



LEITFADEN ZUR AUSWAHL VON ROHRWERKSTOFFEN FÜR KOMMUNALE ENTWÄSSERUNGSSYSTEME

TEILEXPERTISE

„Lagestabilität / Auftriebssicherheit“

Im Auftrag der Fachvereinigung Betonrohre und Stahlbetonrohre e.V. (FBS), Bonn

Bearbeitung: Prof. Dr.-Ing. D. Stein
Dipl.-Ing. A. Brauer

(Auszugsweise) Veröffentlichung nur mit Genehmigung
der Prof Dr.-Ing. Stein & Partner GmbH

Bochum, 13. April 2005

1 Einführung in das Thema

Entwässerungssysteme nach DIN EN 752-1 [1] werden als **Freispiegelsystem** (Freigefällesystem), in DIN EN 476 [2] auch als Schwerkraft(entwässerungs)system bezeichnet, ausgebildet, bei denen „der Abfluss durch Schwerkraft erfolgt und bei dem die Leitung (Anmerkung: **Freispiegelleitung** [3]) üblicherweise mit Teilfüllung betrieben wird“. Die hydraulische Leistungsfähigkeit wird maßgeblich bestimmt durch Größe und Form des Abflussquerschnittes sowie das Gefälle der jeweiligen Haltung (s. Teilexpertise „Hydraulik“ [4]). Unter **Gefälle** versteht man nach DIN EN 752-1 [1] das „Verhältnis zwischen den vertikalen und horizontalen Projektionen eines Leitungsabschnittes“.

Beim Bau von Abwasserleitungen und -kanälen müssen hohe Ansprüche an die Einhaltung der in der Regel relativ geringen Gefällevorgaben gestellt werden, um die ständige Betriebsbereitschaft und -fähigkeit des gesamten Systems im Rahmen der gestellten Anforderungen sicher zu stellen. Solllage und deren Sicherung während der Nutzungsdauer (Lagestabilität) werden erreicht durch eine entsprechende lage- und höhengerechte Verlegung der Rohrleitung unter Einhaltung aller Anforderungen für die Verlegung und Prüfung der Rohrleitung nach DIN EN 1610 [5] bzw. ATV-DVWK-A 139 [6] für die offene sowie DIN EN 12889 [7] und ATV-A 125 [8] für die geschlossene Bauweise.

Nicht geplante Abweichungen von der bei der Planung und/oder bei der Bauausführung u.U. situationsbedingt festgelegten Solllage (Gefälle) bezeichnet man als Lageabweichung. Dabei unterscheidet man Lageabweichungen in Vertikalrichtung (z.B. Versatz), Horizontalrichtung und Längsrichtung [9, 10].

Als mögliche Ursachen kommen nicht nur die fehlerhafte Planung und Bauausführung in Frage, sondern auch hydrogeologische Veränderungen, Belastungsänderungen, Setzungen, Bergsenkungen und Erdbeben sowie Folgen von Undichtigkeiten im Laufe der Nutzungsdauer (s. Teilexpertise „Nutzungsdauer“ [11]).

Sind mit den Lageabweichungen nach Verlegung der Haltung Bewegungen einzelner Rohre oder der Rohrleitung verbunden, können in Abhängigkeit von deren

Größenordnung unterschiedliche Schadensfolgen auftreten, z.B. [9]:

- Verlust der Funktionsfähigkeit durch Gegengefälle (z.B. Unterbogen)
- Erhöhung des Wartungsaufwandes (z.B. Reinigung)
- Abreißen von Anschlussleitungen
- Undichtigkeiten / Infiltration
- Abflusshindernisse
- Risse / Brüche
- Rohrbruch.

Lageabweichungen dürfen nur im Rahmen der vom Auftraggeber bzw. von Normen, Richtlinien und Arbeitsblättern festgesetzten Toleranzen liegen, die in der Regel nennweitenabhängig festgelegt sind. Beispiele für diesbezügliche Festlegungen für die offene und geschlossene Bauweise enthalten die Tabellen 1 und 2. Bei Überschreitung der zulässigen Toleranzen im Rahmen der Bauabnahme nach VOB §12 und §13 drohen dem Auftragnehmer Wertminderungen seiner Leistungen, im Extremfall sogar die komplette Erneuerung der betreffenden Haltung.

