

Rohrwerkstoffauswahl – ein Vergleich

Einfluss des Rohrwerkstoffes auf die Hydraulik von Abwasserkanälen



Einfluss des Rohrwerkstoffes auf die Hydraulik von Abwasserkanälen oder:

Was heißt eigentlich „glatt“?

1. Einleitung

Die Ableitung von Abwässern erfolgt seit den Anfängen der Entwässerungstechnik in sogenannten Freispiegelleitungen. Hierzu verlegt man unabhängig vom gewählten Entwässerungsverfahren (Mischsystem oder Trennsystem) die Kanäle und Leitungen mit einer Neigung des Geländes angepassten Gefälle, so dass das Wasser nicht unter Druck, sondern mit einem freien Spiegel – also drucklos – einer Einleitstelle, z. B. einer Abwasserbehandlungsanlage, zuströmt. Diese seit Generationen bewährte Technik zeichnet sich durch geringe Betriebskosten und hohe Zuverlässigkeit aus. Voraussetzung eines problemlosen Betriebes ist die sichere Vermeidung dauerhafter Ablagerungen der festen Abwasserinhaltsstoffe – in der Regel mineralische und organische Stoffe mit einem höheren spezifischen Gewicht als Wasser mit einem Anteil im Schmutzwasser von 250 bis 500 g/m³ nach [1] –, welche zu reduzierter hydraulischer Leistungsfähigkeit, Abwasserrückstau und zu Geruchsproblemen führen können. Derartige Sedimentationen, aber auch verfestigte Ablagerungen lassen sich nur mit größerem Aufwand wieder beseitigen bzw. „remobilisieren“ [2].

Zu ihrer Vermeidung muss – unabhängig vom eingesetzten Rohrwerkstoff – eine Mindestfließgeschwindigkeit des Abwassers zwischen 0,5 und 1,0 m/s eingehalten werden, die dafür sorgt, dass auf die absetzbaren Feststoffe eine ausreichend große Strömungskraft einwirkt, die sogenannte Schleppkraft [1]. Diese wird maßgeblich durch den hydraulischen Querschnitt und das Gefälle sowie die tatsächlich abzuleitende

Abwassermenge und die Energieverluste bestimmt. Bei sehr unzeitigem Abwasseranfall und stark variierenden Abwassermengen, wie sie beispielsweise in Mischwasserkanälen auftreten können, werden vielfach Rohre mit Eiquerschnitt oder Sonderquerschnitten – z. B. kreisrunde Rohre mit sogenannter Trockenwetterrinne oder Drachenprofilrohre (Bild 1) – eingesetzt.

Diese Querschnittstypen, die sich fast ausschließlich nur aus Beton und Stahlbeton herstellen lassen, besitzen gegenüber dem Kreisquerschnitt den Vorteil, dass einerseits z. B. bei Regenereignissen genügend große hydraulische Querschnitte zur Verfügung stehen, andererseits eine ausreichend große Fließgeschwindigkeit auch bei geringem Abwasseranfall (Trockenwetterabfluss bei Mischwasserkanälen) gewährleistet ist und zwar durch den kleinen Radius im Sohlbereich.

Bei der Planung von Abwasserkanälen wird man stets versuchen, das natürliche Gefälle des Geländes zu nutzen und

auf diese Weise große Verlegetiefen mit entsprechend hohen Baukosten zu umgehen. Dabei wird das Gefälle eines Abwasserkanalsystems in seinem gesamten Verlauf bis zu einem Hauptsammler, einem Pumpwerk oder einer Kläranlage 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, da in diesen Bereichen mit einem größeren und stetigeren Abfluss und damit auch mit einer größeren Schleppspannung des Abwassers gerechnet werden kann.

Nach [3] sind in den Anfangshaltungen der Abwasserkanäle Gefälle zwischen 3 ‰ bis 10 ‰ und im mittleren Bereich von 2 ‰ bis 3 ‰ üblich. In den Endstrecken der Abwasserkanäle mit größeren Querschnitten (Nebensammler, Hauptsammler usw.) wird das Gefälle je nach den topographischen Verhältnissen mit 1 ‰ bis 2 ‰, teilweise noch weniger, gewählt.



Bild 1: Rohre mit hydraulisch günstigen Abflußquerschnitten bei stark variierenden Abflussmengen

2. Normen

Zur hydraulischen Dimensionierung von Abwasserkanälen steht seit vielen Jahren das bewährte und ständig aktualisierte Arbeitsblatt DWA-A 110 [4] zur Verfügung. Es wurde 1998 durch das Arbeitsblatt DWA-A 112 [5] für den Geltungsbereich der Sonderbauwerke ergänzt. Darüber hinaus enthalten einige Rohrnormen – also im Fall der Beton- und Stahlbetonrohre DIN EN 1916 [6] und DIN V 1201 [7] – Hinweise auf ihre hydraulischen Eigenschaften. Dies betrifft die Glattheit der Wandung, Geradlinigkeit und zulässige Abweichungen des Innendurchmessers von der Nennweite. Aufgrund des erheblichen Einflusses der Bauausführung der sogenannten Sonderbauwerke der Ortswässerung auf die hydraulischen Netzeigenschaften ist bei der Planung von Entwässerungskanälen und -leitungen immer auch das DWA-A 157 [8] zu berücksichtigen.

