Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 125/126 (1945)
Heft: 19

Artikel: Dimensionierung von Kanalisationen
Autor: Kropf, A.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-83657

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: 15.08.2025

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

INHALT: Dimensionierung von Kanalisationen. — Versuche an einer Kraftwerk-Fischtreppe. — Zur Frage des Stromsystems für elektrische Vollbahnen. M. Birkigt, ein grosser Schweizer Konstrukteur im Ausland. — Der Bauabstand. — Landhaus im Moor Park, Herts., England. — Zu einer Buchbesprechung. — Mitteilungen: Der Elektrizitätsverbrauch in einem Haushalt. Eidg. Techn. Hochschule. Der Schweiz. Techniker-verband. — Nekrologe: Hans Rickenbacher. — Wettbewerbe: Bebaungsplan des Gümlingenfeldes in Muri (Bern). Städtisches Kinderheim in Lugano. Siedelung mit Kindergarten in Witellikon. Gemeinschaftsgrab im Waldfriedhof Schaffhausen. — Gesellschaft des schweizerischen Baugewerbes für den Wiederaufbau.

Band 125 Der S. I. A. ist für den Inhalt des redaktionellen Teils seiner Vereinsorgane nicht verantwortlich Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet Nr. 19

Dimensionierung von Kanalisationen

Von Dipl. Ing. A. KROPF, Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasser-Reinigung und Gewässerschutz

(Hiezu Tafeln 6 bis 10)

1. Einleitung

Anlässlich des vom Zürcher Ingenieur- und Architekten-Verein im April 1944 durchgeführten Kurses über Kulturtechnik, Waldstrassenbau, Abwasserreinigung, Kanalisationen und Wasser-Versorgung hatten wir Gelegenheit, das Problem der Dimensionierung von Kanalisationen darzulegen. In einem ersten Teil wurden zunächst die Ergebnisse einer Auswertung von dreissigjährigen Aufzeichnungen der Regenmesstation der Meteorologischen Zentralanstalt in Zürich bekannt gegeben [2] [1]).

Im zweiten Teil wurden auf Grund der Strickler'schen Potenzformel [6] neu aufgestellte Abflussdiagramme, die durch Einführung von Umrechnungsfaktoren eine wertvolle Verallgemeinerung erfahren und daher rasch verschiedene Probleme der Leitungsberechnung zu lösen gestatten, näher erläutert. Da von verschiedenen Seiten der Wunsch ausgesprochen wurde, diese Abflussdiagramme der Oeffentlichkeit zur Verfügung zu stellen, haben wir uns entschlossen, sie zu veröffentlichen und benützen die Gelegenheit, um in einem Kommentar nebst einer kurzen Gebrauchsanweisung allgemein auf das Problem des Widerstandes in glatten und rauhen Rohrleitungen hinzuweisen. Die zum Schluss angegebenen Formeln gestatten in der Tat, den Rauhigkeitskoeffizienten k nach Strickler genauer zu erfassen, als es bis heute der Fall war. Hoffentlich werden diese Diagramme dazu beitragen, die Strickler'sche Formel auch im Kanalisationswesen in vermehrtem Masse einzuführen.

Für den Praktiker, dem die hydraulische Berechnung von Leitungsnetzen verschiedenster Art obliegt, stellen Abflussdiagramme ein unumgängliches Hilfsmittel dar, weil sie in Funktion der Abflussmenge in wenigen Griffen das zugehörige Profil mit den entsprechenden Angaben über Gefälle und Geschwindigkeit bei Normalabfluss abzulesen gestatten. In den verschiedenen Lehr- und Handbüchern sind Abflussdiagramme für Kreis- und andere Profile, denen aber meistens die abgekürzte Kutter'sche Formel zu Grunde liegt, seit langem enthalten. Nun wird diese Abflussformel in der Schweiz in Wasserbaukreisen nicht mehr angewandt; an ihrer Stelle tritt immer mehr die Strickler'sche Potenzformel auf. Damit sich diese allmählich auch im Kanalisationswesen einbürgert, war es notwendig, neue Abfluss-Diagramme mit den zugehörigen Füllungskurven aufzustellen. Aufgabe dieser Veröffentlichung ist es, diese von der Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz, vorerst für den eigenen Gebrauch, dann im Hinblick auf die Vorlesung über Kanalisation errechneten Diagramme den Fachkollegen zur Verfügung zu stellen.

2. Abflussdiagramme für volle Füllung (I und IV)

In der Folge geben wir die Abflussdiagramme für die im Kanalisationswesen üblichsten Profile, nämlich Kreis- und Ei-Profil, bei voller Füllung an, unter Zugrundlegung einer Rauhigkeitsziffer nach Strickler $k = 100$. Bezeichnen wir mit:

v = die Geschwindigkeit in m/s,
J = das Energieliniengefälle, absolut gemessen,
D = den Leitungsdurchmesser in m,
R = den hydraulischen Radius in m und
k = den Rauhigkeitskoeffizienten

so lautet die Manning-Gaukler-Strickler'sche Formel:

$$v = k\, J^{1/2} R^{2/3} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (1)$$

Wählen wir den hydraulischen Radius R, bzw. den Durchmesser D der Leitung als Parameter, so lässt sich allgemein folgende Beziehung zwischen Wassermenge Q und Energielinien-Gefälle J anschreiben:

$$Q = v F = (k\, J^{1/2} R^{2/3})\,(a R^2) = C\, J^{1/2} \quad . \; . \; . \; . \quad (2)$$

die, logarithmisch aufgetragen, durch eine Gerade dargestellt wird. Das gesuchte Abflussdiagramm stellt sich daher im logarithmischen Netz als eine Schar von parallelen Geraden dar. Verbindet man noch die Punkte gleicher Geschwindigkeit untereinander, so erhält man eine zweite Parallelen-Schar, ungefähr rechtwinklig zur ersten gerichtet.

Besonders wertvoll ist das Abflussdiagramm für Kreisprofile (I), das für alle gangbaren Durchmesser zwischen 20 und 200 cm und für Gefälle von 0,5 bis 50 ‰ die zugehörigen Werte für Q und v angibt, weil unter Anwendung der weiter unten abgeleiteten Umrechnungsfaktoren sein Gültigkeitsbereich auch auf solche Leitungen ausgedehnt werden kann, deren Abfluss-Werte aus dem Diagramm nicht direkt abzulesen sind.

Zur Ermittlung dieser Umrechnungsfaktoren genügt es, die Beziehung zwischen homologen Grössen zweier Leitungen A und A' aufzustellen, für die folgende Gleichungen gültig sind:

$$\text{Leitung } A \quad v = k\, J^{1/2} R^{2/3}$$
$$\text{Leitung } A' \quad v' = k'\, J'^{1/2} R'^{2/3}$$

Wir bezeichnen mit:

$$\varkappa = \frac{k}{k'} \text{ das Verhältnis der Rauhigkeitsbeiwerte,}$$
$$i = \frac{J}{J'} \text{ dasjenige der Gefälle und}$$
$$\varrho = \frac{R}{R'} \text{ dasjenige der Längen.}$$

Das Verhältnis der Geschwindigkeiten in den zwei Leitungen A und A' ergibt sich somit zu:

$$m = \frac{v}{v'} = \frac{k}{k'}\left(\frac{J}{J'}\right)^{1/2}\left(\frac{R}{R'}\right)^{2/3} = \underline{\varkappa\, i^{1/2}\, \varrho^{2/3}} \quad . \; . \; . \quad (3)$$

und dasjenige der Abflussmengen wie folgt:

$$n = \frac{Q}{Q'} = \frac{v}{v'}\,\frac{F}{F'} = m\,\varrho^2 = \underline{\varkappa\, i^{1/2}\, \varrho^{8/3}} \quad . \; . \; . \; . \quad (4)$$

Fallen somit die Abflusswerte der Leitung A ausserhalb des Diagrammes, so behilft man sich mit einer fiktiven Leitung A', deren entsprechende Werte darin enthalten sind.

