

# Energieverlustbeiwerte von Rohrverzweigungen

Autor(en): **Martin, Helmut**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **104 (2012)**

Heft 1

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-941873>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

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

# Energieverlustbeiwerte von Rohrverzweigungen

Helmut Martin

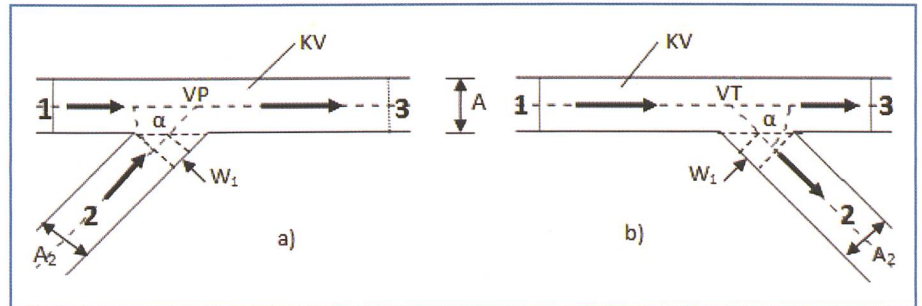
## 1. Einführung

In der Hydraulikliteratur des Bau- und Wasserwesens findet man für die Energieverlustbeiwerte von Rohrverzweigungen eine grosse Anzahl von experimentellen Ergebnissen, die meistens in Form von Tabellen und Diagrammen bereitgestellt werden. Bereits im Jahre 1973 versuchte Li, die grosse Zahl der experimentell ermittelten Verlustbeiwerte für Rohrleitung-T-Stücke zu ordnen und in übersichtlichen Diagrammen zusammenzufassen. Eine umfangreiche Zusammenstellung von Verlustbeiwerten von Rohrverzweigungen findet man bei (Miller 1974).

In der Literatur werden für eine Rohrverzweigung zwei Verlustbeiwerte angegeben (Bollrich, 2007), die jeweils auf die Geschwindigkeitshöhe im Rohrabschnitt mit dem Gesamtdurchfluss bezogen werden, also im *Bild 1* bei der Stromvereinigung auf die Geschwindigkeitshöhe im Rohrabschnitt 3 und bei der Stromtrennung auf die Geschwindigkeitshöhe im Abschnitt 1.

Für die Stromvereinigung wird für den Energieverlust zwischen den Rohrabschnitten 1 und 3 der Beiwert  $\zeta_{13}$  und zwischen den Rohrabschnitten 2 und 3 der Beiwert  $\zeta_{23}$  ermittelt (Aigner 2008). Für die Stromtrennung wird zwischen den Rohrabschnitten 1 und 3 auch ein Beiwert  $\zeta_{13}$  und zwischen den Rohrabschnitten 1 und 2 der Beiwert  $\zeta_{12}$  bestimmt.

Ausgehend von der Annahme, dass der Energieverlust bei der Stromvereinigung im Wesentlichen zwischen dem Vereinigungspunkt (VP) und der Begrenzung des angedeuteten Kontrollvolumens im Rohrleitungsabschnitt 3 (*Bild 1a*) und bei der Stromtrennung im Bereich des Trennpunktes (TP) auftritt, wird im Folgenden in einem neuen Ansatz für die Stromvereinigung ein Leistungsverlustbeiwert  $\zeta_v$  und für die Stromtrennung ein Leistungsverlustbeiwert  $\zeta_s$  eingeführt. Dabei wird vorausgesetzt, dass die Querschnittsflächen der Rohre in den Abschnitten 1 und 3 gleich gross sind ( $A_1 = A_3 = A$ ) und die Querschnittsfläche der Rohrleitung 2 gleich oder kleiner A ist ( $A \geq A_2$ ). Der Abzweigungswinkel  $\alpha$  kann von  $0^\circ$  bis  $90^\circ$  variieren (vgl. *Bild 1*).



