

Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 104 (2012)
Heft: 1

Artikel: Energieverlustbeiwerte von Rohrverzweigungen
Autor: Martin, Helmut
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-941873>

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: 24.02.2026

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

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 Rohrleitungs-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 ζ_{13} und zwischen den Rohrabschnitten 2 und 3 der Beiwert ζ_{23} ermittelt (Aigner 2008). Für die Stromtrennung wird zwischen den Rohrabschnitten 1 und 3 auch ein Beiwert ζ_{13} und zwischen den Rohrabschnitten 1 und 2 der Beiwert ζ_{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 ζ_v und für die Stromtrennung ein Leistungsverlustbeiwert ζ_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 α kann von 0° bis 90° variieren (vgl. *Bild 1*).

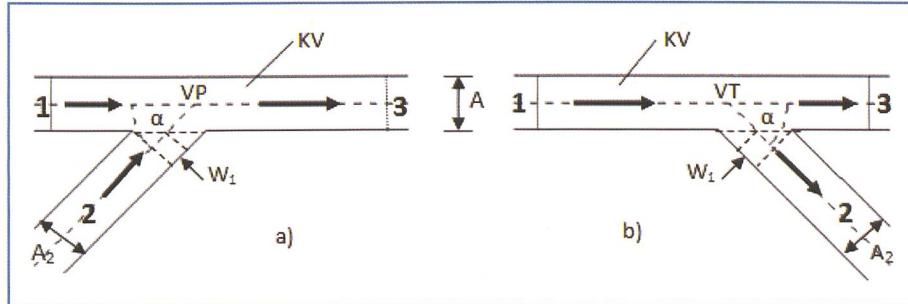


Bild 1. Rohrverzweigung: a) Stromvereinigung, b) Stromtrennung.

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:

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

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

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

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)

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

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

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

Durch Umformung erhält man daraus eine Gleichung für Energiehöhen

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

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)

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

2.1.2 Auswertung von experimentellen Untersuchungen

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

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

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

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 ζ_{13} und ζ_{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 ζ_{vm} -Werte für unterschiedliche Kombinationen vom Vereinigungswinkel α 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 ζ_{vm} -Werte mit den aus Gl. (10) ermittelten Verlustbeiwerten ζ_v folgt, dass die Gl. (10) den funktionellen Zusammenhang richtig wider spiegelt, 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.

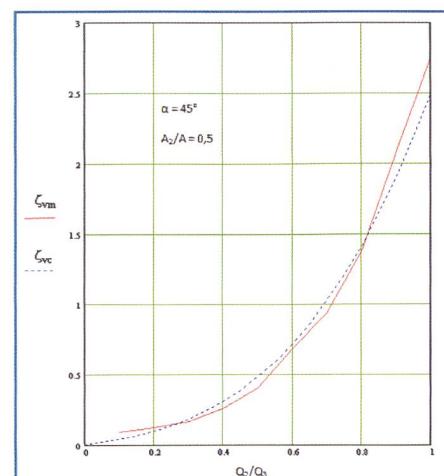


Bild 2. Vereinigungsverluste ζ_{vm} und, ζ_{vc} , $c = 0.6$.

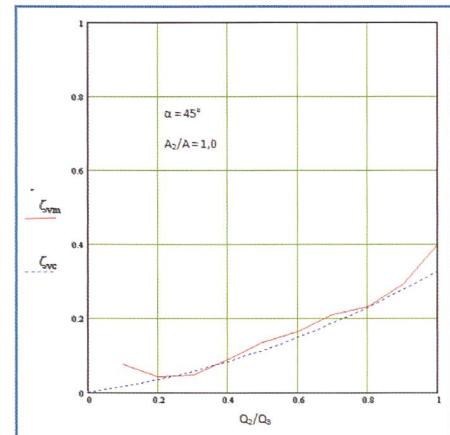


Bild 3. Vereinigungsverluste ζ_{vm} und, ζ_{vc} , $c = 0.7$.

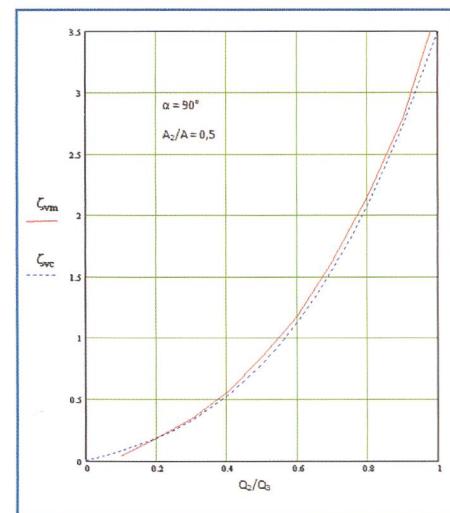


Bild 4. Vereinigungsverluste ζ_{vm} und, ζ_{vc} , $c = 0.7$.

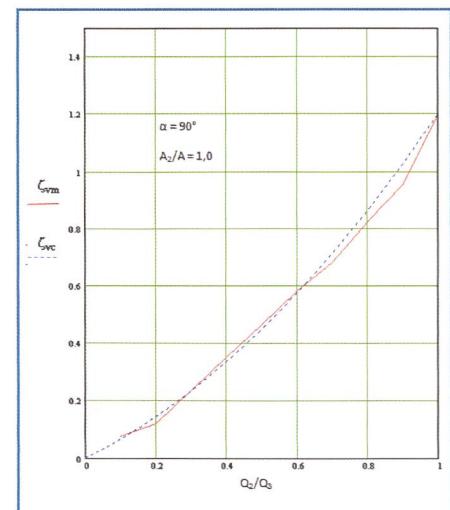


Bild 5. Vereinigungsverluste ζ_{vm} und, ζ_{vc} , $c = 0.6$.