Tabelle 1 Zulässige Toleranzwerte für Lageabweichungen am Beispiel des Kasseler Entwässerungsbetriebes (KEB) bei VOB-Abnahmen nach §12 und §13 für Abwasserleitungen und -kanäle aus Steinzeug- und Beton-/Stahlbetonrohren (aus: ZTV-KEB 99, Stand April 2000)

Rohrwerkstoff	DN/ID	Versatz Scheitel/Kämpfer	Versatz Sohle	Axial- verschiebung	Unterbogen/ Ausbiegung
	[-]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
Steinzeug	250	17	5	28	17
	300	18	6	28	17
	400	23	6	28	20
	500	28	7	22	25
	600	31	8	28	30
	700	33	9	28	35
	800	36	10	28	40
Beton / Stahlbeton	300	10	10	15	17
	400	10	10	15	20
	500	15	15	18	25
	600	15	15	18	30
	700	15	15	18	35
	800	20	20	20	40
	900	20	20	20	45
	1000	20	20	22	50
	1100	20	20	22	55
	1200	25	25	22	60
	1300	25	25	22	65
	1400	25	25	27	70
	1500	25	25	27	75
	1600	30	30	27	80
	1800	30	30	27	90
2000	35	35	31	100	
2200	35	35	31	110	
2500	35	35	36	125	

Diese Werte werden bei nichtbegehbaren Kanälen mittels TV-Inspektion ermittelt. Mögliche technische Prüffehler durch die eingesetzte Kamertechnik sind berücksichtigt.

Tabelle 2 Zulässige maximale Abweichung von der Soll-Lage für Abwasserleitungen und -kanäle nach ATV-A 125 ¹⁾ [8]

DN/ID	Vertikale Abweichung [mm]	Horizontale Abweichung [mm]
< 600	± 20	± 25
≥ 600 bis ≤ 1000	± 25	± 40
> 1000 bis < 1400	± 30	± 100
≥ 1400	± 50	± 200

¹⁾ Für die Funktionsfähigkeit ist eine Gefällereserve einzuplanen.

Nachfolgend werden Lageabweichungen von in offener Bauweise verlegten Abwasserleitungen und -kanälen in Folge des Einflusses von Grundwasser beim Verlegen und Änderungen der hydrogeologischen Bedingungen während ihrer Nutzungsdauer im Hinblick auf den Auftrieb der Rohre bzw. der Rohrleitung betrachtet.

2 Analyse der verschiedenen Werkstoffe bezüglich Auftriebssicherheit

Als **Auftrieb** bezeichnet man eine Kraft, die eine Flüssigkeit oder ein Gas auf einen Körper ausübt [12]. Der Auftrieb eines Körpers wird durch das Gesetz von Archimedes (um 300 v. Chr.) bestimmt. Er ist gleich der Gewichtskraft des durch den Körper verdrängten Stoffes. Im vorliegenden Anwendungsfall steht der Auftriebskraft des verdrängten Wasservolumens das Gewicht des Rohres bzw. der Rohrleitung entgegen.

Die **Auftriebssicherheit** wird durch das Verhältnis Gewichtskraft des Rohres bzw. der Rohrleitung zur Auftriebskraft ermittelt, wobei diese immer größer als die Auftriebskraft sein muss. Die erforderliche Auftriebssicherheit $\eta_{\text{erf.}}$ wird in der Regel mit einem Wert $\geq 1,1$ erreicht.

Auftriebssicherheit bei Grundwasser

➤ Einflusses des Grundwassers beim Verlegen

Bei Verlegung von Abwasserleitungen und -kanälen in grundwasserführendem Baugrund sind Maßnahmen zur Verhinderung von Grundbrüchen oder Grundwassereinbrüchen im Leitungsgraben zu treffen. In Abhängigkeit der Grundwassersituation und des gewählten Verbaus sind folgende Maßnahmen möglich [13, 14]:

- Offene Wasserhaltung
- Grundwasserabsenkung
- Grundwassersperrung.

Die einfachste Lösung stellt, wenn technisch möglich und erlaubt, die Absenkung des Grundwasserspiegels unter das Niveau der Grabensohle dar.

Trotz dieser Maßnahmen können Regen- oder Hochwasserereignisse, Wasserrohrbrüche im Einzugsbereich der Baustelle etc. zur Überflutung des Leitungsgrabens und zur Auslösung von Auftriebskräften auf die bereits verlegten und ausgerichteten, aber noch nicht überschütteten Rohre führen (Bild 1). In diesem Fall spielt die Auftriebssicherheit der Rohre und damit ihr Gewicht (Tabelle 3) eine maßgebliche Rolle für ihre Lagestabilität, wenn nicht rechtzeitig Gegenmaßnahmen durch künstliche Ballastierung, z.B. durch Füllung der Rohrleitung mit Wasser, getroffen werden.

