

# Hydraulische Bemessung von Abwasserleitungen und -kanälen

**Planung und Betrieb** ■ Bei der Planung von Abwasserleitungen und -kanälen ist die hydraulische Bemessung und damit der Nachweis des ablagerungsfreien Betriebs ein wesentlicher Bestandteil. Für Freispiegelleitungen erfolgt sie im Allgemeinen nach dem Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 110. Der Nachweis kann dabei entweder nach dem Pauschal-konzept oder nach dem Individualkonzept durchgeführt werden.

Die Expertise zur „Hydraulischen Bemessung von Abwasserleitungen und -kanälen“ entstand im April 2004. Sie ist eine von zwölf wissenschaftlich fundierten Ausarbeitungen, erstellt vom Ingenieurbüro Prof. Dr. Ing. Stein & Partner, Bochum, für die Fachvereinigung Betonrohre und Stahlbetonrohre (FBS e.V.). Der „Leitfaden zur Auswahl von Rohrwerkstoffen“, Herausgeber FBS e.V., Bonn, stellt das Gesamtprojekt dar (Abb. 1). Der Vergleich verschiedener Rohrwerkstoffe hat gezeigt: Beton- und Stahlbetonrohre in FBS-Qualität weisen die in DIN EN 1916 bzw. DIN V 1201 für Beton- und Stahlbetonrohre angegebene „geringe Wandrauheit“ auf und erlauben die Anwendung des Pauschal- sowie des Individualkonzeptes nach ATV-DVWK-A 110 für die Dimensionierung und den Leistungsnachweis von Abwasserleitungen und -kanälen. Die Formenvielfalt der FBS-Beton- und Stahlbetonrohre erlaubt darüber hinaus eine quasi freie Wahl des Abflussquerschnittes bezüglich der Rohrnennweite und ab DN 300 auch die Wahl unterschiedlicher Querschnittsformen. So kann z. B. der Einsatz von Eiquerschnitten oder Trockenwetterrinnen in Kanälen großer Nennweite den geforderten ablagerungsfreien Betrieb, insbesondere bei schwankenden Abflüssen, positiv beeinflussen (Abb. 2).

## Grundlagen

Seit 1988 steht für die hydraulische Dimensionierung und den Leistungsnachweis von Abwasserleitungen und -kanälen das Arbeitsblatt ATV-DVWK-

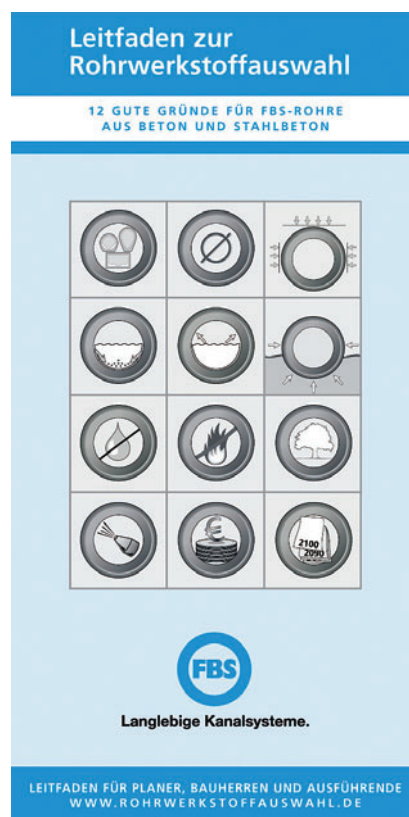


Abb. 1 Im „Leitfaden zur Auswahl von Rohrwerkstoffen“ der FBS e. V. werden Rohrwerkstoffe vergleichend bezüglich verschiedener Einsatzkriterien und Eigenschaften betrachtet.