**Bild 1. Rohrverzweigung: a) Stromvereinigung, b) Stromtrennung.**

## 2. Ansätze für Energieverlustbeiwerte von Rohrverzweigungen

### 2.1 Energieverlustbeiwerte für eine Stromvereinigung

#### 2.1.1 Theoretische Ansätze

Für das im *Bild 1a* dargestellte Kontrollvolumen liefert der Impulssatz in Richtung der Rohrachse 1–3:

$$\begin{aligned} \rho \cdot g \cdot h_1 \cdot A_1 + \rho \cdot Q_1 \cdot v_1 + \rho \cdot g \cdot h_2 \cdot A_2 \cdot \cos(\alpha) + \rho \cdot Q_2 \cdot v_2 \cdot \cos(\alpha) = \\ \rho \cdot g \cdot h_3 \cdot A_3 + \rho \cdot Q_3 \cdot v_3 + W_1 \cdot \cos(90 - \alpha). \end{aligned} \quad (1)$$

Darin bezeichnet  $W_1$  die unausgeglichene Wandreaktion im Anschlussbereich der Rohrleitung 2, die sich aus

$$W_1 = \frac{2 \cdot r_2^2}{\tan(\alpha)} \cdot h_1 \cdot \rho \cdot g \quad (2)$$

ergibt. Wird weiter angenommen, dass im Bereich des Anschlusses der Rohrleitung 2 die Piezometerhöhen  $h_1$  und  $h_2$  näherungsweise gleich gross sind, so folgt aus Gl. (1)

$$\begin{aligned} h_1 \cdot \left( 1 + \frac{A_2}{A} \cdot \cos(\alpha) \right) - h_3 = \frac{v_3^2}{g} - \frac{v_1^2}{g} - \frac{v_2^2}{g} \cdot \cos(\alpha) \cdot \frac{A_2}{A} + \frac{2}{\pi} \cdot \frac{A_2}{A} \cdot h_1 \cdot \cos(\alpha). \end{aligned} \quad (3)$$

Als weitere Gleichung wird eine Beziehung für den gesamten Energiestrom mit einem integralen Verlustbeiwert  $\zeta_v$  herangezogen:

$$\begin{aligned} \left( h_1 + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} \right) \cdot Q_1 \cdot \rho \cdot g + \left( h_2 + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} \right) \cdot Q_2 \cdot \rho \cdot g = \\ g \cdot \left( h_3 + \frac{v_3^2}{2 \cdot g} + \zeta_v \cdot \frac{v_3^2}{2 \cdot g} \right) \cdot Q_3 \cdot \rho \cdot g. \end{aligned} \quad (4)$$

Durch Umformung erhält man daraus eine Gleichung für Energiehöhen

$$\begin{aligned} h_1 \cdot \left( \frac{Q_1}{Q_3} \right) + h_2 \cdot \left( 1 - \frac{Q_1}{Q_3} \right) - h_3 = - \frac{v_1^2}{2 \cdot g} \cdot \left( \frac{Q_1}{Q_3} \right) - \frac{v_2^2}{2 \cdot g} \cdot \left( \frac{Q_2}{Q_3} \right) + \frac{v_3^2}{2 \cdot g} \cdot (1 + \zeta_v) \end{aligned} \quad (5)$$

und unter Beachtung der Kontinuität

$$\frac{Q_1}{Q_3} + \frac{Q_2}{Q_3} = 1 \quad (6)$$

erhält man weiter

$$\begin{aligned} h_1 - h_3 = - \frac{v_1^2}{2 \cdot g} \cdot \left( \frac{Q_1}{Q_3} \right) - \frac{v_2^2}{2 \cdot g} \cdot \left( \frac{Q_2}{Q_3} \right) + \frac{v_3^2}{2 \cdot g} \cdot (1 + \zeta_v). \end{aligned} \quad (7)$$

Da für die Piezometerhöhe  $h_3$  keine Bedingungen eingeführt wurden, sind die Gleichungen (3) und (7) für alle Piezometerhöhen gültig, also auch für  $h_3 = 0$ . Damit ergibt sich aus Gl. (3)

$$h_1 = \frac{\frac{v_3^2}{g} - \frac{v_1^2}{g} - \frac{v_2^2}{g} \cdot \frac{A_2}{A} \cdot \cos(\alpha)}{1 + \frac{A_2}{A} \cdot \left(1 - \frac{2}{\pi}\right) \cdot \cos(\alpha)} \quad (8)$$

und aus Gl. (7)

$$h_1 = -\frac{v_1^2}{2 \cdot g} \cdot \left(\frac{Q_1}{Q_3}\right) - \frac{v_2^2}{2 \cdot g} \cdot \left(\frac{Q_2}{Q_3}\right) + \frac{v_3^2}{2 \cdot g} \cdot (1 + \zeta_v) \quad (9)$$