Des besseren Verständnisses wegen führen wir zwei Berechnungsbeispiele, die verschiedenen Gebieten der Praxis entnommen sind, an:

Beispiel Nr. 1

Wieviel fördert eine Eternitrohrleitung $D = 125$ mm bei einem Gefälle $J = 60$ ‰ und einem angenommenen Rauhigkeitsbeiwert $k = 110$?

	Effektive Ltg.	Fiktive Ltg.	Masstab
Durchmesser	$D = 12{,}5$ cm	$D' = 125$ cm	$\frac{D}{D'} = \varrho = \frac{1}{10}$
Gefälle	$J = 60$ ‰	$J' = 0{,}60$ ‰	$\frac{J}{J'} = i = 100$
Rauhigkeits-Koeffizient	$k = 110$	$k' = 100$	$\frac{k}{k'} = \varkappa = 1{,}1$

$$m = \frac{v}{v'} = \varkappa\, i^{1/2}\, \varrho^{2/3} = 1{,}1 \cdot 10 \cdot \frac{1}{4{,}64} = 2{,}37$$

$$n = \frac{Q}{Q'} = \varkappa\, i^{1/2}\, \varrho^{8/3} = 1{,}1 \cdot 10 \cdot \frac{1}{464} = 0{,}0237$$

Die fiktive Leitung $D' = 125$ cm fördert bei voller Füllung gemäss Diagramm I bei 0,6 ‰ Gefälle $Q' = 1400$ l/s. Die zugehörige Fliessgeschwindigkeit beträgt $v' = 1{,}13$ m/s. Demnach sind die gesuchten wirklichen Abflusswerte:

$$Q = Q'\, n = 1400 \cdot 0{,}0237 = 33 \text{ l/s}$$
$$v = v'\, m = 1{,}13 \cdot 2{,}37 = 2{,}68 \text{ m/s}$$

Beispiel Nr. 2

Wie gross sind die Reibungsverluste Δz_e in einer Druckleitung $D = 100$ cm von der Länge $L = 3{,}2$ km und einer Rauhigkeit $k = 85$ bei einer Wasserführung von $Q = 500$ l/s?

Der gesuchte Punkt liegt nicht im Diagramm, sodass der Umweg über die fiktive Leitung begangen werden muss.

	Effektive Ltg.	Fiktive Ltg.	Masstab
Durchmesser	$D = 100$ cm	$D' = 100$ cm	$\frac{D}{D'} = \varrho = 1{,}0$
Rauhigkeit	$k = 85$	$k' = 100$	$\frac{k}{k'} = \varkappa = 0{,}85$
Wassermenge	$Q = 500$ l/s	$Q' = 5000$ l/s	$\frac{Q}{Q'} = n = \frac{1}{10}$

[1]) Literaturverzeichnis siehe am Schluss (Hinweise darauf in eckiger Klammer).

Nach Gleichung (4) ist:

$$i = \frac{J}{J'} = \left(\frac{n}{\varkappa\, \varrho^{8/3}}\right)^2 = \frac{n^2}{\varkappa^2\, \varrho^{16/3}} = \frac{1}{100 \cdot 0{,}72 \cdot 1} = \underline{0{,}0139}$$

Für die fiktive Leitung beträgt das aus dem Diagramm erhaltene Energieliniengefälle $J' = 26\ ^0/_{00}$. Demnach ist das gesuchte Energieliniengefälle

$$J = J'\, i = 26\ ^0/_{00} \cdot 0{,}0139 = 0{,}36\ ^0/_{00}$$

und der Reibungsverlust

$$\Delta z_e = J\, L = 0{,}36\ ^0/_{00} \cdot 3200 \text{ m} = 1{,}15 \text{ m}$$

An Hand dieser Beispiele hoffen wir gezeigt zu haben, wie mit einiger Uebung verschiedene Probleme der praktischen Hydraulik schnell und einfach gelöst werden können. In der Regel liegt der gesuchte Punkt im Bereich des Diagrammes, sodass die Berechnung noch einfacher ausfällt und lediglich die Aenderung des k-Wertes ($m = n = \varkappa$) berücksichtigt werden muss.

Aehnliche Abfluss-Diagramme lassen sich ohne grosse Mühe auch für andere wichtige Profile, wie Dreieck-, Rechteck-, Maul- und Hauben-Profil, usw. zusammenstellen. Wir begnügen uns damit, nebst dem Diagramm für Kreisprofile noch dasjenige für Eiprofile (IV) anzugeben, weil diese zwei Querschnitte im Kanalisationswesen bei weitem am häufigsten zur Anwendung kommen.

3. Füllungsdiagramme (II und V)

Zur Ermittlung der Abflussverhältnisse bei Teilfüllung dienen die zugehörigen Füllungsdiagramme, die in Funktion des Füllungsgrades (Wassertiefe) die Wassermenge Q und Geschwindigkeit v in Prozenten der selben Grössen bei voller Füllung angeben. Diese Diagramme wurden unter Zugrundelegung der Strickler'schen Formel errechnet, stellen aber im Prinzip nichts Neues dar und unterscheiden sich von den andernorts veröffentlichten nur wenig. Ueber ihre Anwendung brauchen wir keine Worte zu verlieren, da sie als bekannt vorausgesetzt werden kann.

4. Diagramme zur Ermittlung der kritischen Tiefe beim Kreis- und Eiprofil (III und VI)

Die Kenntnis der kritischen Tiefe h_k ist für viele Sonderaufgaben der Hydraulik von Bedeutung. Vor allem ist man alsdann in der Lage zu beurteilen, ob der Abfluss strömend oder schiessend erfolgt und welcher Art der Uebergang von einem Profil zum andern sein wird. Auch bei der Dimensionierung von Regenentlastungsbauwerken gestattet die Kenntnis von h_k eine rasche Orientierung. Ihre Ermittlung bei Kreis- und Eiprofilen ist aber zeitraubend und umständlich.

Wohl lässt sich für Kreisprofile eine analytische Behandlung des Problems durchführen, wenn als unabhängige Variable der Füllungswinkel in Ansatz gebracht wird [3]. Um die Anwendung dieser Formel zu erleichtern, haben wir die Diagramme III und VI aufgestellt, in denen für das Kreisprofil $D = 100$ cm und das Eiprofil 100/150 cm die kritische Tiefe h_k, ihre zugehörige Geschwindigkeit v und die entsprechende Energielinien-Höhe $H_{\min}$ in Funktion der Wassermenge Q aufgetragen sind. Um die kritische Tiefe für *andere* Kaliber zu bestimmen, verwendet man die auf Grund des Froude'schen Aehnlichkeits-Gesetzes (4) abgeleiteten, in den Diagrammen tabellarisch zusammengestellten Umrechnungsfaktoren.

Beispiel

Wie gross ist die kritische Tiefe h'_k in einem Kreisrohr $D' = 30$ cm bei einer Wassermenge von $Q' = 70$ l/s? (Siehe Tabelle 1.)