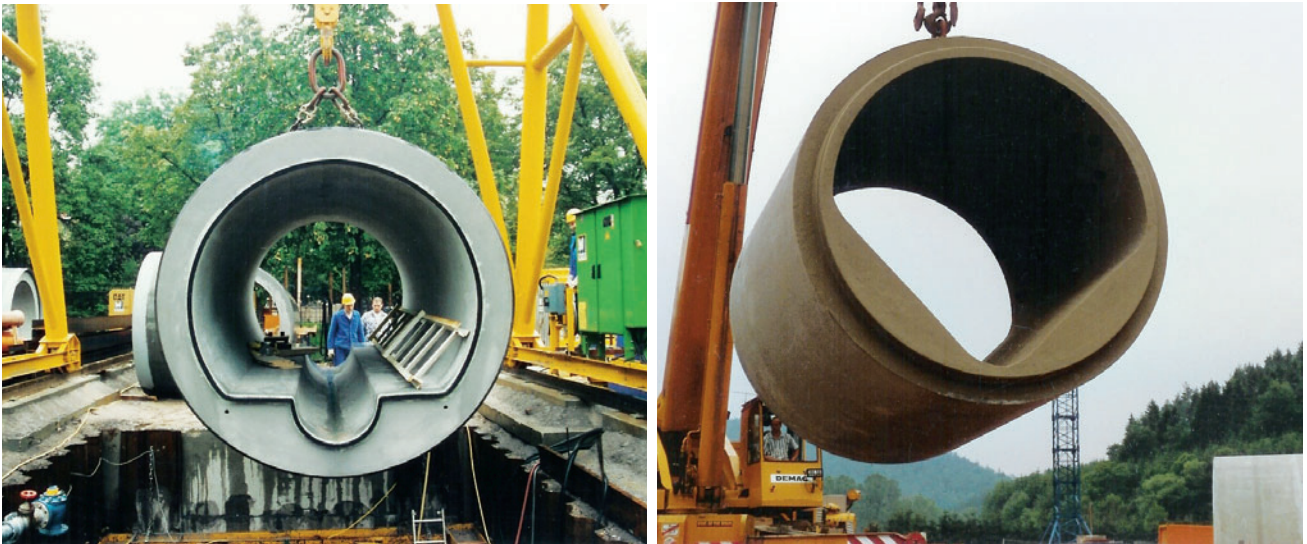
A 110 zur Verfügung, das in seiner überarbeiteten Fassung 2001 neu erschienen ist. 1998 wurde es durch das Arbeitsblatt ATV-A 112 für den Geltungsbereich der Sonderbauwerke ergänzt. Die Berechnungen zur Dimensionierung und zum Leistungsnachweis gemäß ATV-DVWK-A 110 sind nicht Gegenstand dieses Beitrages, sondern ausschließlich die aus den Werkstoffeigenschaften der Rohre resultierenden

Strömungsverluste. Die Ausführungen beziehen sich ausschließlich auf Freigefälle- oder Freispiegelleitungen, d. h. die Ergebnisse sind nicht auf Druckleitungen übertragbar.

Das in einer Abwasserleitung oder einem Abwasserkanal abgeleitete Schmutzwasser und/oder Regenwasser ist eine Mischung von Wasser mit den verschiedenartigsten, auch absetzbaren Feststoffen. Um die Sedimentation zu verhindern, müssen in den als Freispiegelleitungen betriebenen Kanälen, mit in der Regel turbulenter Strömung, bestimmte Grenzwerte (Fließgeschwindigkeit  $v_{crit}$ ) Wand Schubspannung  $t_{crit}$ ) eingehalten werden. Diese werden maßgeblich durch den hydraulischen Querschnitt und das Gefälle bestimmt. Unter Gefälle versteht man nach DIN EN 752-1 das „Verhältnis zwischen den vertikalen und horizontalen Projektionen eines Leitungsabschnittes“. Das Gefälle eines Abwasserkanals wird in seinem gesamten Verlauf bis zu einem Hauptsammler, einer Kläranlage oder einem Pumpwerk in der Regel so gewählt, dass die oberen Haltungen mit den kleineren Nennweiten und der geringeren Wasserführung mit stärkerem Gefälle verlegt werden, als die mittleren und die unteren Haltungen. In diesen Bereichen kann mit einem größeren und stetigeren Abfluss und damit auch mit einer größeren Schleppspannung des Abwassers gerechnet werden.