Aus den Gln. (8) und (9) erhält man schliesslich unter Beachtung von Gl. (6)

$$\zeta_v = \frac{2 - 2 \cdot \left(1 - \frac{Q_2}{Q_3}\right)^2 - 2 \cdot \left(\frac{Q_2}{Q_3}\right)^2 \cdot \frac{A_2}{A}}{1 + \frac{A_2}{A} \cdot \left(1 - \frac{2}{\pi}\right) \cdot \cos(\alpha)} \cdot \cos(\alpha) + \left(1 - \frac{Q_2}{Q_3}\right)^3 + \left(\frac{Q_2}{Q_3}\right)^3 \cdot \left(\frac{A}{A_2}\right)^2 - 1 \quad (10)$$

### 2.1.2 Auswertung von experimentellen Untersuchungen

Um den theoretisch berechneten Verlustbeiwert  $\zeta_v$  mit den experimentell bestimmten Verlustbeiwerten  $\zeta_{13}$  und  $\zeta_{23}$  vergleichen zu können, müssen diese Verlustbeiwerte in die Betrachtung der Energieströme einbezogen werden. Mit den Bestimmungsgleichungen erhält man

$$\left(h_1 + \frac{v_1^2}{2 \cdot g}\right) \cdot Q_1 = \left(h_3 + \frac{v_3^2}{2 \cdot g} + \zeta_{13}\right) \cdot \frac{v_3^2}{2 \cdot g} \cdot Q_1, \quad (11)$$

$$\left(h_2 + \frac{v_2^2}{2 \cdot g}\right) \cdot Q_2 = \left(h_3 + \frac{v_3^2}{2 \cdot g} + \zeta_{23}\right) \cdot \frac{v_3^2}{2 \cdot g} \cdot Q_2. \quad (12)$$

Die Addition von Gl. (11) und Gl. (12) liefert

$$\left(h_1 + \frac{v_1^2}{2 \cdot g}\right) \cdot Q_1 + \left(h_2 + \frac{v_2^2}{2 \cdot g}\right) \cdot Q_2 = \left(h_3 + \frac{v_3^2}{2 \cdot g}\right) \cdot (Q_1 + Q_2) + \frac{v_3^2}{2 \cdot g} \cdot (\zeta_{13} \cdot Q_1 + \zeta_{23} \cdot Q_2). \quad (13)$$

Unter Beachtung von Gl.(4) folgt weiter

$$\zeta_v \cdot \frac{v_3^2}{2 \cdot g} \cdot Q_3 = \frac{v_3^2}{2 \cdot g} \cdot (\zeta_{13} \cdot Q_1 + \zeta_{23} \cdot Q_2) \quad (14)$$

bzw. mit experimentellen Werten für  $\zeta_{13}$  und  $\zeta_{23}$  kann geschrieben werden

$$\zeta_{vm} = \zeta_{13} \cdot \left(1 - \frac{Q_2}{Q_3}\right) + \zeta_{23} \cdot \frac{Q_2}{Q_3}. \quad (15)$$

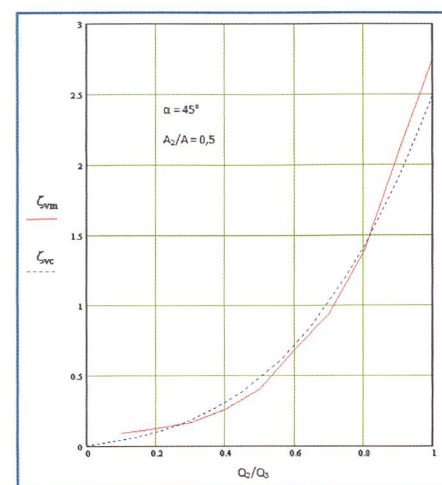
### 2.1.3 Vergleich der ermittelten Verlustbeiwerte für die Stromvereinigung mit experimentellen Ergebnissen

In den Bildern 2, 3, 4 und 5 sind die sich aus Gl. (15) ergebenden  $\zeta_{vm}$ -Werte für unterschiedliche Kombinationen vom Vereinigungswinkel  $\alpha$  und Verhältnissen von  $A_2/A$  in Abhängigkeit vom Verhältnis  $Q_2/Q_3$  dargestellt. Dabei wurden die von (Miller, 1974) zusammengestellten experimentellen Werte zugrunde gelegt.

