmt er beispielsweise den Wert 1 an.

Der Ausdruck  $\frac{v_a}{\sqrt{\frac{F_a g}{B_a \alpha}}}$

dagegen stellt das Verhältnis der Geschwindigkeit im Randquerschnitt zur entsprechenden kritischen Geschwindigkeit dar und kann deshalb als Froudsche Zahl  $Fr_a$  aufgefasst werden. Bei  $Fr_a < 1$  herrscht im Randquerschnitt strömender, bei  $Fr_a > 1$  schiessender Abfluss.

Es gilt

$$\varphi = Fr_a \sqrt{\frac{B_w P_a}{B_a P_w}}$$

<sup>3)</sup>  $s$  bedeutet irgend eine Konstante.

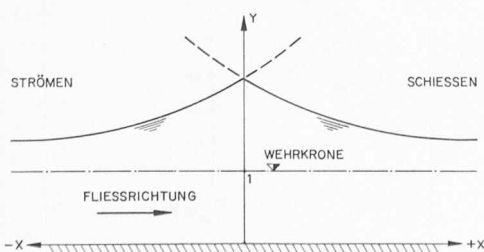


Bild 2. Allgemeine Form der Wasserspiegel bei Schiessen und Strömen (Längsschnitt)

und damit beispielsweise für die oben genannten Querschnittsformen

$$\varphi = Fr_a$$

**c) Die Form der allgemeinen Stau- und Senkungskurve**

Für die Diskussion der Formel (12) soll eine Gerinneform betrachtet werden, bei der  $m = n$ ,  $M = N$  und  $\varphi = Fr_a$  ist (Dreieckquerschnitt, breiter Rechteck- oder Parabelquerschnitt). Die Konstante

$$W = \frac{1}{\frac{2}{3} \mu \sqrt{2\alpha}} \sqrt{\frac{F_w}{B_w w}}$$

beschreibt im wesentlichen die Form des Streichwehres. Gleichung (12) und ihre erste und zweite Ableitung ergeben sich somit zu

$$x = WM \left( \frac{1}{Fr_a} - Fr_a \right)$$

$$\frac{dx}{dy} = W \frac{y^m}{(y-1)^{3/2}} \left( \frac{1}{Fr_a} - Fr_a \right)$$

$$\frac{d^2x}{dy^2} = W \frac{y^m}{(y-1)^{5/2}} \left( \frac{1}{Fr_a} - Fr_a \right) \left[ \left( m - \frac{3}{2} \right) - \frac{m}{y} \right]$$

Ist die Froudsche Zahl im Randquerschnitt kleiner als 1, so wird  $dx/dy$  positiv. Bei strömendem Abfluss steigt demnach der Wasserspiegel in Fließrichtung an. Ist die Froudsche Zahl  $Fr_a$  dagegen grösser als 1, so herrscht Schiessen, und der Wasserspiegel sinkt in Fließrichtung. Im Grenzfall  $Fr_a = 1$  erhält man einen vertikalen Wasserspiegel (Wassersprung). Aus der zweiten Ableitung folgt, dass nicht nur die Neigung des Wasserspiegels, sondern im allgemeinen auch die Krümmung desselben für beide Fließsorten verschieden ist (Krümmung gegenüber  $y$ -Axe). Die charakteristischen Formen sind in Bild 2 dargestellt. Bild 3 zeigt den weiteren Einfluss von  $Fr_a$  bei einem breiten Parabelgerinne mit  $W = 1$ .

## 6. Uebergang auf das Widerstandsgesetz von Strickler

Die Ableitungen in Abschnitt 4 wurden auf Grund des Widerstandsgesetzes von Chézy durchgeführt. Dadurch konnten einfache und gut interpretierbare Ausdrücke formuliert werden. Der Uebergang auf das Widerstandsgesetz von Strickler kann indessen leicht bewerkstelligt werden, indem man  $R^{1/2}$  durch  $R^{2/3}$  ersetzt. Die Gleichungen (10), (11) und (12) werden formal davon nicht berührt. Die Änderung macht sich einzig bei  $\varphi$  und bei den hydraulischen Exponenten bemerkbar:

$$(15) \quad \varphi = \frac{v_a}{\sqrt{\frac{F_w g}{B_w \alpha}}} \frac{R_w^{2/3}}{R_a^{2/3}}$$

$$m = \frac{\log \frac{F R_w^{2/3}}{F_w R^{2/3}}}{\log y}$$

$$(16) \quad n = \frac{\log \frac{B R^{2/3}}{B_w R_w^{2/3}}}{\log y}$$

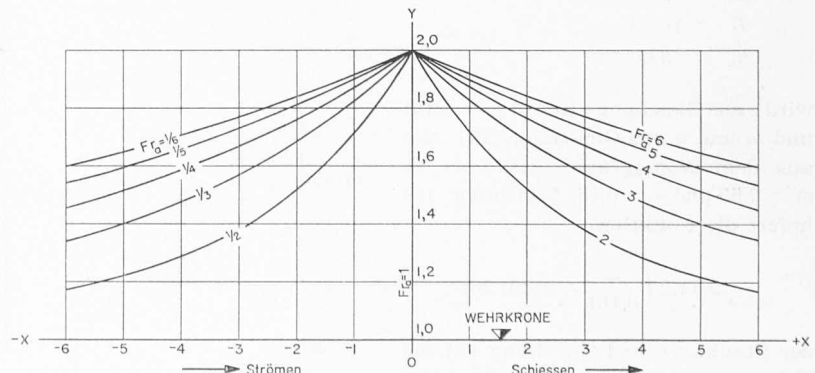


Bild 3. Einfluss der Froudschen Zahl  $Fr_a$  auf das Gefälle und die Krümmung der Wasserspiegel (mehrfach überhöhter Längsschnitt)

## 7. Tabellen für M und N

Die Integranden in Gleichung (11) sind formal analog und lassen sich somit gleich behandeln. Mit der Substitution  $u = y - 1$  wurden sie hier als Binomialreihe entwickelt und integriert. Die numerische Berechnung der resultierenden Reihe konnte auf einer elektronischen Rechenmaschine durchgeführt werden. Als Ausgangswert wurde immer  $y_a = 2,00$  gewählt, die Genauigkeit betrug  $M/1000$  bzw.  $N/1000$ . Der Endwert variierte von  $y = 1,99$  bis  $y = 1,01$  und der Exponent  $m$  bzw.  $n$  von 0,2 bis 1,4. Die Ergebnisse sind in der Tabelle auf Seite 793 zusammengestellt.

Für den Ausgangswert  $y_a = 2,00$  müssen die  $M$ - und  $N$ -Werte definitionsgemäss 0 sein. Will man einen kleineren Ausgangswert einführen, so subtrahiert man von den Tabellenwerten eine Konstante derart, dass die entsprechenden  $M_a$ - und  $N_a$ -Werte auch auf 0 gebracht werden (Änderung der Integrationskonstanten).

## 8. Vergleiche mit Messungen

Um die Brauchbarkeit der abgeleiteten Ausdrücke zu überprüfen, wurden die von H. Engels [1] veröffentlichten Wasserspiegelmessungen an geraden Streichwehren nachgerechnet. Insgesamt hat man 19 Varianten mit Rechteckquerschnitten untersucht, deren relative Abmessungen zwischen den Grenzen

$$0,83 < x < 16,55$$

$$1,031 < x < 1,445$$

lagen. Die Nachrechnung erfolgte so, dass die Wassertiefe am oberen Streichwehrende, ausgehend von den bekannten Werten am unteren Ende, bestimmt wurde. Die Differenz zu den entsprechenden Messwerten betrug im Mittel + 1,8 % bei Streuungen von - 1 % bis + 6 %.