## Dimensionierung

Für die hydraulische Dimensionierung neu zu errichtender Kanalisa-



**Abb. 2** Der Einsatz von Trockenwetterrinnen (links) oder Drachenprofilen (rechts) in Kanälen großer Nennweite kann den geforderten abgelagerungsfreien Betrieb, insbesondere bei schwankenden Abflüssen, positiv beeinflussen.

tionen empfiehlt das ATV-DVWK-Arbeitsblatt A 110 die Anwendung des so genannten Pauschalkonzepts. Es basiert auf der vereinfachten Vorgehensweise, bei der sowohl diskontinuierlich anfallende Strömungswiderstände oder -verluste als auch rohrwerkstoffspezifische Widerstände zu einem pauschalen Rauheitsmaß, der so genannten betrieblichen Rauheit  $k_b$ , zusammengefasst werden. Diskontinuierlich anfallende Strömungswiderstände oder -verluste können dabei z. B. innerhalb einer Haltung auftretende lokale Strömungswiderstände oder Energiehöhenverluste sein. Ein möglicher

rohrwerkstoffspezifischer Widerstand ist die natürliche Wandrauheit  $k$ . Einen Überblick über Pauschalwerte für die betriebliche Rauheit in Abhängigkeit von Kanalart und Schachtausbildung gibt **Tabelle 1**.

Mit dem Pauschalkonzept ist die Verwendung der  $k_b$ -Werte nach **Tabelle 1** für genormte Rohre ohne weiteren Nachweis im Einzelfall zulässig und als Regelfall anzusehen. Im Rahmen des Pauschalansatzes bei der Dimensionierung ist die hydraulisch wirksame natürliche Wandrauheit  $k$  für Rohre, die durch den DIN-Normenausschuss Wasserwesen genormt sind, einheit-

lich mit  $k = 0,1$  mm und die Fließgeschwindigkeit mit  $v = 0,8$  m/s angesetzt, um damit auch den Bereich der Teilfüllung mit abzudecken. Für nicht genormte Rohre ohne besonderen Nachweis der effektiven Wandrauheit  $k$  sowie für Mauerwerks- und Ortbetonkanäle ist  $k_b = 1,5$  mm anzusetzen. Der Pauschalansatz für die  $k_b$ -Werte berücksichtigt in der Regel die Einflüsse von

- der Wandrauheit  $k$  des Rohrwerkstoffes,
- Lageungenauigkeit und -änderungen,
- der Ausbildung der Rohrverbindungen, ▶

- den Zulauf-Formstücken und
- den Schachtbauwerken (bis einschließlich Scheitelfüllung  $h/d < 1,0$ ).

Folgende Einflüsse sind nicht enthalten:

- Nennweiten-Unterschreitungen,
- Auswirkungen von Einstau und Überstau,
- Vereinigungsbauwerke und
- Ein- und Auslaufbauwerke von Drosselstrecken, Druckrohrleitungen und Dükern.

Hinsichtlich der Voraussetzungen und Einschränkungen bei der Anwendung des Pauschalkonzeptes wird auf ATV-DVWK-A 110, Abschnitt 4.3 verwiesen.