5. Gültigkeitsbereich der Strickler'schen Formel

Die Strickler'sche Formel ist wegen ihres einfachen Aufbaues praktisch und daher beliebt. Leider ist sie nicht allgemein gültig und beschränkt sich entsprechend ihrem Ansatz auf den Bereich des quadratischen Widerstandsgesetzes ($J \backsim v^2$, d. h. rauhe Leitung und voll ausgebildete Turbulenz). Vom praktischen Standpunkt aus wirkt sich das darin aus, dass der Rauhigkeitskoeffizient k in der Tat keine Konstante ist, sondern, streng genommen, eine variable Grösse, die von Fall zu Fall zu ermitteln ist. Nun ist es relativ einfach, den richtigen k-Wert auch ausserhalb des strengen Gültigkeitsbereiches der Strickler'schen Formel zu bestimmen und alsdann die Rechnung an Hand der Diagramme zu Ende zu führen. Zu diesem Zwecke müssen wir auf die allgemeine Abfluss-Formel zurückgreifen [1, 5], die wie folgt lautet:

$$J = \lambda \frac{1}{D} \frac{v^2}{2\,g} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

worin J, D, v und g die übliche Bedeutung haben, während mit λ die Widerstandziffer bezeichnet wird.

Gleichung (5) nach v aufgelöst und an Stelle des Durchmessers D der hydraulische Radius $R = \frac{D}{4}$ eingesetzt, ergibt Gl. (5a):

$$v = \sqrt{\frac{8\,g}{\lambda}}\, J^{1/2}\, R^{1/2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5a)$$

die der Form nach mit der Formel von Chézy $v = C\sqrt{J R}$ übereinstimmt.

Zwischen dem k-Wert der Strickler'schen Formel und dem λ-Wert der allgemeinen Formel besteht somit die einfache Beziehung:

$$\underline{k = \frac{1}{R^{1/6}} \sqrt{\frac{8\,g}{\lambda}}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

Nun ist der λ-Wert nicht etwa konstant, sondern abhängig von verschiedenen Faktoren. Die neuere Forschung unterscheidet drei Gruppen von Leitungen, je nach dem generellen Verlauf der λ-Funktion, nämlich:

Gruppe I - Glatte Rohre. Für absolut glatte Rohre ist λ eine Funktion der Reynolds'schen Zahl $Re = \frac{v\,D}{\nu}$, also proportional der Geschwindigkeit v, dem Rohrdurchmesser D und umgekehrt proportional der kinematischen Zähigkeit ν [2]) (siehe Kurve a in Abb. 1).

Gruppe II - Rohre mit rauhem Charakter. Für diese Gruppe von Rohren ist λ zudem noch abhängig von der relativen Rauhigkeit $\frac{2\,s}{D} = \frac{s}{2\,R}$. ($s$ = absolute Rauhigkeit, d. h. mittleres Mass der Unebenheiten der Rohrwandung in m). Die von Nikuradse [5] für diese Art von Rohren abgeleiteten Funktionen $\lambda\left(Re, \frac{2\,s}{D}\right)$ verlaufen generell wie Kurve b in Abb. 1. Für kleine Geschwindigkeiten nimmt λ zunächst ab bis zu einem Minimum, das durch den Punkt A dargestellt ist. In diesem Bereich verhält sich die Leitung mit rauhem Charakter beinahe wie ein absolut glattes Rohr. Mit zunehmender Reynolds'scher Zahl steigt der λ-Wert wieder an, um von B an konstant zu bleiben; es ist dies der Bereich des quadratischen Widerstandsgesetzes bei voll ausgebildeter Turbulenz. Dazwischen liegt das Uebergangsgebiet A-B.

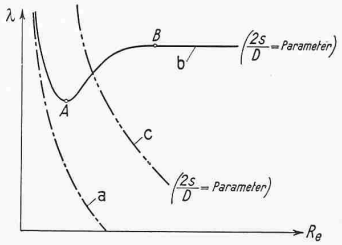


Abb. 1. Verlauf des Widerstandsgesetzes für
a absolut glatte Rohre
b Rohre mit rauhem Charakter
c Rohre mit glattem Charakter

Gruppe III - Rohre mit glattem Charakter. Zu dieser Kategorie gehören die Leitungen, deren Widerstandskoeffizient λ mit wachsender Reynolds'scher Zahl fällt, ohne einen konstanten Wert zu erreichen (Kurve c in Abb. 1). Solche Leitungen verhalten sich ähnlich wie glatte Leitungen, daher die Bezeichnung «mit glattem Charakter», aber ihre Wandrauhigkeit und Welligkeit kommt doch zum Ausdruck in der Verschiebung der Kurve c gegenüber Kurve a.

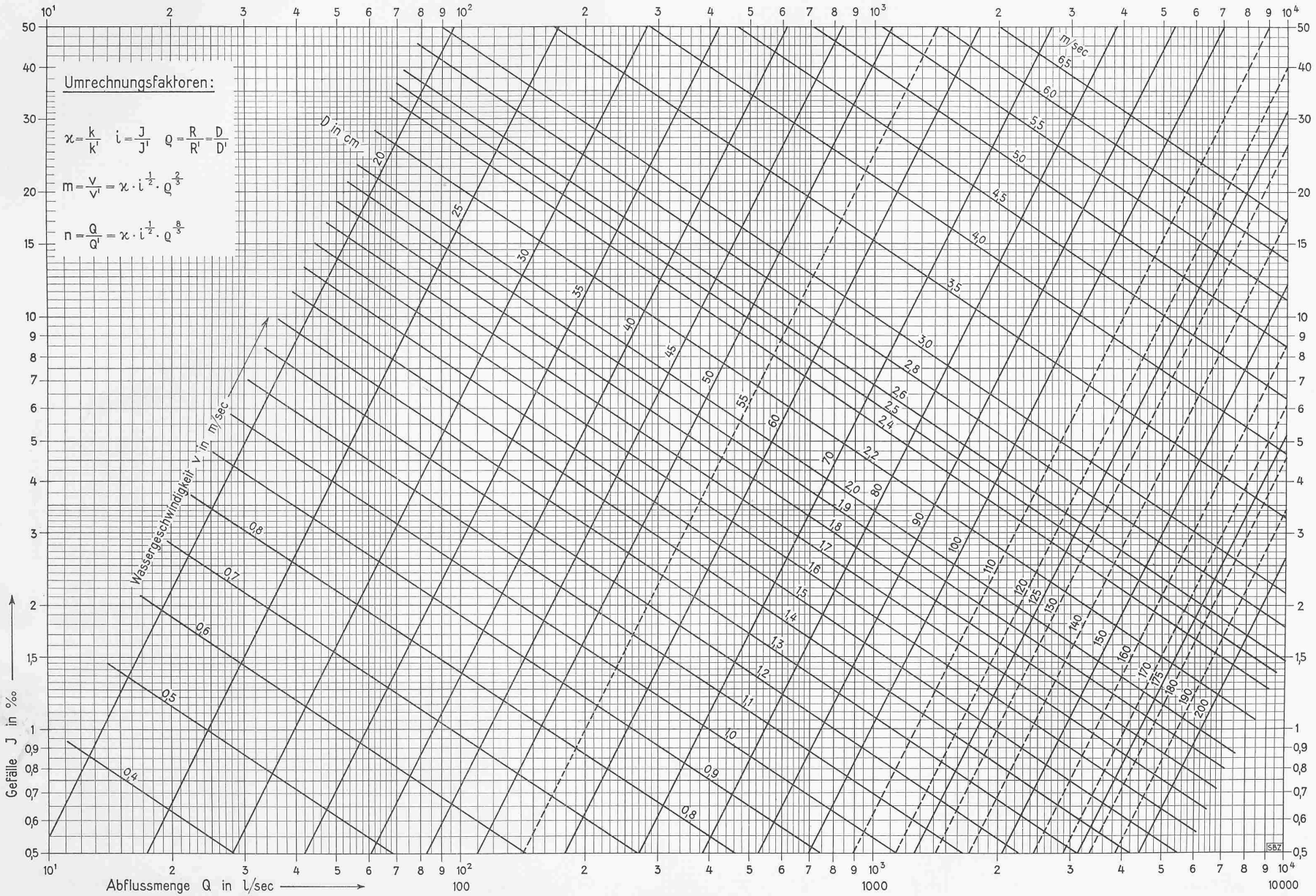
Wir befassen uns vorerst mit den Leitungen mit *rauhem Charakter*, welcher Gruppe wahrscheinlich die gewöhnlichen Zementrohre (im gebrauchten Zustand) angehören. Für genaue Berechnungen können die λ-Werte aus der bereits genannten Veröffentlichung [1] von Hoeck über die Druckverluste in Druck-Leitungen grosser Kraftwerke, Abb. 45, entnommen werden.