3. Nachweisverfahren gemäß DWA-A 110

Die hydraulische Berechnung von Abwasserkanälen basiert auf den von Prandtl und Colebrook in den 30er-Jahren gemachten Erkenntnissen über die Fließvorgänge in Rohrleitungen bei turbulenten Strömungsverhältnissen. Man fand heraus, dass sich der Abfluss in Rohrleitungen bei turbulenter Strömung in einem Übergangsbereich zwischen ideal glatter und voll rauer Strömung

vollzieht, der in der sogenannten Prandtl-Colebrook-Gleichung beschrieben ist [9]. Die damit verbundene Berechnungsmethode bildet die theoretische Grundlage der heute verfügbaren Tabellenwerke [9] und Berechnungsprogramme über die Fließvorgänge in voll- und teilgefüllten Leitungen, mit denen sich beispielsweise die hydraulische Leistung einer Abwasserleitung bei gegebenem Gefälle und bekannter Geometrie berechnen lässt.

Damit ist die hydraulische Leistung nur noch abhängig vom Fließwiderstand. Dieser wird von einer Reihe von Einflussfaktoren bestimmt, von denen die „Glattheit“ bzw. in der üblichen Terminologie natürliche Rauheit der Rohrwandung nur einer von vielen ist. Man rechnet daher in der Regel nicht mit den einzelnen Einflussfaktoren, sondern fasst diese zu einer sogenannten betrieblichen Rauheit k_b zusammen. Diese Vorgehensweise wird als sogenanntes Pauschalkonzept gemäß DWA-A 110 [4] bezeichnet und für die Dimensionierung neuer Abwasserkanäle und -leitungen empfohlen.

4. Betriebliche Rauheit und Einfluss der Rohrwerkstoffe beim Pauschalkonzept

Der Pauschalansatz für die k_b -Werte berücksichtigt in der Regel die Einflüsse von

- Wandrauheit $k = 1$ für alle derzeit

durch den DIN-Normenausschuss Wasserwesen genormten Rohre,

- Lageungenauigkeit und -änderungen,
- Ausbildung der Rohrverbindungen,
- Zulauf-Formstücken und
- Schachtbauwerken (bis einschließlich Scheitelfüllung $h/d \leq 1,0$) [4].

In diesem Pauschalansatz sind folgende Einflüsse nicht enthalten:

- Nennweiten-Unterschreitungen
- Auswirkungen von Einstau und Überstau
- Vereinigungsbauwerke
- Ein- und Auslaufbauwerke von Drosselstrecken, Druckrohrleitungen und Dükern [4].

Auch wenn sich unter idealen, im realen Kanalbetrieb kaum erzielbaren Laborbedingungen für verschiedene Rohrwerkstoffe wie z. B. PE-HD zum Teil geringere Wandrauheiten ermitteln lassen, wird im DWA-A 110 [4] empfohlen – beispielsweise bei der Nachrechnung eines Kanals oder Netzbereiches nach dem für derartige Fälle vorgesehenen sogenannten Individualkonzept –, von $k = 0,1$ mm oder in Abhängigkeit des Kanalzustandes auch höher auszugehen. Selbstverständlich müssen zusätzlich alle Einzelverluste in den Schächten und sonstigen Bauwerken individuell haltungsweise ermittelt und berücksichtigt werden.

Derartige Einzelverluste, die sich aus der Art des Kanals und der integrier-

Tabelle 1: Pauschalwerte für die betriebliche Rauheit k_b [mm] nach DWA-A 110 [4]

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			

ten Schachtbauwerke ergeben, sind von dominierendem Einfluss auf die letztendlich bemessungsrelevante betriebliche Rauheit k_b (Tabelle 1).

5. Fazit

Beton- und Stahlbetonrohre nach DIN EN 1916 [1] und DIN V 1201 [7] und somit auch FBS-Betonrohre und FBS-Stahlbetonrohre weisen günstige hydraulische Eigenschaften auf. Für den hydraulischen Einzelnachweis im Rahmen des Individualkonzeptes gemäß DWA-A 110 [4] wird die effektive Wandrauheit für neue Rohre einheitlich mit $k = 0,1$ mm angesetzt. Dies gilt im Übrigen grundsätzlich für alle genormten Rohre und Rohrwerkstoffe!