### Leistungsnachweis

Für den Leistungsnachweis bestehender Entwässerungssysteme ist das Individualkonzept nach ATV-DVWK-A 110 mit detaillierter Berücksichtigung aller Verlusteinflüsse im Einzelfall anzuwenden. Dabei werden alle auftretenden Einzelverluste, einschließlich derjenigen infolge der natürlichen Wandrauheit  $k$  der Kanäle, haltungsweise nachgewiesen. Dabei ist  $k$  grundsätzlich auch in Hinblick auf die sich verändernde Beschaffenheit der Rohrwandungen im Langzeitbetrieb anzusetzen. Zur Bestimmung der Verlusthöhe auf Grund der Reibung dient die Prandtl-Colebrook-Gleichung. Die jeweiligen Einzelverluste werden rechnerisch ermittelt und zu einem  $k_b$ -Wert für die be-

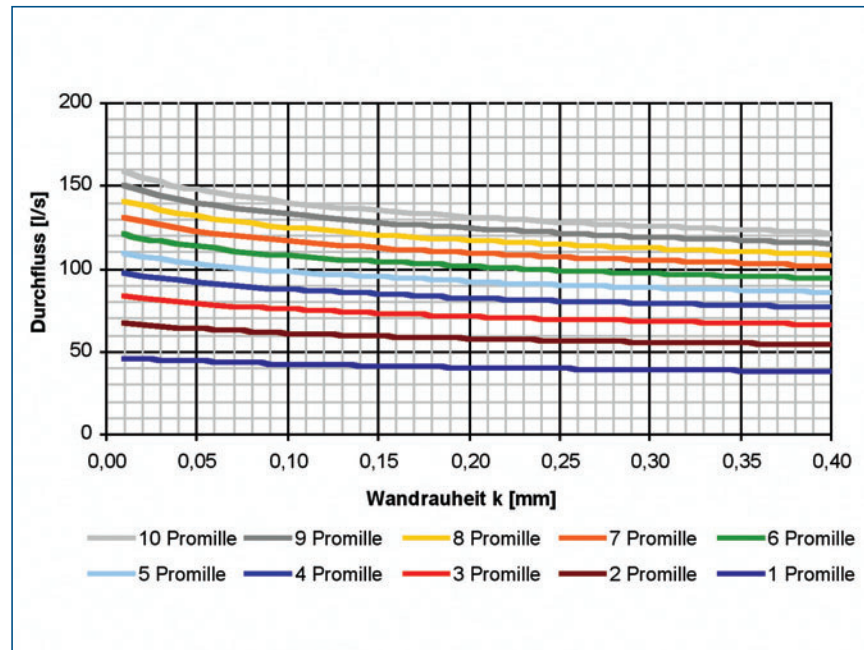


Abb. 3 Durchflussraten eines Rohres DN/ID 400 in Abhängigkeit der Wandrauheit  $k$  für verschiedene Sohlgefälle bei Halbfüllung

triebliche Rauheit zusammengefasst. Neben der Wandrauheit  $k$  sind insbesondere die Einzelverluste aus folgenden Einflüssen zu berücksichtigen:

- Lageungenauigkeiten und -änderungen,
- Rohrverbindungen,
- Zulauf-Formstücke,
- Schachtbauwerke in Regelausführung (gerader Durchgang),
- Schachtbauwerke in Sonderausführung (gerader Durchgang),
- Kurvenbauwerke und
- Vereinigungsbauwerke.

Hinsichtlich der Voraussetzungen und Einschränkungen bei der Anwendung des Individualkonzeptes wird auf ATV-DVWK-A 110, Abschnitt 4.4 verwiesen.

### Analyse der verschiedenen Rohrwerkstoffe bezüglich der Wandrauheit

Jede Berechnung, die sich der Gleichung nach Prandtl-Colebrook bedient, bedarf der Kenntnis der äquivalenten Sandrauheit oder der natürlichen Rauheit der Innenwandung des jeweiligen Gerinnes oder Rohres. Dieses Rauheitsmaß ist vorab festzulegen, in der