[2]) Für Reinwasser bei 10° C, $\nu = 1{,}3 \cdot 10^{-6}$ m²/s.

Tabelle 1

	Umrechnungs-faktoren	Leitung	
		$D = 100$ cm	$D' = 30$ cm
Wassermenge in l/s	$\lambda^{5/2} = \frac{Q}{Q'} = 20{,}30$	$Q = 1420$	$Q' = 70$
Kritische Tiefe in cm	$\lambda = \frac{h_k}{h'_k} = \frac{D}{D'} = 3{,}33$	$h_k = 68{,}5$	$h'_k = 20{,}6$
Kritische Geschwindigkeit in m/s	$\lambda^{1/2} = \frac{v_k}{v'_k} = 1{,}826$	$v_k = 2{,}44$	$v'_k = 1{,}34$
Energielinienhöhe in m	$\lambda = \frac{H_{\min}}{H'_{\min}} = 3{,}33$	$H_{\min} = 99$	$H'_{\min} = 29{,}8$

Diagramm I: Abfluss-Diagramm für Kreis-Profile bei voller Füllung nach der Strickler'schen Formel $v = k\, J^{1/2}\, R^{2/3}$ für $\mathbf{k = 100}$



Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz

Diagramm II: Füllungsdiagramm für Kreisprofile

zur Bestimmung von Q und v bei Teilfüllung

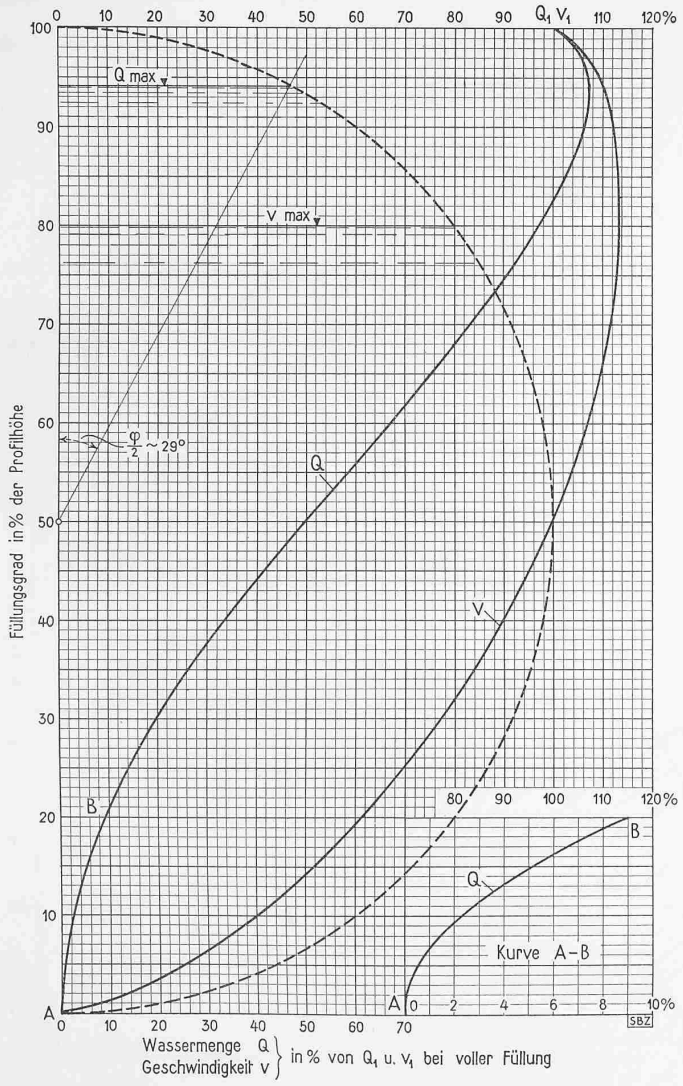
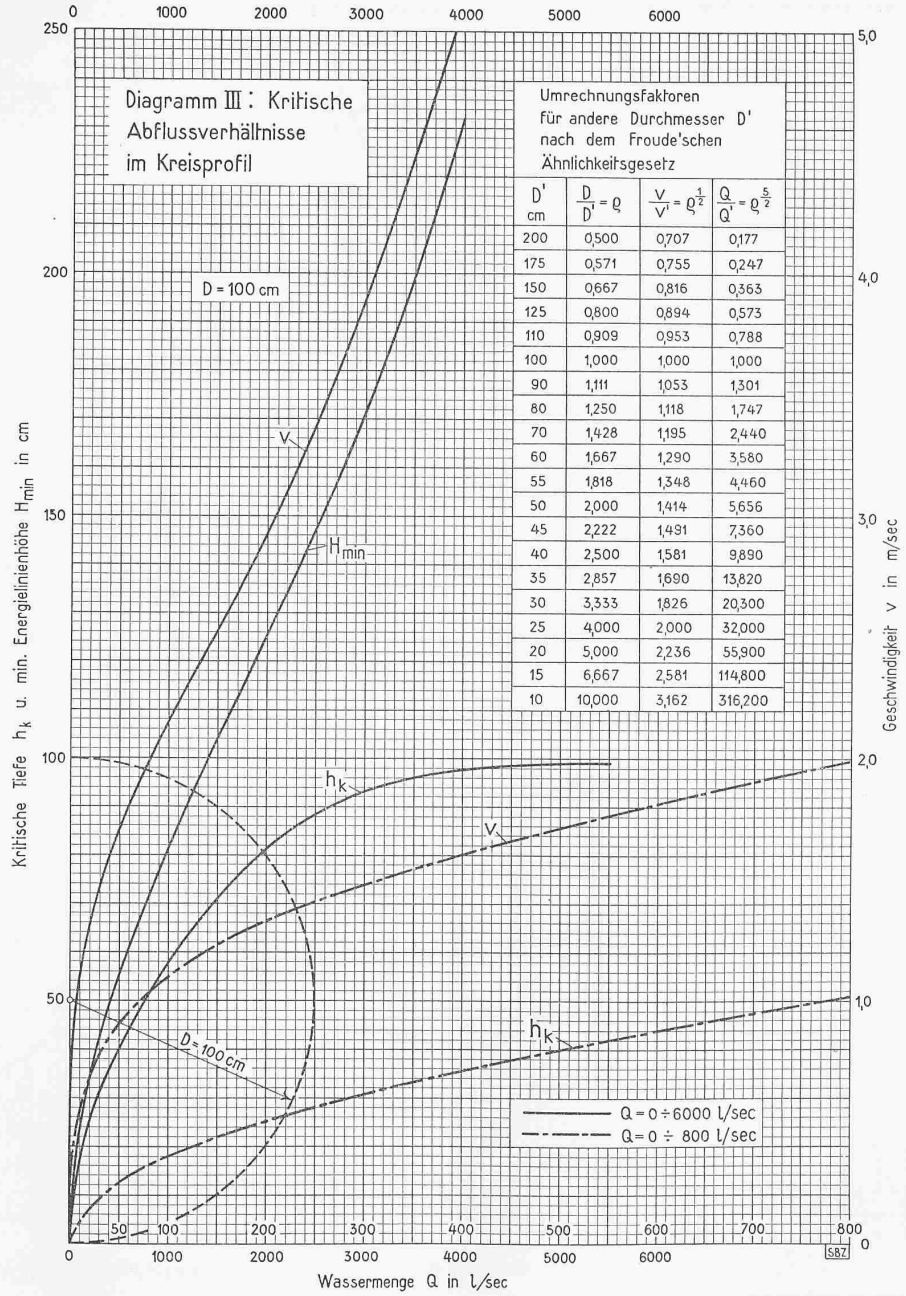