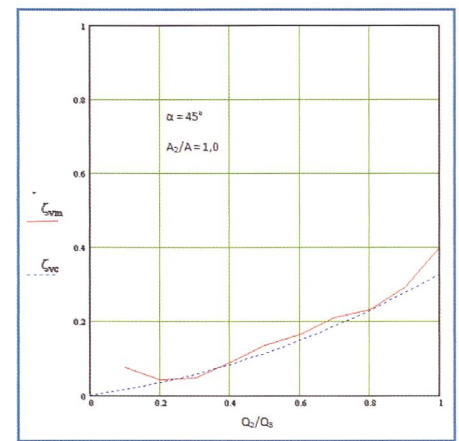
Aus einem Vergleich der  $\zeta_{vm}$ -Werte mit den aus Gl. (10) ermittelten Verlustbeiwerten  $\zeta_v$  folgt, dass die Gl. (10) den funktionellen Zusammenhang richtig widerspiegelt, aber die Verlustbeiwerte um einen konstanten, von dem Verhältnis  $Q_2/Q_3$  unabhängigen Anteil zu gross ermittelt werden. Vermutlich kann die Gesamtenergie in den Begrenzungsflächen des Kontrollvolumens mit den angesetzten Mittelwerten nicht richtig erfasst werden. Anstelle der schwierig zu bestimmenden Energieausgleichswerte für die einzelnen Querschnitte wird für die praktische Anwendung ein integraler Korrekturwert  $c$  mit dem Ansatz

$$\zeta_{vc} = c \cdot \zeta_v \quad (16)$$

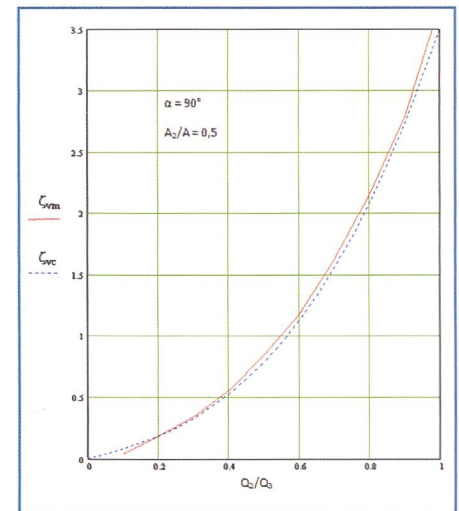
eingeführt. In den folgenden Bildunterschriften werden die ermittelten  $c$ -Werte angegeben.



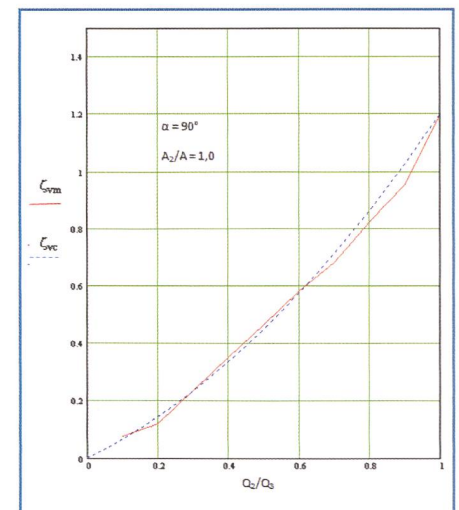
**Bild 2. Vereinigungsverluste  $\zeta_{vm}$  und  $\zeta_{vc}$ ,  $c = 0.6$ .**