Kanalart	Schachtausbildung		
	Regelschächte	angeformte Schächte	Sonderschächte
Transportkanäle	0,50	0,50	0,75
Sammelkanäle $\leq$ DN/ID 1000	0,75	0,75	1,50
Sammelkanäle $>$ DN/ID 1000	–	0,75	1,50
Mauerwerkskanäle, Ortbetonkanäle, Kanäle aus nicht genormten Rohren ohne besonderen Nachweis der Wandrauheit	1,50	1,50	1,50
Drosselstrecken (1), Druckrohrleitungen (1, 2, 3), Düker (1) und Reliningstrecken ohne Schächte	0,25		
(1) ohne Einlauf-, Auslauf- und Umlenkungsverluste (2) ohne Drucknetze (3) Auswirkungen auf Pumpwerke			

Tabelle 1 Pauschalwerte für die betriebliche Rauheit  $k_b$  [mm] nach ATV-DVWK-A 110

Regel auf der Grundlage experimenteller Daten, gegebenenfalls aber auch durch eine zutreffende Schätzung bzw. Festlegung auf Grund betrieblicher Erfahrungen. Die hydraulisch wirksame Rauheit  $k$  – auch absolute Rauheit oder äquivalente Sandrauheit  $k_s$ , genannt – ist ein Maß für die Unebenheit der Rohrinnenwand. Unter Rauheit versteht man nach DIN EN 752-4 den „Reibungswiderstand der Oberfläche eines Rohres (...) bei turbulenter Strömung“. Sie kann nur durch Versuche bestimmt werden und ist nicht nur vom Werkstoff, sondern u. a. auch vom Zustand des Rohres (z. B. neu oder gebraucht, Vorhandensein einer Sichelhaut, Beschichtung oder Auskleidung, Inkrustationen etc.) abhängig.

In **Tabelle 2** ist die hydraulisch wirksame Rauheit  $k$  der hier betrachteten Rohrwerkstoffe (ohne Einfluss etwaiger Rohrverbindungen) exemplarisch aufgeführt. Sie basiert auf Firmeninformationen sowie Literaturangaben. Es ist zu beachten, dass das Rauheitsmaß in der Praxis hersteller- und verarbeitungsabhängig gewissen Schwankungsbreiten unterliegt, d. h. die angegebenen Zahlen sind nur als Richtwerte anzusehen, die teilweise unter optimalen Laborbedingungen (ideales System) ermittelt wurden.

Die  $k$ -Werte selbst und die Auswirkungen der Wandrauheit werden in der Fachwelt noch heute teilweise kontrovers diskutiert. Um den tatsächlichen Einfluss der genannten unterschiedlichen rohrwerkstoffspezifischen Wandrauheiten (**Tab. 2**) auf die hydraulischen Verhältnisse eines Kanals zu untersuchen, werden nachfolgend exemplarisch die Durchflussraten eines Rohres DN/ID 400 in Abhängigkeit der Wandrauheit  $k$  ( $0,01 \text{ mm} \leq k \leq 0,4 \text{ mm}$ ) für verschiedene Sohlgefälle (1 bis 10 Promille) vorgestellt (andere auftretende, werkstoffunabhängige Einzelverluste, resultierend z. B. aus Lageungenauigkeiten, Rohrverbindungen, Schachtbauwerken, Zuläufen, Krümmungen etc. bleiben unberücksichtigt). Dabei wurde von folgenden Randbedingungen ausgegangen:

- Kreisquerschnitt DN/ID 400,
- kinematische Zähigkeit des Wasser:

- $1,002 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  (bei  $20,2 \text{ }^\circ\text{C}$ ),
- Füllhöhe:  $0,20 \text{ m}$  (Halbfüllung).

Die Ergebnisse der Berechnungen nach Prandtl-Colebrook sind in **Abbildung 3** dargestellt. Sie zeigen die Tendenz, dass der Durchfluss mit zunehmender Wandrauheit  $k$  geringer wird – umso mehr mit zunehmendem Sohlgefälle. In Bereichen mit geringem Sohlgefälle (siehe insbesondere 1. Promille-Kurve) sind die Auswirkungen der Wandrauheit auf den Durchfluss jedoch relativ gering. Hier sinkt beispielsweise die Durchflussrate von  $45,6 \text{ l/s}$  für  $k = 0,01 \text{ mm}$  auf  $41,3 \text{ l/s}$  für  $k = 0,15 \text{ mm}$ , d. h. der Durchfluss verringert sich in diesem Fall nur um ca. zehn Prozent.