## 9. Rechenbeispiel

Ein Rechteckkanal von 10,00 m Breite hat bei einer Wassertiefe von 2,00 m eine Wasserführung von 16 m<sup>3</sup>/s. Bei Hochwasser fallen am Kanaleinlauf jedoch 80 m<sup>3</sup>/s an. Um die Kanalwände nicht zu hoch führen zu müssen, soll ein Streichwehr eingebaut werden. Die Wehrkrone wird dabei gerade so hoch gelegt, dass Zuflüsse von 16 m<sup>3</sup>/s und weniger nicht reduziert werden. Wie lang wird das Wehr, wenn im Unterwasser höchstens 3,00 m Wassertiefe zugelassen sind? Die entsprechende Wasserführung betrage dort 30 m<sup>3</sup>/s.

Die Berechnung soll mit der Widerstandsformel von Strickler erfolgen. Für den Ueberfallkoeffizienten  $\mu$  eines Streichwehres empfiehlt M. Schmidt [12] einen Wert, der um 5 % kleiner ist als derjenige eines gewöhnlichen Wehres; den Faktor  $\alpha$  schätzt er auf 1,1.

Mit

$$\mu = 0,95 \cdot 0,75$$

$$Q_a = 30 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\alpha = 1,1$$

$$w = 2,00 \text{ m}$$

$$B = 10,00 \text{ m}$$

$$h_a = 3,00 \text{ m}$$

wird  $\varphi$  aus Gleichung (15) zu  $\varphi = 0,161$  und  $m$  und  $n$  aus Gleichung (16) oder aus dem Nomogramm (Bild 4) zu  $m = 0,55$  und  $n = 0,45$ . Gleichung (12) liefert die Funktion

$$l = 14,2 \left( \frac{M}{0,161} - 0,161 N \right)$$

der Staukurve und Gleichung (6) die Ueberfallformel

$$\Delta Q = -5,96 \cdot u^{3/2} \Delta l$$

Die Tabelle gibt für  $y = 1,5$  einen  $M$ -Wert von - 1,112 und einen  $N$ -Wert von - 1,054 an. Da  $y = 1,5$  jedoch als Ausgangswert  $y_a$  dient, müssen die benötigten Tabellenwerte um 1,112, beziehungsweise 1,054 vermindert werden. Aus Bild 1 geht hervor, dass die Wassertiefe in Berechnungsrichtung sowohl bei Strömen wie bei Schiessen abnimmt. Unter dieser Voraussetzung ergibt sich für  $l$  das richtige Vorzeichen von selbst.

$y$	$M$	$N$	$\frac{M}{\varphi} - \varphi N$	$l$	$\Delta l$	$u^{3/2}$	$\Delta Q$	$\sum \Delta Q$
1,50	0	0	0	0	- 6,27	0,343	12,8	
1,48	- 0,073	- 0,070	- 0,442	- 6,27	- 6,54	0,322	12,5	12,8
1,46	- 0,149	- 0,144	- 0,903	- 12,81	- 7,0	0,302	12,6	25,3
1,44	- 0,231	- 0,222	- 1,399	- 19,8	- 7,5	0,282	12,6	37,9
1,42	- 0,317	- 0,305	- 1,921	- 27,3				50,5

$\sum \Delta Q$  entspricht dem seitlichen Abfluss über das Streichwehr und beträgt 50 m<sup>3</sup>/s bei  $l = - 27,0$  m. Die gesuchte Streichwehrlänge ist damit gefunden. Das negative Vorzeichen bestätigt die Tatsache, dass hier stromaufwärts gerechnet wird, weil der Abfluss strömend erfolgt. Gemäss  $y = 1,42$  beträgt die Wassertiefe am oberen Streichwehrende  $h = 2,84$  m. Durch den entsprechenden Querschnitt fließen 80 m<sup>3</sup>/s. Die Froudsche Zahl ist an dieser Stelle höher als am unteren Streichwehrende. Sie erreichte den Wert von 0,53, was zeigt, dass der Abfluss längs des ganzen Streichwehres strömt.

Nach M. Schmidt [12] würde sich bei  $Fr > 0,75$  am Anfang des Streichwehres ein Uebergang vom strömenden zum schiessenden Abfluss einstellen, so dass sich am Streichwehr selber ein Wassersprung ausbilden müsste. Solche Strömungsverhältnisse sind zu vermeiden.