Diagramm III: Kritische Abflussverhältnisse im Kreisprofil

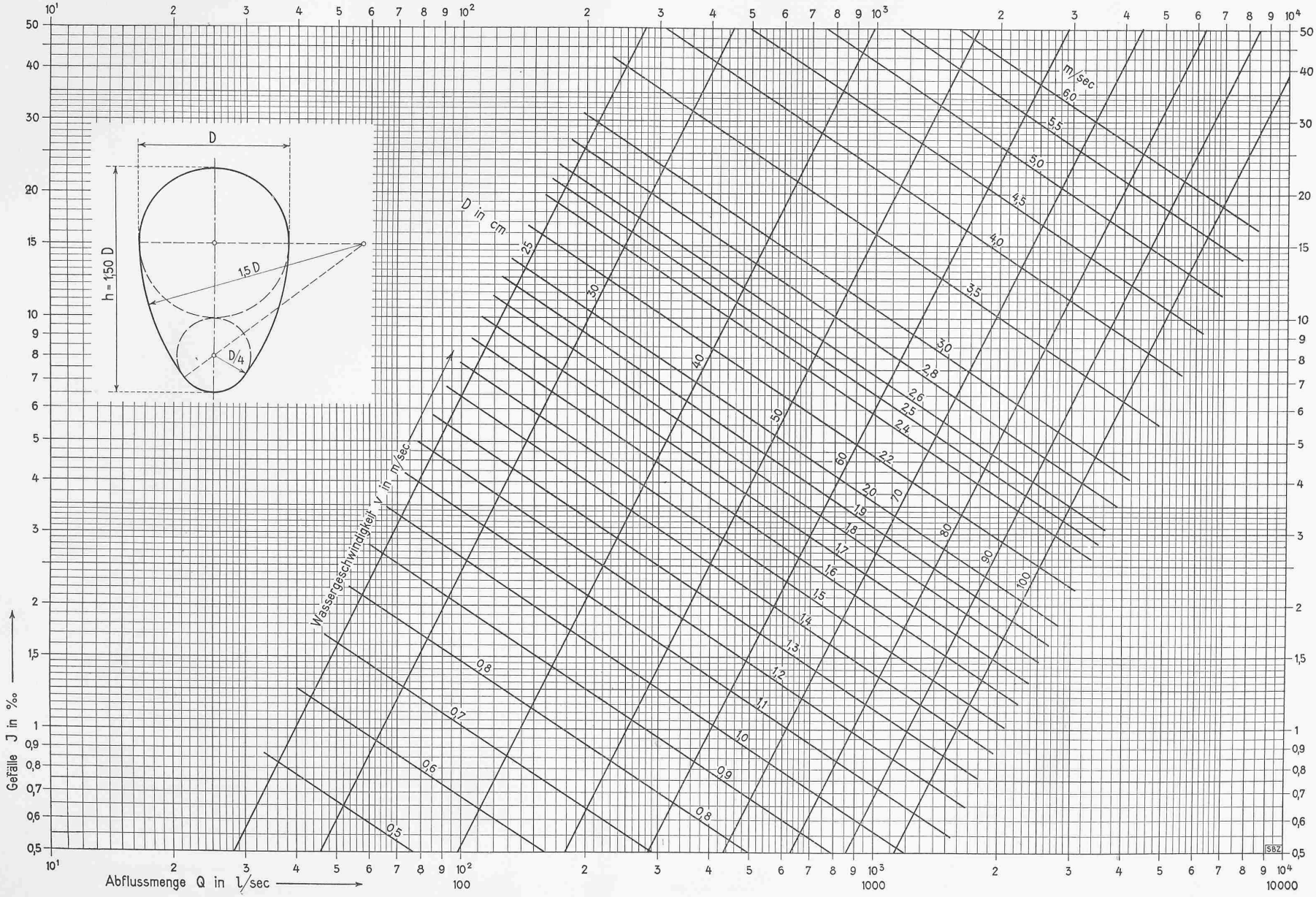


Umrechnungsfaktoren für andere Durchmesser D' nach dem Froude'schen Ähnlichkeitsgesetz

D' cm	$\frac{D}{D'} = \varrho$	$\frac{v}{v'} = \varrho^{\frac{1}{2}}$	$\frac{Q}{Q'} = \varrho^{\frac{5}{2}}$
200	0,500	0,707	0,177
175	0,571	0,755	0,247
150	0,667	0,816	0,363
125	0,800	0,894	0,573
110	0,909	0,953	0,788
100	1,000	1,000	1,000
90	1,111	1,053	1,301
80	1,250	1,118	1,747
70	1,428	1,195	2,440
60	1,667	1,290	3,580
55	1,818	1,348	4,460
50	2,000	1,414	5,656
45	2,222	1,491	7,360
40	2,500	1,581	9,890
35	2,857	1,690	13,820
30	3,333	1,826	20,300
25	4,000	2,000	32,000
20	5,000	2,236	55,900
15	6,667	2,581	114,800
10	10,000	3,162	316,200

Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz

Diagramm IV: Abfluss-Diagramm für Ei-Profile bei voller Füllung nach der Strickler'schen Formel $v = k\, J^{1/2} R^{2/3}$ für $k = 100$



Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz

Diagramm V: Füllungsdiagramm für Eiprofile h = 1,5 D

zur Bestimmung von Q und v bei Teilfüllung

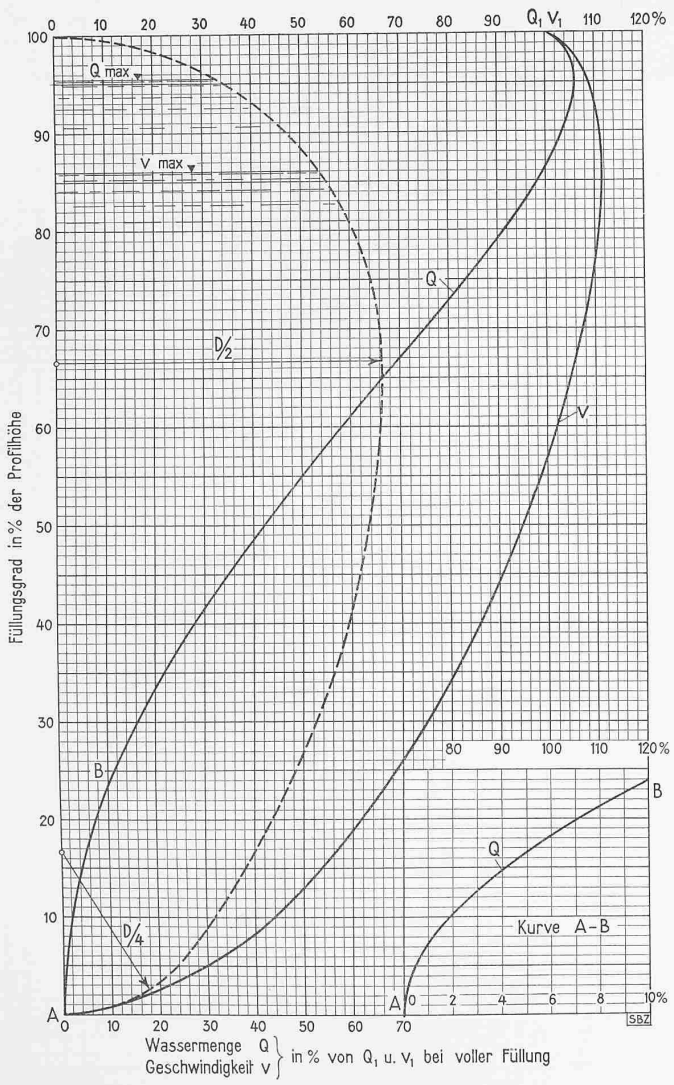
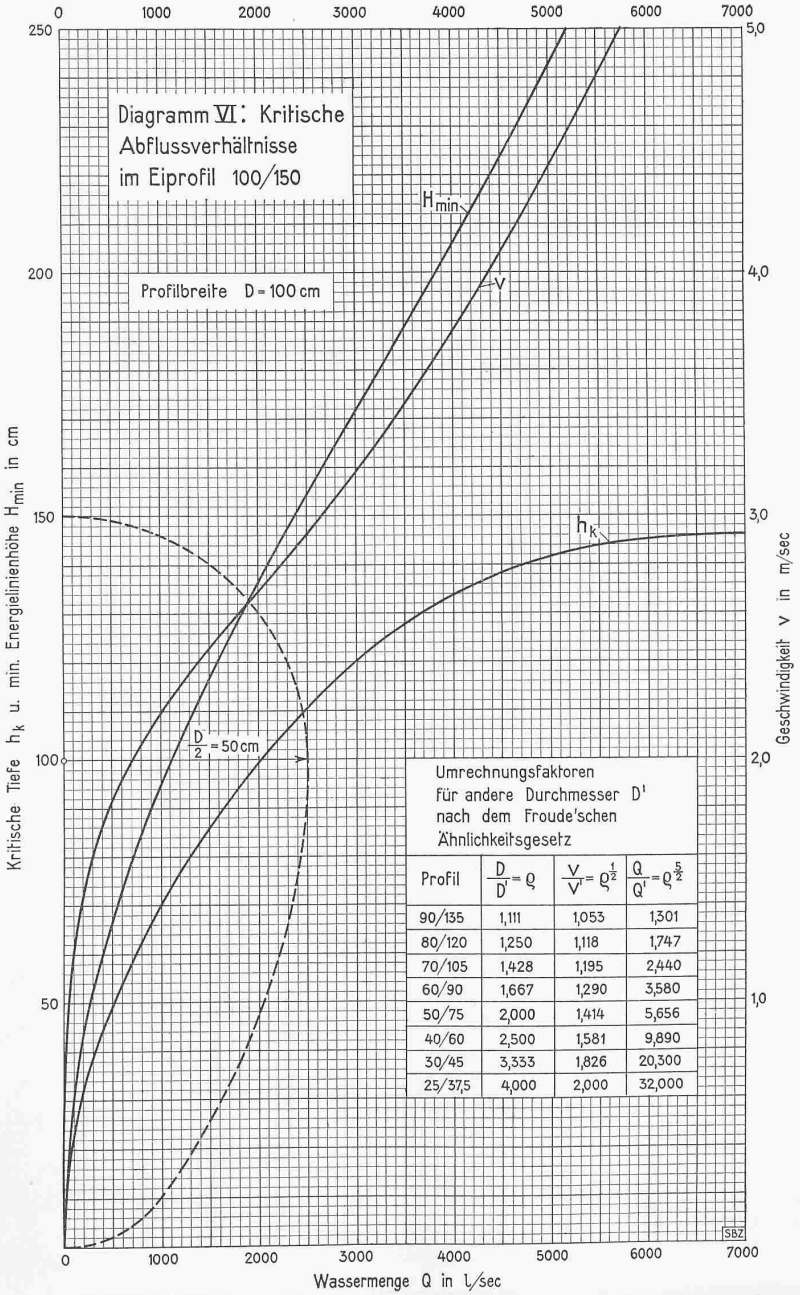


Diagramm VI: Kritische Abflussverhältnisse im Eiprofil 100/150



Umrechnungsfaktoren für andere Durchmesser D' nach dem Froude'schen Ähnlichkeitsgesetz

Profil	$\frac{D}{D'} = \varrho$	$\frac{V}{V'} = \varrho^{\frac{1}{2}}$	$\frac{Q}{Q'} = \varrho^{\frac{5}{2}}$
90/135	1,111	1,053	1,301
80/120	1,250	1,118	1,747
70/105	1,428	1,195	2,440
60/90	1,667	1,290	3,580
50/75	2,000	1,414	5,656
40/60	2,500	1,581	9,890
30/45	3,333	1,826	20,300
25/37,5	4,000	2,000	32,000

Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz

Diagramm VII

Schwankungsbereich der k-Werte für Zementrohre mit rauhem Charakter in Funktion des Durchmessers bei einer angenommenen absoluten Rauhigkeit s = 0,25 mm und einer kinematischen Zähigkeit $\nu = 1{,}3 \times 10^{-6}$ m²/sec (Reinwasser bei 10 °C)