### Vergleich und Zusammenfassung der Ergebnisse

Wesentlicher Bestandteil bei der Planung von Abwasserleitungen und -kanälen ist die hydraulische Bemessung und damit der Nachweis des ablagerungsfreien Betriebs. Dieser kann insbesondere durch die Einhaltung entsprechender Grenzgrößen wie Sohlgefälle, Fließgeschwindigkeit, Wandschubspannung sowie die Wahl des Abflussquerschnittes (Rohrnennweite und -geometrie) beeinflusst werden. Vor allem das Sohlgefälle sowie die sich daraus ergebende Fließgeschwindigkeit und Wandschubspannung haben entscheidenden Einfluss auf das Entstehen von Ablagerungen. Bei zu großem Gefälle können Rohrwerkstoffe durch Abrieb, bei zu geringem Gefälle durch die Auswirkungen erhöhter Reinigungstätigkeit beeinflusst werden.

Die Wahl des Abflussquerschnittes ergibt sich aus der hydraulischen Dimensionierung. Die Geometrie bzw. Form ist dabei insbesondere auf stark schwankende Abflüsse abzustimmen. Hierbei haben sich z. B. Eiprofile oder bei großen Rohrnennweiten Querschnitte mit Trockenwetterrinne oder Drachenprofil als besonders vorteilhaft herausgestellt (**Abb. 2**).

Die Berechnung von Bauwerken der Abwasserableitung setzt wegen der Vielfalt der zu beachtenden Randbedingungen für die Strömungsver-

Rohrwerkstoff	k [mm]	Bemerkungen
Beton und Stahlbeton	≤ 0,1	Untersuchungen der TH Darmstadt; der Wert von k = 0,1 mm wird i. A. deutlich unterschritten
Steinzeug	0,02	glasiert, gerade Leitung
	0,25	—
	0,2 bis 0,3	—
Polymerbeton	≤ 0,05	—
duktiler Guss mit CEM	0,025	—
GFK	≤ 0,01	geschleudert
	0,029	gewickelt
PVC-U	0,0015 bis 0,01	—
	0,003	neu, technisch glatt
	0,007	—
PE	0,0015 bis 0,01	—
PP	0,0070	Wert wird für PP-R-Rohre (Polypropylen Random Copolymer Type 3) angegeben

Quelle: FBS

**Tabelle 2** Hydraulisch wirksame Rauheit k für verschiedene Rohrwerkstoffe (Literaturwerte und Herstellerangaben liegen der FBS vor)

hältnisse fundierte Kenntnisse in der Hydraulik voraus. Die hydraulische Bemessung der hier betrachteten Freispiegelleitungen erfolgt allgemein nach dem Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 110 auf Basis der Gleichung von Prandtl-Colebrook. Der Nachweis kann dabei entweder nach dem Pauschalkonzept oder nach dem Individualkonzept durchgeführt werden.

Beim Pauschalkonzept sind die verschiedensten, den Abfluss in den Rohrleitungen beeinflussenden Verlustbeiwerte in einer so genannten betrieblichen Rauheit  $k_b$  zusammengefasst. Das Pauschalkonzept wird in der Praxis nahezu ausschließlich für die hydraulische Dimensionierung von neu zu erstellenden Abwasserleitungen und -kanälen angewendet, da die Detailinformationen über den Kanal, wie z. B. Rohrlängen bzw. Anzahl der Rohrstöße, Seitenzuläufe, Schächte, Ausbildung der Schachtunterteile u. a., zu diesem Zeitpunkt vielfach noch nicht vorliegen. Bei diesem Nachweis sind die für genormte Abwasserrohre werkstoffabhängigen, hydraulisch wirksamen natürlichen Wandrauheiten einheitlich mit  $k = 0,1$  mm in dem Pauschalwert für die betriebliche Rauheit

$k_b$  (**Tab. 1**) enthalten, sodass der Rohrwerkstoff bzw. die jeweilige Rauheit der Rohrwandung oder des Gerinnes in diesem Fall keinen Einfluss auf das Ergebnis der hydraulischen Berechnung hat.