## 10. Massnahmen zur Erhöhung der Streichwehrrkapazität

Die Kapazität, d. h. das Entlastungsvermögen eines Streichwehres, erhöht sich mit  $l$  und  $h$  —  $w$  nach Gleichung (6). Falls der Streichwehrlänge  $l$  aus wirtschaftlichen oder andern Gründen eine Grenze gesetzt ist, interessieren vor allem die Massnahmen, welche die Ueberströmhöhe  $h$  —  $w$  vergrössern. Hierzu gehört in erster Linie die Wahl eines hohen Ausgangswasserspiegels (grosses  $h_a$ ) unter gleichzeitiger Herabsetzung der Froudschen Zahl  $Fr_a$  bei Strömen oder unter Heraufsetzung derselben bei Schiessen (Bild 3). Falls man an der Gerinneform nichts ändern will, geschieht dies bei der ersten Fliessart am wirksamsten durch den Einbau einer Blende im Unterwasser (H. Tufts [13]).

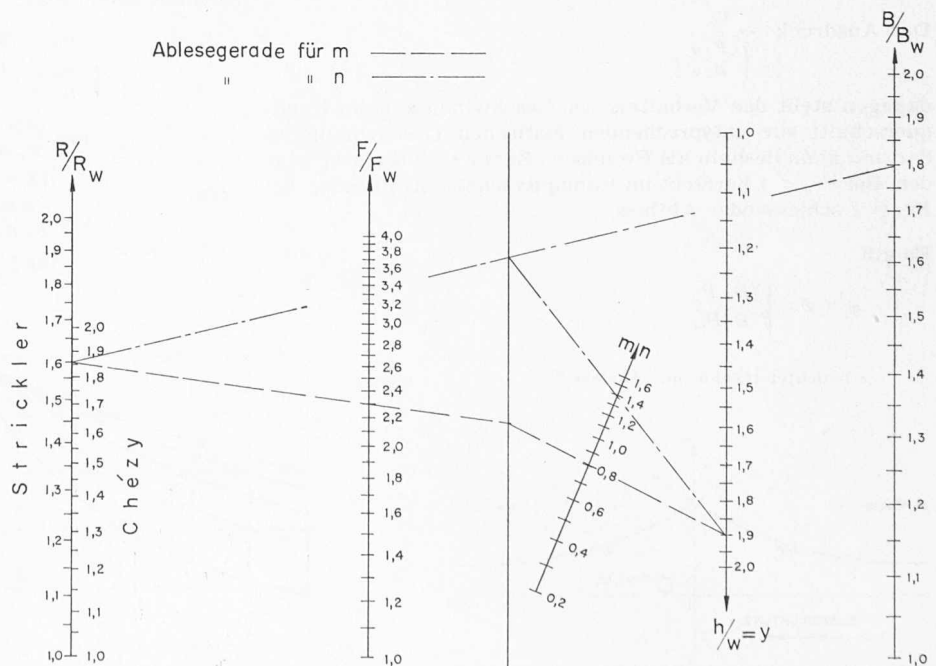


Bild 4. Nomogramm zur Ermittlung der hydraulischen Exponenten.

Beispiel:  $R/R_w$  (Strickler) = 1,6,  $F/F_w = 2,3$

$h/w = 1,9$ ,  $B/B_w = 1,8$  ergibt  $m = 0,81$ ,  $n = 1,40$

Zur Illustration soll im Unterwasser des Streichwehres von Abschnitt 9 eine Tauchwand eingebaut werden, welche die Durchflusshöhe auf 1,30 m drosselt. Die Abflussverhältnisse am Wehr werden dadurch bei einer Wasserführung von 16 m<sup>3</sup>/s und weniger kaum beeinflusst. Bei 30 m<sup>3</sup>/s dagegen erhöht sich der Wasserspiegel vor der Tauchwand von 3,00 m auf 3,40 m (Bild 5), so dass das Entlastungsvermögen des Streichwehres stark verbessert wird. Um den gleichen Zweck zu erfüllen, müsste dieses jetzt nur noch eine Länge von 15,30 m aufweisen.