**Bild 3. Vereinigungsverluste  $\zeta_{vm}$  und  $\zeta_{vc}$ ,  $c = 0.7$ .**



**Bild 4. Vereinigungsverluste  $\zeta_{vm}$  und  $\zeta_{vc}$ ,  $c = 0.7$ .**



**Bild 5. Vereinigungsverluste  $\zeta_{vm}$  und  $\zeta_{vc}$ ,  $c = 0.6$ .**

### 2.1.4 Berechnung der partiellen Verlustbeiwerte für die Stromvereinigung

Aus dem integralen Verlustbeiwert  $\zeta_v$  können die partiellen Verlustbeiwerte  $\zeta_{13}$  und  $\zeta_{23}$  berechnet werden, die z.B. für die Durchflussberechnung in vermaschten Rohrnetzen benötigt werden. Dafür wird die Gl. (11) he-



rangezogen, aus der sich unter Beachtung von Gl. (9)

$$-\frac{v_1^2}{2 \cdot g} \cdot \left(\frac{Q_1}{Q_3}\right) - \frac{v_2^2}{2 \cdot g} \cdot \left(\frac{Q_2}{Q_3}\right) + \frac{v_3^2}{2 \cdot g} \cdot (1 + \zeta_v) + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} = \zeta_{13} \cdot \frac{v_3^2}{2 \cdot g} \quad (17)$$

ergibt, wenn die Piezometerhöhe  $h_3$  wieder gleich null gesetzt wird. Daraus folgt

$$\zeta_{13} = \zeta_v - \left(1 - \frac{Q_2}{Q_3}\right)^3 - \left(\frac{Q_2}{Q_3}\right)^3 \cdot \left(\frac{A}{A_2}\right)^2 + \left(1 - \frac{Q_2}{Q_3}\right)^2 \quad (18)$$

und aus Gl. (15)

$$\zeta_{23} = \frac{\zeta_v - \zeta_{13} \cdot \left(1 - \frac{Q_2}{Q_3}\right)}{\frac{Q_2}{Q_3}} \quad (19)$$

Analog zur Ermittlung der  $\zeta_{vc}$ -Werte sind auch für die partiellen Verlustbeiwerte wieder Korrekturwerte  $c$  erforderlich. Die praktische Verlusthöhenberechnung kann daher mit

$$\zeta_{13c} = c \cdot \zeta_{13} \quad \text{und} \quad \zeta_{23c} = c \cdot \zeta_{23} \quad (20)$$

erfolgen. Geeignete  $c$ -Werte können der *Tabelle 1* entnommen werden.

## 2.2 Energieverlustbeiwerte für eine Stromtrennung

### 2.2.1 Theoretische Ansätze

Aus der Anwendung des Impulssatzes auf das im *Bild 1b*) skizzierte Kontrollvolumen in Richtung der Achse 1–3 folgt

$$h_1 \cdot A_1 \cdot \rho \cdot g + \rho \cdot Q_1 \cdot v_1 + W_1 \cdot \cos(90 - \alpha) = h_3 \cdot A_3 \cdot \rho \cdot g + \rho \cdot Q_3 \cdot v_3 + \rho \cdot g \cdot h_2 \cdot A_2 \cdot \cos(\alpha) + \rho \cdot Q_2 \cdot v_2 \cdot \cos(\alpha) \quad (21)$$

Mit der Annahme, dass die Piezometerhöhen  $h_2$  und  $h_3$  im Bereich des Trennpunktes (TP) gleich gross sind, kann für die vorliegenden Verhältnisse wieder

$$h_2 = h_3 = 0 \quad (22)$$

gesetzt werden. Damit ergibt sich aus Gl. (21)

Verzweigungswinkel $\alpha$	Flächenverhältnis $A_2 / A$	Korrekturwert $c$ Stromvereinigung	Korrekturwert $c$ Stromtrennung
°	-	-	-
45	0,5	0,6	0,8
45	1,0	0,7	0,8
90	0,5	0,7	0,4
90	1,0	0,6	0,6

**Tabelle 1. Korrekturwerte für unterschiedliche Verzweigungswinkel und Flächenverhältnisse.**

$$h_1 = -\frac{v_1^2}{g} + \frac{v_3^2}{g} + \frac{v_2^2}{g} \cdot \frac{A_2}{A} \cdot \cos(\alpha) \quad (23)$$

Für den gesamten Energiestrom erhält man mit einem integralen Verlustbeiwert  $\zeta_s$

$$\left(h_1 + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} + \zeta_s \cdot \frac{v_1^2}{2 \cdot g}\right) \cdot Q_1 = \left(h_2 + \frac{v_2^2}{2 \cdot g}\right) \cdot Q_2 + \left(h_3 + \frac{v_3^2}{2 \cdot g}\right) \cdot Q_3 \quad (24)$$

$$\text{bzw.} \quad h_1 = \frac{v_2^2}{2 \cdot g} \cdot \left(\frac{Q_2}{Q_1}\right) + \frac{v_3^2}{2 \cdot g} \cdot \left(\frac{Q_3}{Q_1}\right) - \frac{v_1^2}{2 \cdot g} - \zeta_s \cdot \frac{v_1^2}{2 \cdot g} \quad (25)$$

