

Zeitschrift:	Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber:	Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band:	117/118 (1941)
Heft:	8
Artikel:	Hilfsmittel zur Verringerung der Verluste in scharfen Krümmern
Autor:	Bolley, A.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-83502

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: 21.02.2026

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

INHALT: Hilfsmittel zur Verringerung der Verluste in scharfen Krümmern. — Le développement cyclique du béton armé. — Neue Bauten der Westschweiz. — Sur l'application d'enduits de protection à l'intérieur de conduites forcées et de galeries sous pression. — Mitteilungen: Eisenbahn-Fährverbindung Giurgiu-Rustschuk. Elektrisches Unterwasser-

schweissen und -schneiden. Arbeitsbeschaffungs-Kommission des SEV und VSE. «Aperiodischer» Einzelachsantrieb für Schienenfahrzeuge. Autobahnknotenpunkte. Luftposttausch ohne Landung. Schweizerische Lichtbildanstalt. Persönliches. Ausstellung von Isoliermaterialien. — Literatur.

Band 118

Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet

Nr. 8

Hilfsmittel zur Verringerung der Verluste in scharfen Krümmern

Von Dipl. Ing. A. BIOLLEY, Institut für Aerodynamik, E.T.H. Zürich

1. Einleitung

Aus zahlreichen Untersuchungen¹⁾ ist wohlbekannt, dass die Druckverluste von Krümmern in Leitungen stark abhängig sind von der Schärfe der Krümmung, d. h. vom Verhältnis des Außenradius zum Innenradius. Da kleine Innenradien manchmal nicht vermeidbar sind, ist es von Interesse, nach einfachen konstruktiven Mitteln zu suchen, um auch im Falle scharfer Krümmung erträgliche Druckverluste zu erhalten. Im Rahmen einer gemeinsamen Uebung von Studierenden der Abteilung für Maschinenbau wurden verschiedene Vorschläge näher untersucht und ihre Wirksamkeit bei verschiedenen Reynolds'schen Zahlen quantitativ verglichen. Obwohl keine grundsätzlich neuen Resultate gefunden wurden, dürfte eine kurze Mitteilung der Ergebnisse die Benutzer solcher Anordnungen interessieren.

Die nachstehenden Messergebnisse sind zunächst nur für den Fall einer einigermaßen gleichmässigen Verteilung der Eintrittsgeschwindigkeit gültig. Die Frage des Einflusses einer anderen Geschwindigkeitsverteilung auf die Krümmerverluste soll wenn möglich noch untersucht werden.

Bezeichnungen und Einheiten

$$q = \text{Staudruck} = \rho/2V^2 \text{ in kg/m}^2$$

$$\rho = \text{Luftdichte in kg} \cdot \text{s}^2 \cdot \text{m}^{-4}$$

$$V = \text{Luftgeschwindigkeit in m/s}$$

$$q_1 = \text{Staudruck an der Messtelle 1}$$

$$q_0 = \text{Bezugs-Staudruck} = k \cdot q_{1\max}$$

$$k = \frac{q_{1\text{mitt}}}{q_{1\max}}$$

$$p_{st} = \text{Statischer Druck in kg/m}^2$$

$$g = \text{Gesamtdruck} = q + p_{st} \text{ in kg/m}^2$$

$$\zeta = \text{Verlustziffer} = \frac{\Delta p_{st}}{q_0}$$

$$\Delta p_{st} = \text{Statischer Druckabfall über den Krümmer in kg/m}^2$$

$$Re = \text{Reynolds'sche Zahl} = \frac{4 \cdot F}{U} \cdot \frac{V}{v}$$

$$F = \text{Kanalquerschnitt in m}^2$$

$$U = \text{Umfang des Kanalquerschnittes in m}$$

$$v = \text{Kinematische Zähigkeit der Luft in m}^2/\text{s}$$

2. Die theoretische Krümmerströmung

In einem scharfen Krümmer verläuft die theoretische (Potential-)strömung keineswegs so wie die naive Vorstellung meint, nämlich ähnlich der rotierenden Bewegung eines starren Körpers. Vielmehr ist die grösste Geschwindigkeit (theoretisch) auf dem Innenradius vorhanden. Da die numerische Berechnung auch bei recht einfachen Grenzen schon bedeutenden Aufwand erfordert, haben wir in den Uebungen die bekannte Analogie der Potentialströmung