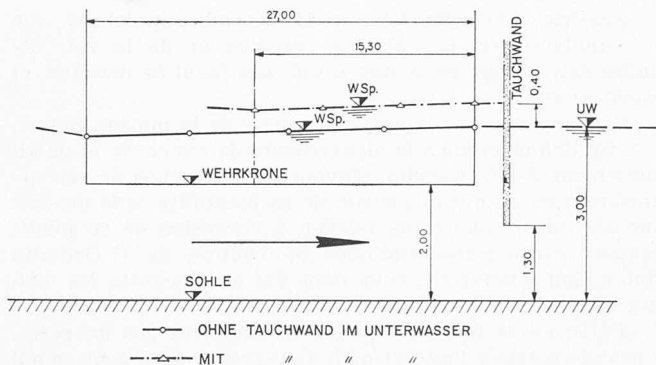


Bild 5. Einfluss einer Tauchwand im Unterwasser auf die erforderliche Streichwehrlänge (vierfach überhöhter Längsschnitt)

## 11. Zusammenfassung

Die Berechnung von Stau- oder Senkungskurven längs eines Streichwehres auf Grund der üblichen Verfahren erfordert einen beträchtlichen Zeitaufwand. Bei prismatischen Gerinnen konnte hier eine gewisse Vorarbeit geleistet werden, indem sogenannte *allgemeine Staukurven* aufgestellt wurden. Diese ergaben sich im wesentlichen aus der Integration der Differentialgleichung von *H. Favre* [3] für diskontinuierliche Abflüsse. Von den getroffenen Voraussetzungen scheint einzig das Gleichgewicht zwischen Reibungs- und Schwerkraft unsicher. Entsprechende Messungen von *B. Gentilini* [7] weisen jedoch darauf hin, dass diese Voraussetzung berechtigt ist, wenn der Abfluss strömend erfolgt und das Streichwehr nicht zu lang ist. Die abgeleiteten Formeln gelten somit für schiessenden Abfluss nicht genau, ermöglichen aber Aussagen über die Form des Wasserspiegels und den Einfluss der Froudschen Zahl. Das Vorgehen bei der Berechnung eines Streichwehres im strömenden Bereich wurde anhand eines Beispiels erläutert. Zur Vergrößerung des Entlastungsvermögens kommt vor allem die Erhöhung der Wassertiefe im unteren Randquerschnitt in Frage, bei gleichzeitiger Herabsetzung der Froudschen Zahl. Als einfache Massnahme, die sich unter Umständen auch nachträglich verwirklichen lässt, kann der Einbau einer Tauchwand im Unterwasser empfohlen werden.

## Literaturverzeichnis

- [1] *H. Engels*: Mitteilungen aus dem Dresdener Flussbau-Laboratorium, Forschungsarbeiten auf dem Gebiet des Ingenieurwesens, Heft 200 und 201, Berlin 1917.
- [2] *H. Engels*: Mitteilungen aus dem Dresdener Flussbau-Laboratorium. «Zeitschrift des VDI», 1920.
- [3] *H. Favre*: Contribution à l'étude des courants liquides, Zürich 1933.
- [4] *H. Favre* und *F. Braendle*: Expériences sur le mouvement permanent de l'eau dans les canaux découverts, avec apport ou prélèvement le long du courant. «Bulletin Technique de la Suisse Romande», 1937.
- [5] *G. de Marchi*: Saggio di teoria del funzionamento degli stramazzi laterali, «L'Energia Elettrica», 1934.
- [6] *G. de Marchi*: Canali con portata progressivamente crescente. «L'Energia Elettrica», 1941.
- [7] *B. Gentilini*: Ricerche sperimentali sugli sfioratori longitudinali, «L'Energia Elettrica», 1938.
- [8] *S. Leliavsky*: Irrigation and hydraulic design, Bd. 1, London 1955.
- [9] *K. Felkel*: Die Berechnung der Staukurve mit dem Integrierverfahren, «Die Bautechnik», 1958.
- [10] *A. Schocklitsch*: Handbuch des Wasserbaus. Bd. 1, Wien 1950.
- [11] *D. Citrini*: Canali rettangolari con portata e larghezza gradualmente variabili, «L'Energia Elettrica», 1942.