Aus Gln. (23) und (25) folgt weiter

$$\frac{v_3^2}{g} + \frac{v_2^2}{g} \cdot \frac{A_2}{A} \cdot \cos(\alpha) - \frac{v_1^2}{g} = \frac{v_2^2}{2 \cdot g} \cdot \left(\frac{Q_2}{Q_1}\right) + \frac{v_3^2}{2 \cdot g} \cdot \left(\frac{Q_3}{Q_1}\right) - \frac{v_1^2}{2 \cdot g} - \zeta_s \cdot \frac{v_1^2}{2 \cdot g} \quad (26)$$

mit

$$\zeta_s = -2 \cdot \left(1 - \frac{Q_2}{Q_1}\right)^2 - 2 \cdot \left(\frac{Q_2}{Q_1}\right)^2 \cdot \frac{A}{A_2} \cdot \cos(\alpha) + \left(\frac{Q_2}{Q_1}\right)^3 \cdot \left(\frac{A}{A_2}\right)^2 + \left(1 - \frac{Q_2}{Q_1}\right)^3 + 1 \quad (27)$$

### 2.2.2 Auswertung von experimentellen Untersuchungen

Um die ermittelten Energieverlustbeiwerte  $\zeta_s$  mit den bekannten Energieverlustbeiwerten  $\zeta_{13}$  und  $\zeta_{12}$  für die Stromtrennung (Miller 1974) zu vergleichen, wird aus den beiden Verlustbeiwerten wieder ein Verlustbeiwert ermittelt, der auf die Geschwindigkeitshöhe im Rohrabschnitt 1 bezogen ist. Dabei wird wieder von den mit dem entsprechenden

Durchfluss multiplizierten Bestimmungsgleichungen für  $\zeta_{v12}$  und  $\zeta_{v13}$  ausgegangen:

$$\left(h_1 + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} - \zeta_{13} \cdot \frac{v_1^2}{2 \cdot g}\right) \cdot Q_3 = \left(h_3 + \frac{v_3^2}{2 \cdot g}\right) \cdot Q_3, \quad \left(h_1 + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} - \zeta_{12} \cdot \frac{v_1^2}{2 \cdot g}\right) \cdot Q_2 = \left(h_2 + \frac{v_2^2}{2 \cdot g}\right) \cdot Q_2 \quad (28)$$

Die Addition der beiden Gleichungen liefert

$$\left(h_1 + \frac{v_1^2}{2 \cdot g}\right) \cdot (Q_3 + Q_2) = \left(h_3 + \frac{v_3^2}{2 \cdot g}\right) \cdot Q_3 + \left(h_2 + \frac{v_2^2}{2 \cdot g}\right) \cdot Q_2 + \zeta_{13} \cdot \frac{v_1^2}{2 \cdot g} \cdot Q_3 + \zeta_{12} \cdot \frac{v_1^2}{2 \cdot g} \cdot Q_2 \quad (29)$$

und unter Beachtung von Gl. (24) ergibt sich daraus

$$\zeta_{sm} = \zeta_{13} \cdot \left(1 - \frac{Q_2}{Q_1}\right) + \zeta_{12} \cdot \left(\frac{Q_2}{Q_1}\right) \quad (30)$$

### 2.2.3 Vergleich der ermittelten Verlustbeiwerte für die Stromtrennung mit experimentellen Ergebnissen

In den *Bildern 6, 7, 8 und 9* sind die sich aus der Gl. (30) ergebenden  $\zeta_{sm}$ -Werte auf der Grundlage der Angaben von (Miller 1974) wieder für unterschiedliche Kombinationen von Verzweigungswinkeln  $\alpha$  und Verhältnissen von  $Q_2/Q_1$  dargestellt. Eine relativ gute Übereinstimmung mit den theoretischen Verlustbeiwerten kann erreicht werden, wenn diese Werte  $\zeta_s$  wieder mit einem Korrekturbeiwert  $c$  multipliziert werden und

$$\zeta_{sc} = c \cdot \zeta_s \quad (31)$$

gesetzt wird. In den Bildunterschriften werden die ermittelten  $c$ -Werte bereitgestellt.