Tabelle 3 Gewicht [kg/m] von Abwasserrohren aus verschiedenen Werkstoffen für die offene Bauweise (ggf. mit Berücksichtigung des Muffenanteils)

Rohrwerkstoff und -typ		DN/ID 300	DN/ID 400	DN/ID 500	DN/ID 600	DN/ID 700	DN/ID 800
Betonrohr (FBS-Qualität, Form KW) [15]		198,80	294,40	406,00	570,00	774,40	984,00
Stahlbeton (FBS-Qualität, Form K-GM [15])		202,40	298,40	410,80	576,00	790,40	994,80
Steinzeug (Typ CeraDyn® [16])	Normallastreihe	72,00	136,00	174,00	230,00	304,00	367,00
	Hochlastreihe	100,00	152,00	230,00	326,00	405,00	473,00
Polymerbeton (Polycrete®)[17]		107,00	160,00	206,00	258,00	327,00	383,00
Duktiler Guss (Guss und Zementmörtel) [18]		56,00	86,00	118,00	151,00	197,00	243,00
GFK (CC – geschleudert, SN 10.000 N/m²) [19]		15,20	25,70	38,50	51,50	69,60	88,00
PVC-U (Ultra Rib® 1 [20])		8,17	15,06	– *)	– *)	– *)	– *)
PE-HD (SL®-Kanalrohr Reihe 3 [21])		14,73 (DN/OD 355, s = 13,7 mm)	23,70 (DN/OD 450, s = 17,4 mm)	36,55 (DN/OD 560, s = 21,6)	46,26 (DN/OD 630, s = 24,3 mm)	– *)	– *)
PP-B (Ultra Rib® 2) [22]		7,25	13,3	20,75	– *)	– *)	– *)
*) Diese Nennweite gehört nicht zum standardmäßigen Lieferprogramm, so dass keine Angaben in den Produktinformationen verfügbar sind (i.d.R. Sonderanfertigung).							

➤ Änderungen der hydrogeologischen Bedingungen während der Nutzungsdauer

Bei Änderung der hydrogeologischen Bedingungen während der Nutzungsdauer eines verlegten Kanals in Form eines unvorhergesehenen Anstiegs des Grundwasserspiegels (z.B. Sanierung undichter Kanalnetzbereiche, Regen- oder Hochwasserereignisse) über Rohrscheitel, müssen die Anforderungen bezüglich der Auftriebssicherheit erfüllt werden.

Im Bild 1 ist exemplarisch die erforderliche Überdeckungshöhe $h_{\bar{u}}$ für Rohre aus verschiedenen Werkstoffen in Abhängigkeit der Nennweite (für $300 \leq \text{DN/ID} \leq 1200$) ermittelt worden, bei der die Auftriebskraft multipliziert mit dem Sicherheitsfaktor 1,1

gleich der Summe der Gewichtskraft aus Rohreigengewicht (s. Tabelle 3) und Gewicht des überlagernden Bodens ist, d.h. der Rohrstrang gerade vor Auftrieb sicher ist. Dabei wurde von folgenden Annahmen ausgegangen:

- Die Höhe des Grundwasserspiegels ist gleich dem Niveau der Geländeoberfläche
- Die Wichte des überlagernden Bodens im Grundwasser beträgt $\gamma_B = 9 \text{ kN/m}^3$
- Die Wichte des Grundwassers beträgt $\gamma_W = 10 \text{ kN/m}^3$
- Es werden nur Rohre mit Kreisringquerschnitt betrachtet
- Das vom Rohr im Baugrund eingenommene Volumen wurde überschlägig auf DN/OD des Rohrschaftes bezogen, d.h. der Muffenanteil bleibt ggf. unberücksichtigt
- Das Eigengewicht der Rohre wurde Informationen der jeweiligen Rohrhersteller entnommen und ist ebenfalls auf 1 m Rohr bezogen, ggf. ist der Muffenanteil berücksichtigt (s. Tabelle 3)
- Der Rohrstrang ist vollständig leer, d.h. es wird keine Ballastierung durch Teil- oder Vollfüllung angesetzt
- Die erforderliche Auftriebssicherheit beträgt $\eta_{\text{erf.}} = 1,1$.