## Allgemeine Staukurve am Streichwehr: Tabelle der M-Werte

y	m, n								u <sup>3/2</sup>
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4		
1,01	-18,31	-18,65	-19,01	-19,39	-19,80	-20,23	-20,68	0,0010	
1,02	-12,44	-12,76	-13,10	-13,47	-13,85	-14,27	-14,71	0,0028	
1,03	-9,84	-10,14	-10,47	-10,82	-11,20	-11,60	-12,03	0,0052	
1,04	-8,28	-8,58	-8,90	-9,24	-9,60	-9,99	-10,40	0,0080	
1,05	-7,22	-7,50	-7,81	-8,14	-8,50	-8,88	-9,29	0,0112	
1,06	-6,43	-6,71	-7,01	-7,33	-7,68	-8,05	-8,45	0,0147	
1,07	-5,81	-6,09	-6,38	-6,69	-7,03	-7,39	-7,78	0,0185	
1,08	-5,32	-5,58	-5,87	-6,18	-6,51	-6,86	-7,24	0,0226	
1,09	-4,907	-5,17	-5,44	-5,74	-6,07	-6,41	-6,79	0,0270	
1,10	-4,559	-4,811	-5,08	-5,38	-5,69	-6,03	-6,40	0,0316	
1,11	-4,259	-4,505	-4,771	-5,06	-5,37	-5,70	-6,06	0,0365	
1,12	-3,996	-4,237	-4,497	-4,777	-5,08	-5,41	-5,76	0,0416	
1,13	-3,764	-4,000	-4,254	-4,528	-4,825	-5,15	-5,50	0,0469	
1,14	-3,558	-3,787	-4,036	-4,305	-4,596	-4,918	-5,26	0,0524	
1,15	-3,371	-3,596	-3,839	-4,103	-4,389	-4,699	-5,04	0,0581	
1,16	-3,202	-3,422	-3,660	-3,919	-4,200	-4,505	-4,837	0,0640	
1,17	-3,048	-3,263	-3,497	-3,750	-4,026	-4,325	-4,652	0,0701	
1,18	-2,907	-3,118	-3,346	-3,595	-3,865	-4,160	-4,481	0,0764	
1,19	-2,777	-2,983	-3,207	-3,451	-3,716	-4,005	-4,321	0,0828	
1,20	-2,657	-2,858	-3,078	-3,317	-3,577	-3,862	-4,172	0,0894	
1,21	-2,545	-2,742	-2,957	-3,192	-3,447	-3,727	-4,032	0,0962	
1,22	-2,441	-2,634	-2,844	-3,074	-3,325	-3,600	-3,900	0,1032	
1,23	-2,343	-2,532	-2,739	-2,964	-3,211	-3,480	-3,776	0,1103	
1,24	-2,251	-2,437	-2,639	-2,860	-3,102	-3,367	-3,658	0,1176	
1,25	-2,165	-2,347	-2,545	-2,762	-3,000	-3,260	-3,546	0,1250	
1,26	-2,084	-2,261	-2,456	-2,669	-2,902	-3,158	-3,439	0,1326	
1,27	-2,007	-2,181	-2,371	-2,580	-2,809	-3,061	-3,337	0,1403	
1,28	-1,934	-2,104	-2,291	-2,496	-2,721	-2,968	-3,240	0,1482	
1,29	-1,865	-2,032	-2,215	-2,416	-2,636	-2,879	-3,146	0,1562	
1,30	-1,799	-1,963	-2,142	-2,339	-2,556	-2,794	-3,047	0,1643	
1,31	-1,737	-1,896	-2,072	-2,265	-2,478	-2,712	-2,971	0,1726	
1,32	-1,677	-1,833	-2,005	-2,195	-2,404	-2,634	-2,888	0,1810	
1,33	-1,620	-1,773	-1,941	-2,127	-2,332	-2,558	-2,808	0,1896	
1,34	-1,565	-1,715	-1,880	-2,062	-2,263	-2,485	-2,730	0,1983	