### 2.2.4 Berechnung der partiellen Verlustbeiwerte für eine Stromtrennung

Auch aus dem integralen Verlustbeiwert  $\zeta_s$  lassen sich partielle Verlustbeiwerte berech-

nen. Aus Gl. (28) ergibt sich unter Beachtung von Gl. (25) und der Annahme, dass  $h_3 = 0$  ist,

$$\frac{v_2^2}{2 \cdot g} \cdot \left( \frac{Q_2}{Q_1} \right) + \frac{v_3^2}{2 \cdot g} \cdot \left( \frac{Q_3}{Q_1} \right) - \frac{v_1^2}{2 \cdot g} - \zeta_s \cdot \frac{v_1^2}{2 \cdot g} + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} - \zeta_{13} \cdot \frac{v_1^2}{2 \cdot g} = \frac{v_3^2}{2 \cdot g} \quad (32)$$

Daraus erhält man

$$\zeta_{13} = \left( \frac{Q_2}{Q_1} \right)^3 \cdot \left( \frac{A}{A_2} \right)^2 + \left( 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \right)^3 - \left( 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \right)^2 - \zeta_s \quad (33)$$

und aus Gl. (30) folgt

$$\zeta_{12} = \frac{\zeta_s - \zeta_{13} \cdot \left( 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \right)}{\frac{Q_2}{Q_1}} \quad (34)$$

In der praktischen Anwendung sind diese partiellen Verlustbeiwerte wieder mit Korrekturbeiwerten zu multiplizieren:

$$\zeta_{13c} = c \cdot \zeta_{13}, \quad \zeta_{12c} = c \cdot \zeta_{12} \quad (35)$$

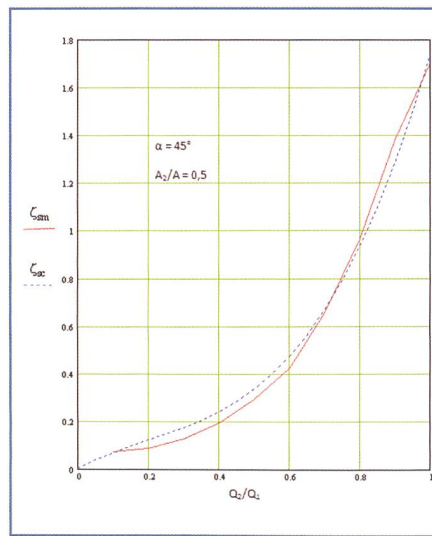
### 3. Schlussfolgerungen

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass sich aus den bekannten, zwischen den einzelnen Rohrabschnitten ermittelten Verzweigungsverlustbeiwerten für die Teilströmungen Gesamtverlustbeiwerte bestimmen lassen, die auch auf theoretischer Grundlage berechnet werden können. Dabei müssen jedoch Korrekturwerte eingeführt werden. Die aus den durchgeführten Untersuchungen ermittelten Werte sind für die praktische Anwendung in der *Tabelle 1* zusammengestellt.

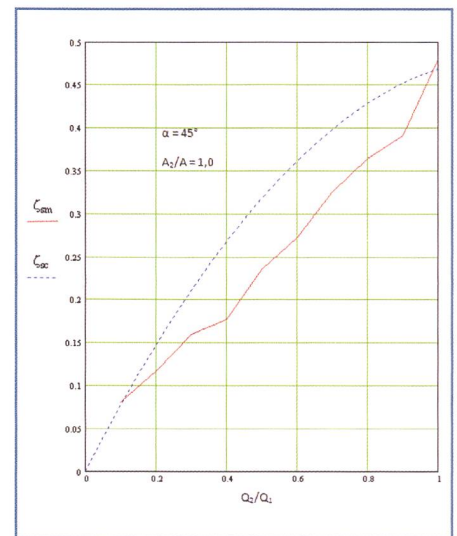
Die berechneten Verzweigungsverlustbeiwerte stimmen durch die Einführung von Korrekturwerten relativ gut mit den Werten überein, die auf der Grundlage von experimentellen Ergebnissen ermittelt werden. Sie sind stets positiv und stimmen im Randbereich für  $Q_2/Q_1 = 1$  und  $Q_2/Q_3 = 1$  gut mit den Verlustbeiwerten von T- oder Kniestücken überein.