Bemessungsentscheidend für eine Kanalhaltung oder ganze Netzbereiche ist letztendlich die betriebliche Rauheit, die alle Einzelverluste kumuliert betrachtet. Wie Vergleichsrechnungen zeigen, ist der Anteil der Wandrauheit an der betrieblichen Rauheit von untergeordneter Bedeutung. Abgesehen davon sollte generell der Einfluss der Flauheitshöhe auf die hydraulische Leistung von Freispiegeleleitungen nicht überschätzt werden.

Hydraulische Versuche haben für Beton- und Stahlbetonrohre betriebliche Rauheitswerte k_b ergeben, die zu den in DWA-A 110 aufgeführten Pauschalwerten für die betriebliche Rauheit k_b einen hohen Sicherheitsabstand aufweisen. Flohre aus Beton und Stahlbeton erlauben darüber hinaus durch Sonderquerschnitte eine Optimierung der hydraulischen Eigenschaften auch bei ungünstigen und schwankenden Abflussverhältnissen.

Damit lassen sich sicher die für die jeweiligen Teilfüllungsgrade transportierbaren Wassermengen und Fließ-

Exkurs: Berechnungsbeispiel

Bei der genaueren Betrachtung der Prandtl-Colebrook Beziehung zeigt sich, dass der Einfluss der Rauheit auf die Fließgeschwindigkeit und damit auf die hydraulische Leistung eines Kanals häufig erheblich überschätzt wird, denn der Rauheitswert k bzw. k_b , geht logarithmisch in die Geschwindigkeitsbeziehung ein:

$$V = (-2 \lg[2,51 \nu/d \sqrt{(2gJd) + k/3,71d}] \sqrt{(2gJd)})$$

Dies bedeutet, dass beispielsweise eine Erhöhung der betrieblichen Rauheit um das 5-fache von 0,1 mm auf 0,5 mm nennweitenabhängig lediglich eine etwa 12 bis 15 %-ige Durchflussreduzierung bei Vollfüllung bewirkt! Berücksichtigt man ferner, dass k_b , von einer ganzen Reihe von Einflüssen abhängt, ist der alleinige Einfluss der Wandrauheit k auf die Abflussleistung von untergeordneter Bedeutung.

Beispiel:

- Kanal DN 1000, Gefälle $J = 0,3\%$, $k = 0,1$ (Wandrauheit)
Maximalabfluss: $\max Q = 1674$ l/s Fließgeschwindigkeit $v = 2,13$ m/s
- Bei Berücksichtigung aller betrieblichen Einzelverluste einschließlich der Wandrauheit eines Transportkanals: $k_b = 0,5$
Maximalabfluss: $\max Q = 1459$ l/s Fließgeschwindigkeit $v = 1,86$ m/s
→ Durchflussreduzierung 12,8%

geschwindigkeiten berechnen und so auch der Nachweis der Mindestfließgeschwindigkeit zur Vermeidung von Ablagerungen führen.

Literatur

[1] Imhoff, K.; Imhoff, K. Fl.: Taschenbuch der Stadtentwässerung, 27. Auflage. R. Oldenbourg, München 1990.

[2] DIN EN 752: Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden.

Teil 1: Allgemeines und Definitionen.

Teil 2: Anforderungen.

Teil 3: Planung.

Teil 4: Hydraulische Berechnung und Umweltschutzaspekte.

Teil 5: Sanierung.

Teil 6: Pumpanlagen.

Teil 7: Betrieb und Unterhalt.

[3] ATV-Handbuch: Planung der Kanalisation. 4. Auflage. Hrsg.: Abwassertechnische Vereinigung e.V. (ATV), Hennef, Verlag Ernst&Sohn, Berlin 1995.

[4] Arbeitsblatt DWA-A 110: Dimensionierung und Leistungsnachweis von Abwasserkanälen und -leitungen.

[5] Arbeitsblatt DWA-A 112: Richtlinien für die hydraulische Dimensionierung und den Leistungsnachweis von Sonderbauwerken in Abwasserkanälen und -leitungen.

[6] DIN EN 1916: Flohre und Formstücke aus Beton, Stahlbeton und Stahlfaserbeton.

[7] DIN V 1201: Rohre und Formstücke aus Beton, Stahlbeton und Stahlfaserbeton für Abwasserleitungen und -kanäle - Typ 1 und Typ 2. Anforderungen, Prüfung und Bewertung der Konformität.

[8] ATV-DWK-A 157: Bauwerke der Kanalisation.

[9] Unger, P.: Tabellen zur hydraulischen Berechnung von Kanälen und Leitungen aus Beton- und Stahlbetonrohren nach Prandtl-Colebrook. INGWIS Verlag.

Fachvereinigung Betonrohre und Stahlbetonrohre e.V. (FBS)

Schloßallee 10

53179 Bonn

Tel. 0228-954 56 54

Fax 0228-954 56 43