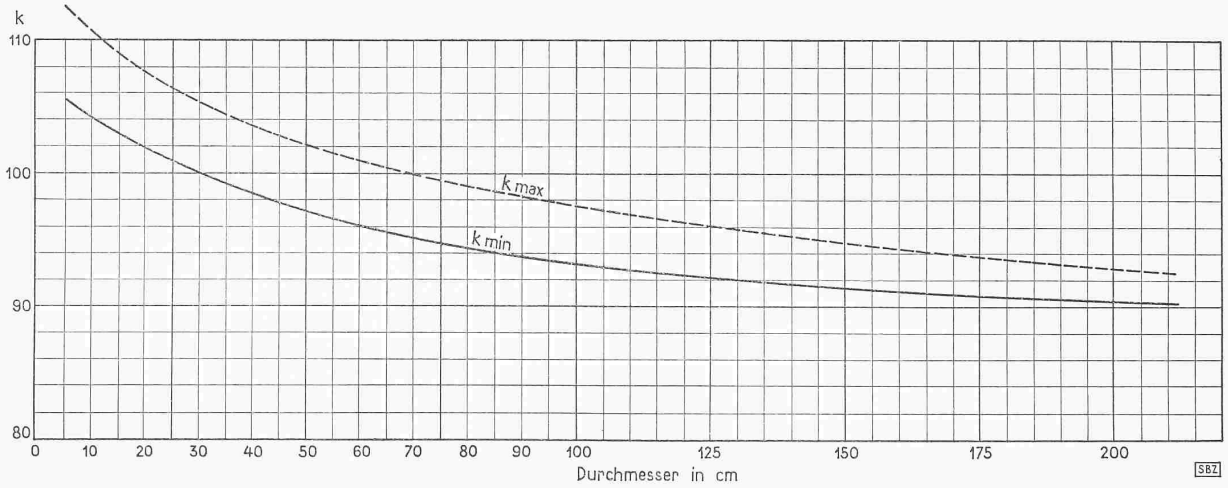
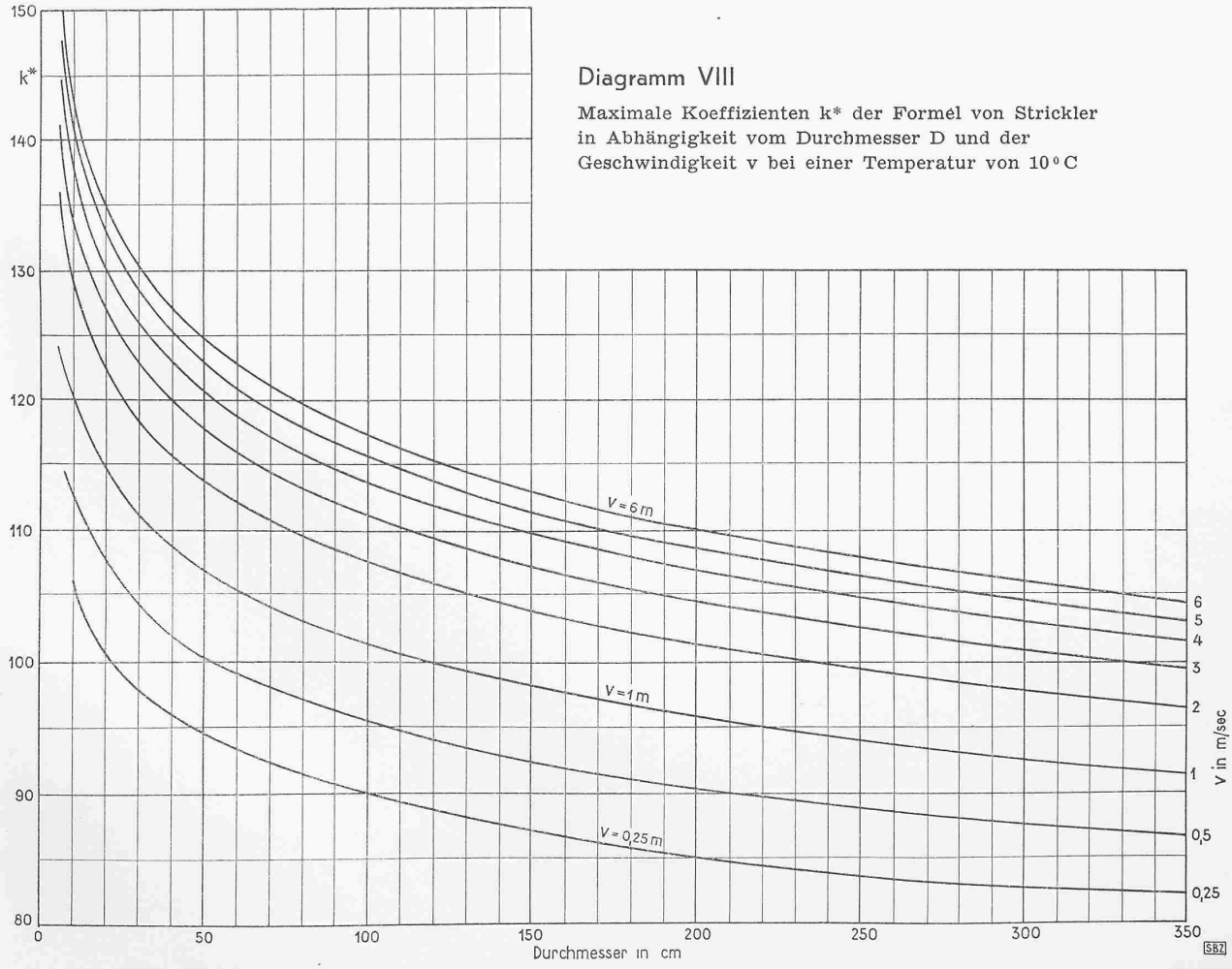


Diagramm VIII

Maximale Koeffizienten k* der Formel von Strickler in Abhängigkeit vom Durchmesser D und der Geschwindigkeit v bei einer Temperatur von 10 °C



Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz

Seite / page

leer / vide / blank

Bei näherer Betrachtung schwanken die unter Zugrundelegung der Gleichung (6) aus den λ-Werten rückwärts errechneten k-Werte weniger als man anfänglich glauben könnte. Ferner verändert sich der Zustand einer Rohrleitung mit dem Alter, im allgemeinen im Sinne einer Verschlechterung, d. h. einer Zunahme der Rauhigkeit der Rohrwandung, die oft mit einer Verengung des Durchgangsquerschnittes verbunden ist (Ablagerungen, Inkrustationen, Korrosionen, Setzungen, usw.). Zudem ist die kinematische Zähigkeit für Abwasser anders als für Reinwasser. Alle diese Faktoren bedingen, dass wir bei der Dimensionierung eines neuen Kanalnetzes eine gewisse Sicherheitsmarge annehmen und als Berechnungsgrundlage k-Werte wählen müssen, die tiefer liegen als diejenigen für neue Rohre.

Aus dieser Ueberlegung heraus geben wir im Diagramm VII zunächst für gewöhnliche Zementrohre mit einer auf Grund der Erfahrung zu $s = 0{,}25$ mm geschätzten absoluten Rauhigkeit die minimalen und maximalen k-Werte in Funktion des Durchmessers an. Die untere Linie im Diagramm VII liefert die Rauhigkeitsbeiwerte k bei vollausgebildeter Turbulenz, entsprechend dem Punkt B in Abb. 1, während die obere Kurve die max. möglichen k-Werte ergibt, die den Minima der Kurven von Nikuradse (Punkt A) entsprechen.

Für die normalen Fälle der Praxis ($v = 1{,}0$ bis $3{,}0$ m/s) liegt der k-Wert eher im Bereiche der oberen Kurve. Nehmen wir also als Berechnungsgrundlage für *neue* Rohre die unteren Werte, die dem quadratischen Widerstandsgesetz entsprechen, an, so ist damit in der Rechnung implizite eine gewisse Sicherheit enthalten. Bei Kanalisationen hingegen empfiehlt es sich, die Sicherheitsmarge noch grösser zu wählen und mit k-Werten der Tabelle 2 zu rechnen.

Tabelle 2. k-Werte für gewöhnliche Zementrohre

$D \leqq 20$ cm	$k = 92$	$D \leqq 70$ cm	$k = 86$
$D \leqq 30$ cm	$k = 90$	$D \leqq 100$ cm	$k = 84$
$D \leqq 50$ cm	$k = 88$	$D \leqq 200$ cm	$k = 82$

Nun wenden wir uns den *glatten* Leitungen zu. Messungen in der Versuchsanstalt für Wasserbau an der E. T. H. haben bestätigt, dass Schleuderbeton- und Eternitrohre in die Kategorie der glatten Rohre (Gruppe I) einzureihen sind, für die Nikuradse für die Widerstandsziffer folgende, in einem sehr weiten Bereich gültige Beziehung abgeleitet hat:

$$\lambda = 0{,}0032 + 0{,}221\, R_e^{-0{,}237}$$

Demnach lässt sich der k-Wert für glatte Rohre in Analogie zur Gleichung (6) anschreiben:

$$k^* = \frac{1}{R^{1/6}} \sqrt{\frac{8g}{0{,}0032 + 0{,}221\, R_e^{-0{,}237}}} \quad . \; . \; . \quad (6a)$$

Die so errechneten Werte k^* sind maximale Koeffizienten k, die für praktische Berechnungen um 2 bis 5 % zu vermindern sind.