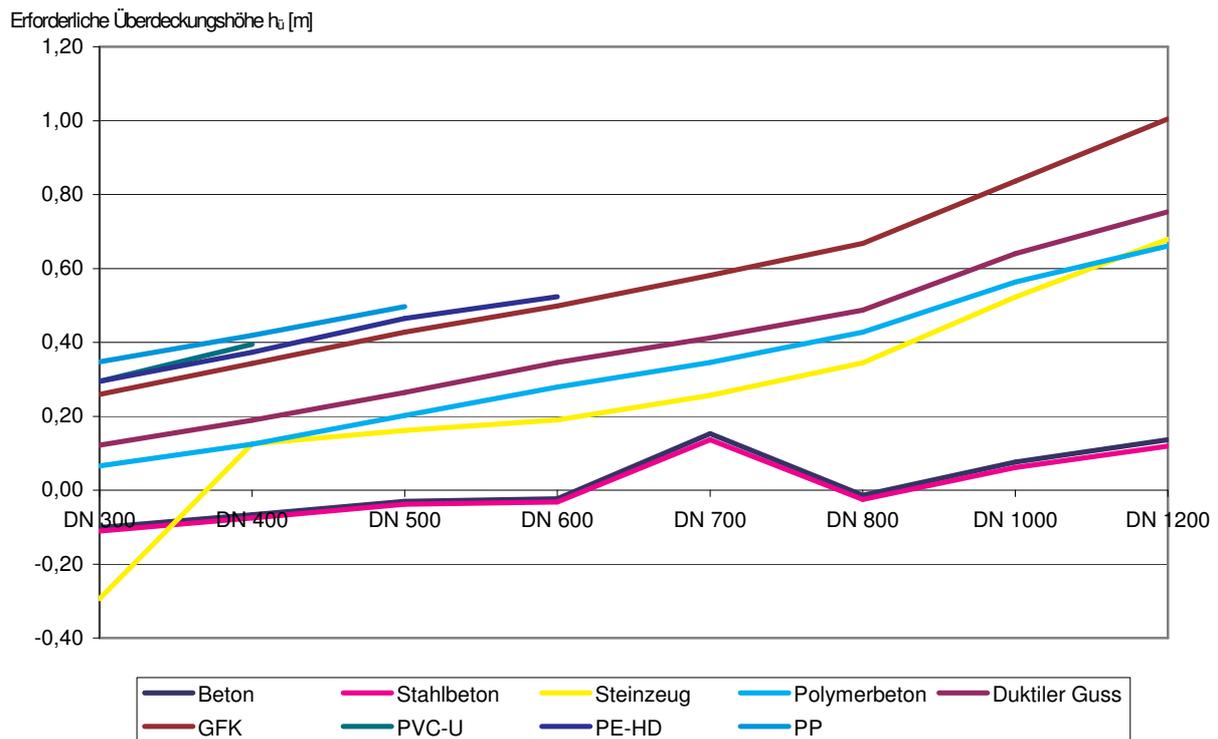


Bild 1 Erforderliche Überdeckungshöhe $h_{\bar{u}}$ [m] zur Auftriebssicherung von Rohren im Grundwasser in Abhängigkeit von Rohrwerkstoff und Rohrnennweite

Die beispielhaften Kurven im Bild 1 zeigen, dass die Auftriebsgefahr unter den gegebenen Randbedingungen tendenziell mit steigender Rohrnennweite und abhängig vom Rohrwerkstoff zunimmt. Dabei weisen Beton-/Stahlbetonrohre auf Grund ihres hohen Eigengewichtes im Gegensatz zu den anderen Rohrwerkstoffen im hier betrachteten Nennweitenbereich eine relativ große Sicherheit gegen Auftrieb auf. Für die Rohrnennweiten DN/ID 300 bis DN/ID 600 und 800 würden diese die Anforderungen bezüglich Lagestabilität und die Auftriebssicherheit theoretisch sogar ohne jegliche Überdeckung erfüllen.

3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Lagestabilität und Auftriebssicherheit von als Freispiegelleitungen betriebenen Abwasserleitungen und -kanälen sind für die Sicherstellung der ständigen Betriebsbereitschaft und -fähigkeit des gesamten Systems von entscheidender Bedeutung.

Lageabweichungen der Rohrleitung können sowohl im Rahmen der Verlegung (Bauphase) als auch später im Laufe der Nutzungsdauer (Betriebsphase) auftreten.

Im erstgenannten Fall bieten schwere Rohre (s. Tabelle 3) naturgemäß den Vorteil, dass sie, bedingt durch ihr großes Eigengewicht, eine hohe Lagestabilität besitzen und deshalb insbesondere in der Einbauphase während der Verfüll- und Verdichtungsarbeiten im Leitungsgraben – im Gegensatz zu leichten Rohren – relativ sicher in ihrer eingemessenen Solllage verbleiben.