1,35	-1,513	-1,660	-1,821	-2,000	-2,197	-2,415	-2,656	0,2071	
1,36	-1,463	-1,606	-1,764	-1,939	-2,133	-2,347	-2,583	0,2160	
1,37	-1,415	-1,555	-1,710	-1,881	-2,071	-2,281	-2,513	0,2251	
1,38	-1,368	-1,505	-1,657	-1,825	-2,011	-2,217	-2,445	0,2342	
1,39	-1,323	-1,458	-1,606	-1,771	-1,953	-2,155	-2,379	0,2436	
1,40	-1,280	-1,412	-1,557	-1,718	-1,897	-2,095	-2,315	0,2530	
1,41	-1,239	-1,367	-1,510	-1,667	-1,842	-2,037	-2,252	0,2625	
1,42	-1,199	-1,324	-1,464	-1,618	-1,789	-1,980	-2,191	0,2722	
1,43	-1,160	-1,283	-1,419	-1,570	-1,738	-1,925	-2,132	0,2820	
1,44	-1,123	-1,242	-1,376	-1,524	-1,688	-1,871	-2,074	0,2919	
1,45	-1,086	-1,203	-1,334	-1,478	-1,639	-1,819	-2,018	0,3019	
1,46	-1,051	-1,166	-1,293	-1,434	-1,592	-1,767	-1,963	0,3120	
1,47	-1,017	-1,129	-1,253	-1,392	-1,546	-1,717	-1,909	0,3222	
1,48	-0,985	-1,093	-1,215	-1,350	-1,501	-1,669	-1,856	0,3325	
1,49	-0,953	-1,059	-1,177	-1,309	-1,457	-1,621	-1,805	0,3430	
1,50	-0,922	-1,025	-1,141	-1,270	-1,414	-1,575	-1,754	0,3536	
1,51	-0,891	-0,992	-1,105	-1,231	-1,372	-1,529	-1,705	0,3642	
1,52	-0,862	-0,960	-1,070	-1,193	-1,331	-1,485	-1,657	0,3750	
1,53	-0,833	-0,929	-1,036	-1,156	-1,291	-1,441	-1,609	0,3858	
1,54	-0,805	-0,899	-1,003	-1,120	-1,251	-1,398	-1,563	0,3968	
1,55	-0,778	-0,869	-0,971	-1,085	-1,213	-1,356	-1,517	0,4079	
1,56	-0,752	-0,840	-0,940	-1,051	-1,175	-1,315	-1,472	0,4190	
1,57	-0,726	-0,812	-0,909	-1,017	-1,139	-1,275	-1,428	0,4304	
1,58	-0,701	-0,785	-0,879	-0,985	-1,102	-1,235	-1,384	0,4417	
1,59	-0,676	-0,758	-0,849	-0,952	-1,067	-1,196	-1,342	0,4532	
1,60	-0,652	-0,731	-0,820	-0,921	-1,032	-1,158	-1,300	0,4648	
1,61	-0,629	-0,706	-0,792	-0,890	-0,999	-1,121	-1,259	0,4764	
1,62	-0,606	-0,681	-0,765	-0,859	-0,965	-1,084	-1,218	0,4882	
1,63	-0,584	-0,656	-0,737	-0,829	-0,932	-1,048	-1,179	0,5000	
1,64	-0,562	-0,632	-0,711	-0,800	-0,900	-1,012	-1,139	0,5120	
1,65	-0,541	-0,609	-0,685	-0,771	-0,868	-0,977	-1,100	0,5240	
1,66	-0,520	-0,586	-0,660	-0,743	-0,837	-0,943	-1,062	0,5362	
1,67	-0,4996	-0,563	-0,635	-0,715	-0,806	-0,909	-1,025	0,5484	
1,68	-0,4797	-0,541	-0,610	-0,688	-0,776	-0,876	-0,988	0,5607	
1,69	-0,4599	-0,519	-0,586	-0,661	-0,746	-0,843	-0,951	0,5732	
1,70	-0,4407	-0,4976	-0,562	-0,635	-0,717	-0,810	-0,915	0,5857	