Wir geben zuletzt noch das Diagramm VIII der k^*-Werte in Abhängigkeit des Rohrdurchmessers und der Geschwindigkeit v als Parameter, das wir mit Einverständnis des Verfassers der Publikation [1] entnommen haben.

Aus diesem Diagramm VIII lassen sich für jedes Kaliber und verschiedene Geschwindigkeiten die maximal möglichen Rauhigkeitswerte k^* für glatte Rohre ablesen. Falls solche Rohre für Kanalisationen angewandt werden, empfiehlt es sich indessen, bei ihrer Bemessung einen um 10 bis 15 % geringeren k-Wert zu wählen, um der bei längerem Betrieb stattfindenden Veränderung der Rohrwandung Rechnung zu tragen.

Beispiel:

Schleuderbetonleitung	$D = 125$ cm
Geschwindigkeitsbereich	$v = 1{,}0$ bis $1{,}5$ m
Maximaler k-Wert aus Diagramm VIII	$k^* = 99$ bis 103
Zu wählender k-Wert	$k = 90$

In Tabelle 3 sind die Ergebnisse für Rohre mit rauhem Charakter denjenigen für glatte Rohre bei Geschwindigkeiten von 1 bis 2 m/s gegenüber gestellt; man erkennt daraus, dass der Unterschied in der Tat nicht sehr bedeutend ausfällt.

Tabelle 3. k-Werte für Rohre mit verschiedenem Rauhigkeitscharakter

Durchmesser D in m	Theoretische k-Werte für		Für die Berechnung massgebende k-Werte für:	
	glatte Rohre	Rohre mit rauhem Charakter	glatte Rohre	Rohre mit rauhem Charakter
0,30	109 bis 116	105	100	90
0,60	102 bis 109	101	95	87
1,00	97 bis 103	98	90	84
1,50	93 bis 99	95	86	83
2,00	91 bis 96	93	84	82

Gewöhnliche Zementrohre, besonders diejenigen grösseren Kalibers, verhalten sich im neuen Zustand eher wie Rohre mit glattem Charakter. Im Betrieb aber werden sie wegen ihrer weniger dichten Oberfläche voraussichtlich schneller als Schleuderbetonrohre an Glätte verlieren. Die Quintessenz dieser Betrachtung geht also dahin, dass für praktische Aufgaben der Kanalisationstechnik bei der Verwendung von Schleuderbeton-Rohren kleineren Kalibers bis $D = 1{,}0$ m k-Werte gewählt werden können, die um 5 bis 10 % höher sind als diejenigen für gewöhnliche Zementrohre; für grössere Durchmesser hingegen wird der Unterschied unbedeutend.

6. Schlussbemerkungen

Genaue Messungen an Rohren, wie sie im Kanalisationswesen gewöhnlich angewandt werden, und besonders an Leitungen, die schon längere Zeit im Betrieb sind, liegen nur wenige vor. Den Grund hiefür hat man darin zu erblicken, dass Messungen in Kanalisationsnetzen schwer durchzuführen sind. Immerhin hoffen wir, im Laufe der nächsten Jahre auch diesem Gebiet erhöhte Aufmerksamkeit schenken zu können, um dem Praktiker später weitere zuverlässige Angaben über die Rauhigkeit verschiedenster Rohrarten machen zu können. Wir müssen zum Schluss mit Nachdruck darauf hinweisen, dass in dieser Betrachtung die durch allfällige Inkrustationen oder Verschlammung hervorgerufenen Rohrverengungen nicht berücksichtigt sind. Es sei aber doch daran erinnert, dass die Schluckfähigkeit bei gegebenem Gefälle auf Grund der Strickler'schen Formel dem Ausdruck $R^{8/3}$, bzw. der $^4/_3$-Potenz des benetzten Quer-Schnittes F, proportional ist.

Literatur-Verzeichnis

Ein Stern bei der Seitenzahl bedeutet, dass der betreffende Aufsatz Abbildungen enthält.

[1] Hoeck, E.: Druckverluste in Druckleitungen grosser Kraftwerke. Mitteilung No. 3 der Versuchsanstalt für Wasserbau an der E.T.H.

[2] Kropf, A.: Auswertung von 30jährigen Aufzeichnungen der Regenmesstation der Meteorologischen Zentralanstalt in Zürich. Schweiz. Bauzeitung, Bd. 123, S. 225* (1944).

[3] Meyer-Peter, E.: Neue Berechnungsmethoden aus dem Gebiete der Hydraulik. Schweiz. Bauzeitung, Bd. 84, S. 1* u. 15* (1924).

[4] Meyer-Peter, E. und Favre, H.: Der wasserbauliche Modellversuch im Dienste der Wasserkraftnutzung und der Flusskorrektion. Festschrift: Die E. T. H. dem S. I. A. zur Jahrhundertfeier. Zürich 1937.

[5] Nikuradse, J.: Widerstandsgesetz und Geschwindigkeitsverteilung von turbulenten Wasserströmungen in glatten und rauhen Rohren. Verh. des intern. Kongresses f. techn. Mechanik. Stockholm 1930.

[6] Strickler, A.: Beiträge zur Frage der Geschwindigkeitsformel und der Rauhigkeitszahlen für Ströme, Kanäle und geschlossene Leitungen. Mitt. des Amtes für Wasserwirtschaft 1923 und Schweiz. Bauzeitung, Bd. 83, S. 265* (1924).

Versuche an einer Kraftwerk-Fischtreppe

Der Fischpass beim Kraftwerk Dietikon an der Limmat ist im Jahr 1941 auf seine Leistungsfähigkeit geprüft worden. Dabei erstreckten sich die Fischwanderungskontrollen nicht nur auf das tägliche Auszählen der Fische während mehr als vier Sommermonaten; die systematischen Untersuchungen umfassten auch die Bestimmung von Art, Grösse, Alter, Geschlecht, Reife, Krankheitserscheinungen, Ernährungszustand, Parasiten und teilweise auch von Mageninhalten der «Passanten». Es sind während der Versuchsperiode mehr als 24 000 Fische gezählt und 11 Arten, von denen über 90 % Bestände von Rotaugen, Barben und Egli waren, festgestellt worden. Selbstverständlich unterlagen auch die Wassertemperaturen, die Pegelstände und die Wassertrübungen der Limmat der Kontrolle. Ein Teil der Ergebnisse dieser Auswertungen ist im Heft 1/2 der «Wasser- und Energiewirtschaft» 1945 veröffentlicht. Sie stützen die Auffassung, dass der Fischpass beim Kraftwerk Dietikon die normale Wanderung der Fischschwärme vom Unter- in das Oberwasser der Limmat sicherstellt.

Aus den bei dieser Gelegenheit gemachten Beobachtungen sind frühere Erfahrungen zum Teil bestätigt und neue Erkenntnisse gewonnen worden. Gewiss ist, dass die Wirkung eines Fischpasses im Wesentlichen von der Zweckmässigkeit des Einstieges im Unterwasser und von der von den Fischen aufzubringenden Schwimmleistung beim Durchschwimmen der Fischtreppe abhängt. An deren unterer Mündung muss die Lockwasserströmung ungebrochen zur Geltung kommen, sodass der Fisch seinem natürlichen Triebe folgend in den Pass hineingeführt wird. Die