¹⁾ H. Nippert: Ueber den Strömungsverlust in gekrümmten Kanälen; Forschungsarbeiten, Heft 320 (1929), VDI-Verlag.

L. Schiller: Strömung in gekrümmten Röhren; Handbuch der Experimental-Physik, Bd. IV, 4. Teil, S. 175 bis 186 (1932).

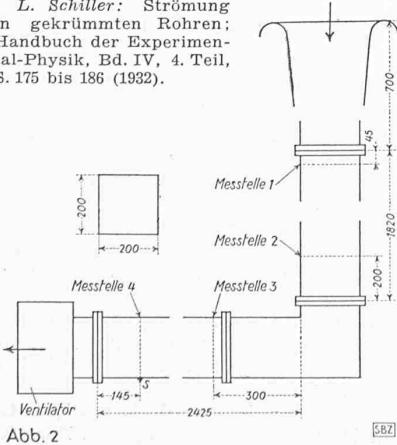


Abb. 2

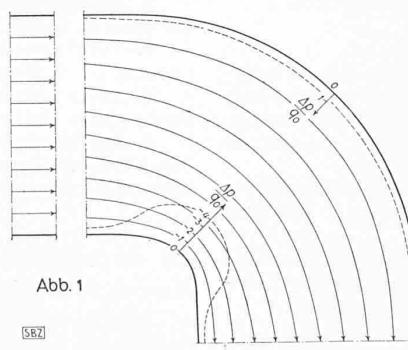
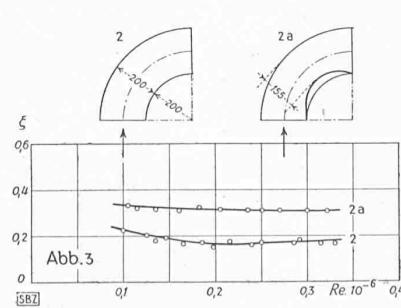


Abb. 1

SBZ



SBZ

Abb. 3

SBZ

mit der elektrischen Strömung in Leitern, in diesem Fall in einem Elektrolyt herangezogen²⁾. Die so erhaltenen Stromlinien sind in Abb. 1 eingetragen, ebenso (gestrichelt) der nach Bernoulli errechnete Verlauf des Druckverhältnisses $\frac{\Delta p}{q_0}$ an

Innen- und Außenwand, wo q_0 der Bezugstaudruck, Δp der Druckunterschied ($p_{st_0} - p_{st}$) zwischen dem statischen Druck p_{st_0} weit vor der Krümmung und dem statischen Druck p_{st} an der betrachteten Randstelle ist. Man sieht, wie die Geschwindigkeit auf der Innenseite des Krümmers stark zunimmt (Stromlinien sehr nahe beisammen) und so, nach Bernoulli, ein Absinken des Druckes hervorruft. Der Unterdruck (auf der inneren Wand) erreicht hier $-4,02 q_0$, um dann, in grösserem Abstand, auf den Wert Null zu sinken. Da der Druckanstieg in diesem Falle sehr schnell vor sich geht, würde die durchströmende Luft sich von der Wand ablösen und anschliessend einen Druckverlust erleiden.