2.1.4 Berechnung der partiellen Verlustbeiwerte für die Stromvereinigung

Aus dem integralen Verlustbeiwert ζ_v können die partiellen Verlustbeiwerte ζ_{13} und ζ_{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)

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

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

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

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 ζ_{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

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

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 α	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 ζ_s

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

bzw.

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

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

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

mit

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

2.2.2 Auswertung von experimentellen Untersuchungen

Um die ermittelten Energieverlustbeiwerte ζ_s mit den bekannten Energieverlustbeiwerten ζ_{13} und ζ_{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 ζ_{v12} und ζ_{v13} ausgegangen:

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

Die Addition der beiden Gleichungen liefert

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

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 ζ_{sm} -Werte auf der Grundlage der Angaben von (Miller 1974) wieder für unterschiedliche Kombinationen von Verzweigungswinkeln α und Verhältnissen von Q_2/Q_1 dargestellt. Eine relativ gute Übereinstimmung mit den theoretischen Verlustbeiwerten kann erreicht werden, wenn diese Werte ζ_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 ζ_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

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

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

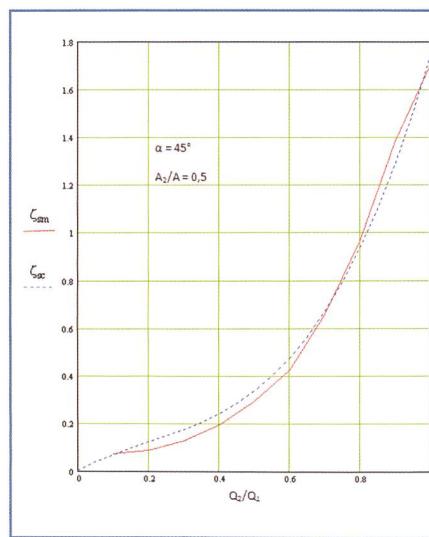


Bild 6. Stromtrennungsverlustbeiwerte ζ_{sm} und, ζ_{sc} , $c = 0.8$.

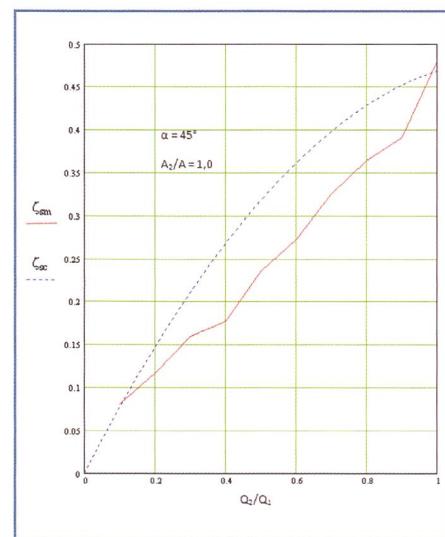


Bild 7. Stromtrennungsverlustbeiwerte ζ_{sm} und, ζ_{sc} , $c = 0.8$.

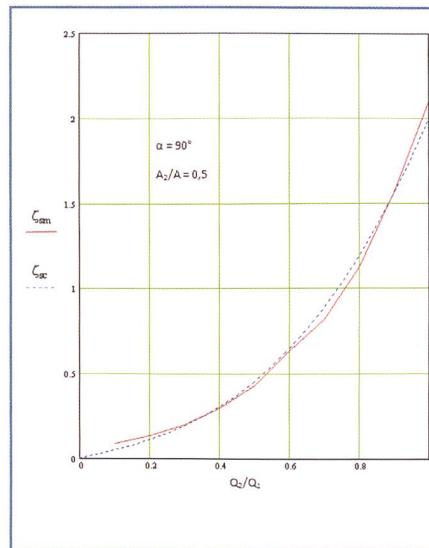


Bild 8. Stromtrennungsverlustbeiwerte ζ_{sm} und, ζ_{sc} , $c = 0.4$.

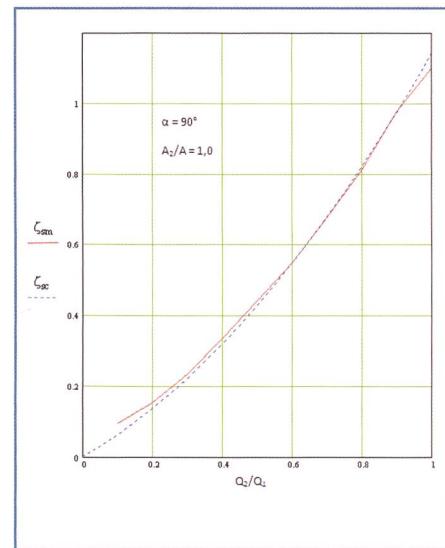


Bild 9. Stromtrennungsverlustbeiwerte ζ_{sm} und, ζ_{sc} , $c = 0.57$.

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.

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

Li, Y.T. Headlosses 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
α	°	Verzweigungswinkel
p	kg/m^3	Dichte des Wassers
ζ		Energieverlustbeiwert

Anschrit des Verfassers

Prof. Dr.-Ing. habil. Helmut Martin

Zur Schafstränke 15, DE-01705 Freital Deutschland

helmut.martin@tu-dresden.de