Aus den integralen Verzweigungsverlustbeiwerten lassen sich wieder partielle Verlustbeiwerte berechnen. Dabei können bei den partiellen Werten die Korrekturwerte herangezogen werden, die auch für den integralen Ausgangswert gelten.

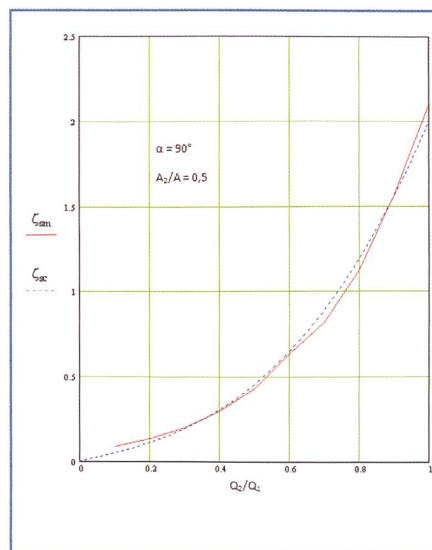
Die ermittelten Funktionen für die



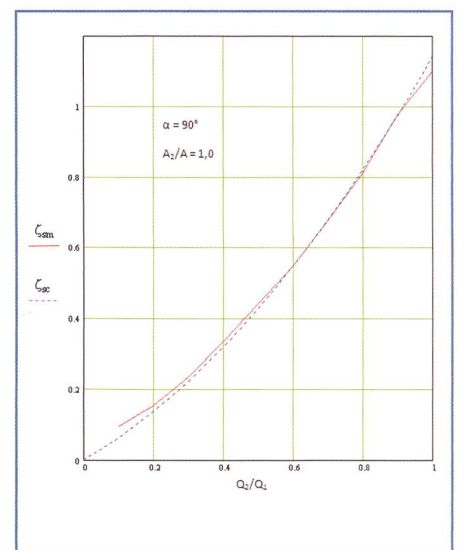
**Bild 6. Stromtrennungsverlustbeiwerte  $\zeta_{sm}$  und  $\zeta_{sc}$ ,  $c = 0.8$ .**



**Bild 7. Stromtrennungsverlustbeiwerte  $\zeta_{sm}$  und  $\zeta_{sc}$ ,  $c = 0.8$ .**



**Bild 8. Stromtrennungsverlustbeiwerte  $\zeta_{sm}$  und  $\zeta_{sc}$ ,  $c = 0.4$ .**



**Bild 9. Stromtrennungsverlustbeiwerte  $\zeta_{sm}$  und  $\zeta_{sc}$ ,  $c = 0.57$ .**

Verzweigungsverluste haben in der Strömungssimulation den Vorteil, dass Verzweigungswinkel und Flächenverhältnisse variiert werden können, ohne dass die Verlustbeiwerte aus Tabellen oder Diagrammen ständig nachjustiert werden müssen.

#### Literatur

Aigner, D. Berechnung der hydraulischen Verluste der Rohrvereinigung, 3R international (47), H 1-2/2008.

Bolrich, G. Technische Hydromechanik – Band 1, Grundlagen 6. Auflage, Huss-Medien, Verlag für Bauwesen Berlin, 2007.

Li, Y.T. Head losses in T-junctions and manifolds, Water Power, July 1973.

Miller, D.S. Discharge Characteristics. IAHR Hydraulic Structure Manual 8, A.A Balkema, Rotterdam, Brookfield 1994.

Bezeichnungen:

A	$m^2$	Fläche
Q	$m^3$	Durchfluss
W	N	Wasserdruckkraft
c		Korrekturwert
g	$m/s^2$	Erdbeschleunigung
h	m	Piezometerhöhe
v	m/s	Geschwindigkeit
$\alpha$	$^\circ$	Verzweigungswinkel
$\rho$	$kg/m^3$	Dichte des Wassers
$\zeta$		Energieverlustbeiwert

Anschrift des Verfassers

Prof. Dr.-Ing. habil. *Helmut Martin*

Zur Schafstränke 15, DE-01705 Freital  
Deutschland

helmut.martin@tu-dresden.de