Einen besonderen Stellenwert besitzt die Auftriebssicherheit von Abwasserleitungen und -kanälen sowohl in der Bau- als auch der Betriebsphase zur Gewährleistung der Lagestabilität. Bild 1 verdeutlicht, dass der Auftrieb unter Grundwassereinfluss wesentlich vom Eigengewicht der Rohre sowie vom Außendurchmesser beeinflusst wird. Naturgemäß bieten auch hier Rohre mit hohem Eigengewicht Vorteile.

Fazit:

FBS-Beton- und Stahlbetonrohre besitzen, bedingt durch ihr hohes Eigengewicht, sowohl in der Bau- als auch der Betriebsphase eine große Lagestabilität.

In der Bauphase wirkt sich dies positiv auf die Einhaltung der vorgegebenen Solllage sowie die Erzielung der vorgeschriebenen Verdichtung der Leitungszone aus.

In der Betriebsphase weisen Beton- und Stahlbetonrohre dadurch eine hohe Auftriebssicherheit auf, so dass ein nachträglicher, unvorhergesehener Grundwasseranstieg in der Regel nicht zu Lageabweichungen führt. Gegebenenfalls kann durch Erhöhung der Wanddicke die Auftriebssicherheit dieser Rohre weiter vergrößert werden.

4 Literatur

- [1] DIN EN 752-1: Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden – Teil 1: Allgemeines und Definitionen (01.1996).
- [2] DIN EN 476: Allgemeine Anforderungen an Bauteile für Abwasserkanäle und -leitungen für Schwerkraftentwässerungssysteme (08.1997).
- [3] DIN EN 12889: Grabenlose Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen (03.2000).
- [4] Stein, D., Trujillo-Alvarez, R., Brauer, A.: Leitfaden zur Auswahl von Rohrwerkstoffen für kommunale Entwässerungssysteme – Teilexpertise „Hydraulik“. Expertise der Prof.-Dr.-Ing. Stein & Partner GmbH, Bochum im Auftrag der FBS e.V., Bonn. Bochum, April 2005.
- [5] DIN EN 1610: Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen (10.1997)
DIN EN 1610 Beiblatt 1: Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen – Verzeichnis einschlägiger Normen und Richtlinien (Stand vom Februar 1997).
- [6] Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 139: Einbau und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen (01.2002).
- [7] DIN EN 12889: Grabenlose Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen (03.2000).
- [8] Arbeitsblatt ATV-A 125: Rohrvortrieb (09.1996).
- [9] Stein, D.: Instandhaltung von Kanalisationen, 3. Auflage. Verlag Ernst & Sohn, Berlin 1998.
- [10] Merkblatt ATV-DVWK-M 143-1: Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 1: Grundlagen (08.2004).

-
- [11] Stein, D., Brauer, A.: Leitfaden zur Auswahl von Rohrwerkstoffen für kommunale Entwässerungssysteme – Teilexpertise „Nutzungsdauer“. Expertise der Prof.-Dr.-Ing. Stein & Partner GmbH, Bochum im Auftrag der FBS e.V., Bonn. Bochum, Dezember 2005.
- [12] Internet: <http://de.wikipedia.org/wiki/Auftrieb>. Stand: 07.04.2005.
- [13] Rappert, C.: Grundwasserströmung – Grundwasserhaltung. In Smoltczyk, U. (Hrsg.): Grundbau-Taschenbuch Teil 2. 5. Auflage. Ernst & Sohn, Berlin 1996.
- [14] Herth, W., Arndts, E.: Theorie und Praxis der Grundwasserabsenkung. 3. Auflage. Verlag Ernst & Sohn, Berlin 1995.
- [15] Firmeninformation Hume Rohr GmbH, Doberlug-Kirchhain.
- [16] Firmeninformation Steinzeug Abwassersysteme GmbH, Köln.
- [17] Firmeninformation Meyer Rohr + Schacht GmbH, Lüneburg.
- [18] Firmeninformation Saint-Gobain Gussrohr GmbH & Co KG, Gelsenkirchen.
- [19] Firmeninformation Hobas Rohre GmbH, Neubrandenburg.
- [20] Firmeninformation Wavin GmbH, Twist.
- [21] Firmeninformation egeplast Werner Strumann GmbH & Co. KG, Greven.
- [22] Firmeninformation Uponor Anger GmbH, Marl.