1,71	-0,4219	-0,4767	-0,539	-0,609	-0,688	-0,778	-0,880	0,5982	
1,72	-0,4034	-0,4562	-0,516	-0,583	-0,660	-0,747	-0,844	0,6109	
1,73	-0,3854	-0,4360	-0,4934	-0,559	-0,632	-0,715	-0,810	0,6237	
1,74	-0,3678	-0,4162	-0,4713	-0,534	-0,604	-0,685	-0,775	0,6365	
1,75	-0,3505	-0,3970	-0,4496	-0,510	-0,577	-0,654	-0,742	0,6495	
1,76	-0,3334	-0,3779	-0,4282	-0,4858	-0,551	-0,624	-0,708	0,6626	
1,77	-0,3167	-0,3592	-0,4072	-0,4622	-0,524	-0,595	-0,675	0,6757	
1,78	-0,3002	-0,3408	-0,3867	-0,4380	-0,4982	-0,565	-0,642	0,6889	
1,79	-0,2839	-0,3224	-0,3664	-0,4162	-0,4725	-0,537	-0,610	0,7022	
1,80	-0,2680	-0,3046	-0,3463	-0,3935	-0,4472	-0,508	-0,578	0,7155	
1,81	-0,2525	-0,2871	-0,3266	-0,3712	-0,4222	-0,4800	-0,546	0,7290	
1,82	-0,2373	-0,2700	-0,3070	-0,3493	-0,3975	-0,4522	-0,515	0,7425	
1,83	-0,2223	-0,2530	-0,2878	-0,3277	-0,3731	-0,4247	-0,4835	0,7561	
1,84	-0,2073	-0,2363	-0,2690	-0,3064	-0,3491	-0,3976	-0,4531	0,7699	
1,85	-0,1928	-0,2197	-0,2505	-0,2856	-0,3253	-0,3709	-0,4227	0,7837	
1,86	-0,1786	-0,2035	-0,2322	-0,2649	-0,3019	-0,3443	-0,3927	0,7976	
1,87	-0,1645	-0,1877	-0,2141	-0,2444	-0,2787	-0,3181	-0,3629	0,8114	
1,88	-0,1505	-0,1720	-0,1962	-0,2241	-0,2558	-0,2921	-0,3335	0,8255	
1,89	-0,1370	-0,1564	-0,1786	-0,2041	-0,2331	-0,2664	-0,3041	0,8396	
1,90	-0,1235	-0,1412	-0,1614	-0,1844	-0,2108	-0,2408	-0,2752	0,8538	
1,91	-0,1104	-0,1261	-0,1442	-0,1651	-0,1886	-0,2157	-0,2466	0,8680	
1,92	-0,0973	-0,1114	-0,1274	-0,1459	-0,1668	-0,1907	-0,2184	0,8825	
1,93	-0,0845	-0,0967	-0,1107	-0,1268	-0,1451	-0,1662	-0,1902	0,8969	
1,94	-0,0718	-0,0823	-0,0943	-0,1081	-0,1237	-0,1418	-0,1623	0,9113	
1,95	-0,0594	-0,0681	-0,0780	-0,0895	-0,1025	-0,1175	-0,1346	0,9260	
1,96	-0,0472	-0,0541	-0,0621	-0,0712	-0,0816	-0,0936	-0,1073	0,9406	
1,97	-0,0351	-0,0403	-0,0462	-0,0531	-0,0609	-0,0698	-0,0801	0,9554	
1,98	-0,0232	-0,0267	-0,0306	-0,0352	-0,0404	-0,0463	-0,0532	0,9701	
1,99	-0,0115	-0,0132	-0,0152	-0,0175	-0,0201	-0,0231	-0,0265	0,9851	
2,00	0	0	0	0	0	0	0	1,0000	

[12] *M. Schmidt*: Gerinnehydraulik, Wiesbaden 1957.

[13] *H. Tufts*: Flood protection of canals by lateral spillways, Proceedings of ASCE, paper 1077.

Adresse des Verfassers: Dr. *D. Vischer*, Staffelstr. 16, Wettingen AG.