3. Die Versuchseinrichtung zur Messung der Druckverluste

Die Versuchskrümmer, sämtliche für 90° Umlenkung der Strömung und mit quadratischem Querschnitt, sind in eine Zulauf- und Ablaufstrecke eingebaut. Diese bestehen, ebenso wie die Krümmer selbst, aus Sperrholz; die Abmessungen sind aus der Abb. 2 zu entnehmen. Die Übergänge zum Krümmer wurden mit Spachtelkitt geglättet und mit Glaspapier poliert, die inneren Wände des Krümmers mit Modell-Lack glatt gestrichen. Der zu untersuchende Krümmer war mit einer Glasplatte gedeckt, um die Beobachtung der Strömung mit Wollfäden zu ermöglichen. Am Austritt der Auslaufstrecke war ein Axial-Ventilator montiert, der mittels Seidenriemen durch einen 4 PS-Gleichstrommotor angetrieben wurde. Zur Regulierung der Drehzahl diente ein Schieberwiderstand im Rotorkreis.

4. Die untersuchten Objekte

Es wurden folgende Krümmer und Einbauten untersucht:

$$\text{I. Krümmer mit Verhältnis } \frac{\text{Innenradius}}{\text{Außenradius}} = \frac{1}{2} \text{ (Abb. 3).}$$

(2) Krümmer allein.

(2a) » mit eingebautem Blech auf der Innenseite.

$$\text{II. Krümmer mit Verhältnis } \frac{\text{Innenradius}}{\text{Außenradius}} = \frac{1}{5} \text{ (Abb. 4).}$$

(3) Krümmer allein.

(4) » mit einem Leitblech auf der Mittellinie ($r = 150$ mm).

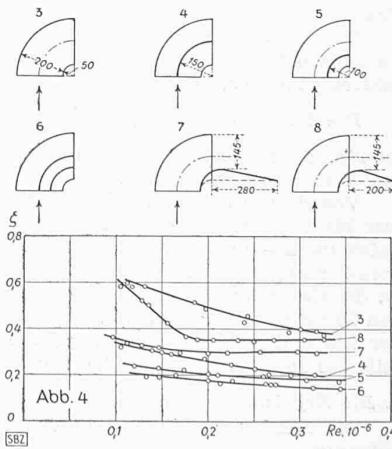
$$(5) \text{ Krümmer mit einem Leitblech vom Radius } r = 100 \text{ mm.}$$

(6) » mit beiden Blechen von (4) und (5).

(7) » mit Leitblech längs der Ablösungsgrenze der Strömung, wie (7), Blechlänge kurzer.

(8) » mit einem Leitblech vom Radius $r = 100$ mm.