Zur hydraulischen Nachrechnung bestehender Abwasserleitungen und -kanäle wird im Allgemeinen das Individualkonzept nach ATV-DVWK-A 110 angewandt. Beim Leistungsnachweis sind die jeweiligen Verluste infolge der Wandrauheit k und die auftretenden Einzelverluste haltungsweise nachzuweisen. Veränderungen gegenüber dem neuwertigen Zustand sind zu berücksichtigen. Der aus der Wandrauheit k resultierende Einfluss ist für die Dimensionierung der Abwasserleitungen und -kanäle als verschwindend gering und somit als vernachlässigbar anzusehen. Entscheidend für die Größenordnung der betrieblichen Rauheit  $k_b$  sind vielmehr die anderen, werkstoffunabhängigen Einzelverluste, z. B. resultierend aus Rohrverbindungen, insbesondere Muffenspalten, Schächten, Krümmungen, Versätzen, Zuläufen etc. Nicht zuletzt haben in der Praxis auch die Zusammensetzung des Abwassers (z. B. Schmutz- und/oder Regenwas-

ser), eventuelle Feststoffablagerungen oder andere Abflusshindernisse großen Einfluss auf die hydraulischen Verhältnisse im Kanal, sodass selbst ein sehr kleiner Wert für die Wandrauheit k letztendlich keinen positiven Effekt mehr ausüben kann.

Zahlenangaben über Wandrauheiten sind in der Regel in den Produktnormen der einzelnen Rohrwerkstoffe nicht angegeben. In diesem Fall wird auf diesbezügliche Angaben der Hersteller oder der einschlägigen Literatur zurückgegriffen (**Tab. 2**). Diese Werte basieren jedoch in der Regel auf Versuchen unter idealen Laborbedingungen. Daher und auf Grund des erläuterten geringen Einflusses der hier in Frage kommenden Wandrauheitsbandbreite auf der hydraulischen Leistungsfähigkeit, wird in der Praxis (s. a. ATV-DVWK-A 110) empfohlen, einen pauschalen, werkstoffunabhängigen Wert (z. B. mit  $k = 0,1$  mm) anzusetzen oder, wenn möglich, einen realitätsnahen Wert auf Basis vorhandener Inspektionsdaten festzulegen.

FBS-Beton- und Stahlbetonrohre gewährleisten auf Grund ihrer Herstellungsarten eine sehr gute hydraulische Leistungsfähigkeit der damit gebauten Abwasserkanäle und -leitungen. Darüber hinaus bieten die FBS-Mitglieder Produkte an, die für spezielle hydraulische Situationen gefertigt werden, wie z. B. Eiprofile oder Kreis- und Rechteckquerschnitte mit Trockenwetterrinnen für Mischwasser- oder Stauraumkanäle bis hin zu Drachenprofilen, die einen nahezu ablagerungsfreien Zustand z. B. bei Stauräumen erzeugen können.

**Autor:**

Dipl.-Ing. Wilhelm Niederehe  
 Geschäftsführer der Fachvereinigung  
 Betonrohre und Stahlbetonrohre e.V. (FBS)  
 Schlossallee 10  
 53179 Bonn  
 Tel.: 0228 95456-54  
 Fax: 0228 95456-43

E-Mail: info@fbsrohre.de  
 Internet: www.fbsrohre.de