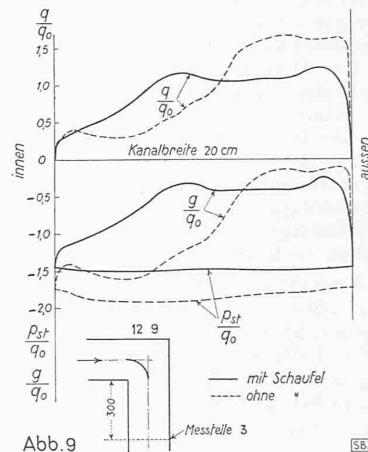
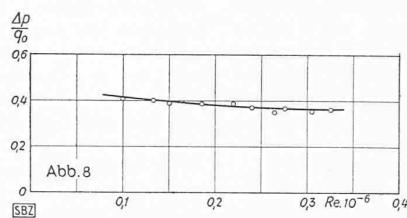
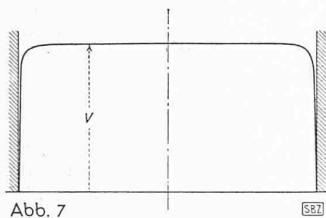
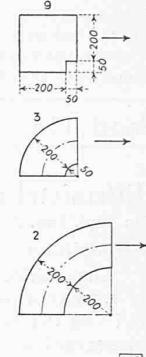
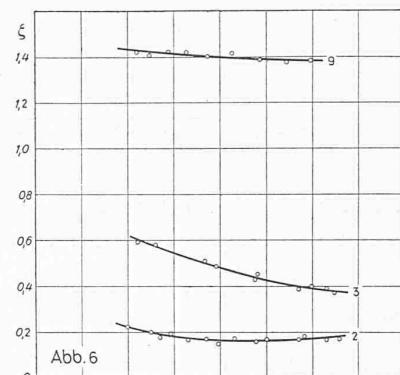
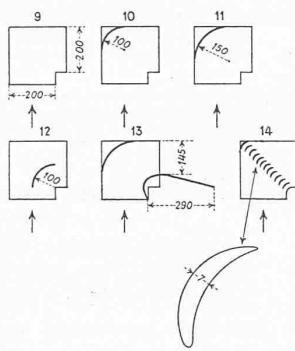
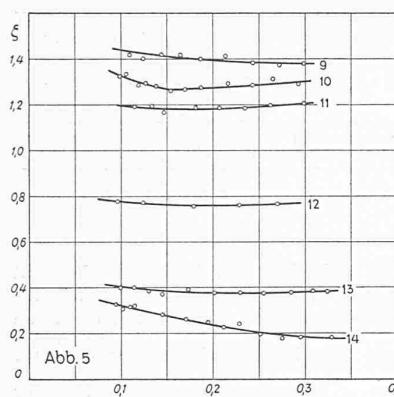
²⁾ J. Ackeret: Das Institut für Aerodynamik der E.T.H., «SEZ» Bd. 111 (1938), S. 89*.



SBZ

Abb. 4

SBZ



III. Krümmer mit scharfen Kanten (Abb. 5).

- (9) Krümmer allein.
- (10) » mit kleiner Abrundung der Aussenecke.
- (11) » mit grösserer Abrundung der Aussenecke.
- (12) » mit eingebautem Leitblech vom Radius $r = 100$ mm.
- (13) » wie (11), aber mit einem Blech längs der Ablösungsgrenze.
- (14) » mit 12 eingebauten Holzschaufeln, auf der Diagonale montiert; die innere Ecke des Krümmers ist mit einem Radius von etwa 30 mm abgerundet.

Die Leitbleche waren 2 mm dick, vorn und hinten abgerundet. Die Ablösungsgrenzen der Strömung wurden mittels Wollfäden bestimmt.

5. Die Messungen

An den Messtellen 1 bis 4 (Abb. 2) sind Prandtl'sche Staurohre verschiebbar angebracht; sie ermöglichen die Untersuchung der Strömung auf der ganzen Breite des Messquerschnittes in der horizontalen Mittelebene.

Zur Messung der Drücke dienten Mikromanometer. Da die Luft aus dem Freien durch ein sich langsam verengendes Stück angesaugt wurde, ist die Geschwindigkeitsverteilung im Messquerschnitt 1 sehr gleichmässig (s. Abb. 7).

Der Bezugstaudruck q_0 ist durch den Ausdruck

$$q_0 = k q_{1,\max} \text{ definiert, wo}$$

$q_{1,\max}$ = Staudruck in der Mitte des Messquerschnittes 1

$$\text{und } k = \frac{q_{1,\text{mitt}}}{q_{1,\max}}$$

Zur Berechnung des Staudruckes der mittleren Geschwindigkeit wurde der Verlauf von q_1 längs dem Messquerschnitt 1 aufgetragen und daraus die durchströmende Menge bestimmt; q_0 ist dann der Staudruck der über den Querschnitt gemittelten Geschwindigkeit.

Der statische Druck p_{st} war konstant im ganzen Messquerschnitt und wurde an der gleichen Stelle wie $q_{1,\max}$ mit dem Prandtl'schen Rohr gemessen.

Der statische Druck p_{st_4} an der Messtelle 4 war konstant im ganzen Messquerschnitt und wurde an einem seitlichen Anschluss gemessen, der in der Abb. 2 mit S angedeutet ist.

Die Krümmerverluste, die durch $\xi = \frac{\Delta p_{st}}{q_0}$ definiert sind, wo Δp_{st} der statische Druckabfall über dem Krümmer ist, wurden folgendermassen gerechnet:

Von dem Druckabfall, von der Messtelle 1 über den Krümmer bis zur Messtelle 4, wurde der besonders gemessene Druckabfall der Zu- und Ablaufstrecken abgezogen, der um den Druckabfall eines geraden Stückes von 20 cm Länge vergrössert wurde, da die Krümmer aus konstruktiven Gründen ein gerades Stück von 20 cm Länge enthielten. In der Abb. 8 ist der Druckverlust der Zu- und Ablaufstrecken angegeben, einschliesslich des Anteils des 20 cm langen geraden Stücks.

6. Die Ergebnisse

Die Messergebnisse sind in den Abb. 3, 4, 5, 6 und 9 aufgetragen.

Die Abb. 9 zeigt den Einfluss des Krümmers (9) auf den Verlauf der Drücke q , p_{st} und g im Messquerschnitt 3.

Der Einbau des Leitbleches (12) verbessert bedeutend das Geschwindigkeitsprofil und verkleinert die Verluste.

Aus den Abb. 3, 4, 5 und 6 lassen sich die Einflüsse der Schärfe der Krümmung, der eingebauten Leitbleche und der Reynolds'schen Zahl auf die Verlustziffer ξ sehr deutlich erkennen. Es lassen sich daraus folgende Schlüsse ziehen:

1. Bei gleichen Außenabmessungen kann der Druckverlust durch geeignete Einbauten auf einen Bruchteil verringert werden; zum Beispiel:

$$\xi(9) = 1,4 \text{ und } \xi(14) = 0,24 \quad (\text{für } Re = 0,2 \cdot 10^6)$$

2. Die günstigste Anordnung beim scharfen Krümmer war Nr. 14 (viele Umlenkshaufeln). Durch etwas feinere Ausführung der Schaufeln könnten die Verluste vermutlich noch etwas verringert werden. Diese Anordnung zeigt allerdings eine ziemlich starke Abhängigkeit von der Reynolds'schen Zahl.

3. Einzelne Leitbleche sind wirksamer, wenn sie in der Nähe der inneren Wandung angebracht sind (vgl. Nr. 4 und 5).

4. Vergrösserung des Innenradius ist immer von Vorteil (Abb. 6, Nr. 2, 3 und 9).

5. Ausrundungen der äusseren Ecken (9, 10, 11) geben nur eine geringe Verbesserung.

6. Ausfüllungen des inneren Totraumes sind wirksam, wenn das Füllblech einen genügend schlanken Diffusor hinter dem Krümmer bildet (Nr. 7, 8, 13).

Le développement cyclique du béton armé Hasard ou intuition ?

Sous ce titre, M. Henry Lossier, l'ingénieur suisse bien connu, dont on sait la brillante carrière parisienne, publie, dans le «Génie Civil» du 1/8 février 1941, un article qui embrasse l'évolution de la technique du béton armé, des origines à l'époque la plus récente. M. Lossier distingue quatre stades dans le développement historique du béton armé:

Au cours d'un premier stade, les précurseurs ignorant le phénomène du retrait, abordent de difficiles problèmes avec audace et une sorte de génie qui leur fait réaliser des types de constructions qu'on ne justifiera entièrement que quelques 20 ou 30 ans plus tard. C'est ainsi qu'on réalisait alors des poutres à travées solidaires avec continuité partielle au dessus des appuis, ou encore des arcs très surbaissés, en général sans articulations (Pont sur le Tibre à Rome, 1910/11).

Le deuxième stade est celui du triomphe de la statique. On craint le retrait; on craint les tassements des appuis. Pour les