

Planung und Betreuung von Abwasserdruckleitungen

Detlef Aigner

Einleitung

Die klassische Form des Abwassertransportes ist der Freispiegelkanal. Er hat sich seit über 160 Jahren, seitdem der englische Ingenieur William Lindley ab 1842 den Hamburger Siel plante und baute, in Deutschland bewährt. Aber immer häufiger werden Druckrohrleitungen für den Transport von Abwasser eingesetzt. Das geschieht vor allem aus Kostengründen aber auch topografische Gegebenheiten, komplizierte Anbindungen und die Notwendigkeit des Pumpeneinsatzes bei zu geringem oder steigendem Gefälle spielen eine Rolle. Druckrohrleitungen sind eine ökonomisch und ökologisch günstige Variante für den Abwassertransport. Sie werden mit einfacher Technik in „freier“ Trassierung und in üblichen Verlegetiefen realisiert. Gegen ihren Einsatz sprechen mögliche Transportprobleme durch Lufteinschlüsse, Ablagerungen, die Gefahr der Verstopfung verbunden mit den Problemen des diskontinuierlichen Abwasseranfalls. Widerstand gegen diese Technologie entsteht aber meist durch Unsicherheit infolge Unwissenheit. Abhilfe liefert Aufklärung und die wissenschaftliche Analyse der Probleme. Mit einem dieser Probleme haben wir uns in Dresden intensiver beschäftigt, dem Problem des Lufteinschlusses und des Lufttransportes.

Planung von Abwasserdruckleitungen

Die Planung von Druckrohrleitungen ob nun als Freigefälledruckleitung oder für den Pumpbetrieb erfolgt auf der Grundlage der anfallenden Abwassermenge (Einwohnergleichwerte), der Randbedingungen der Trasse und der Rohrleitung, der Auswahl der Pumpen und deren Förderkennlinien, den Vorgaben und Zulagen aus diskontinuierlichem Betrieb und Lufteinschluss, den Betriebsbedingungen, wie Spülung oder Druckluftzugaben und den Randbedingungen, wie Puffer und

Einleitungsbedingung. Außerdem spielen Mindestfließgeschwindigkeiten, Reinigungstechnologie, maximal Abflussmenge oder Druck- bzw. Unterdruckbedingungen eine Rolle. Die hydraulische Berechnung der Abwasserdruckleitung entspricht der mit Klarwasser, da der geringe Anteil der Inhaltsstoffe die hydraulischen Eigenschaften des Wassers nur gering beeinflusst. Der Planungsprozess erfolgt iterativ. Oft werden zusätzliche Verluste infolge von Lufteinschlüssen oder Ablagerungen nicht ausreichend beachtet.

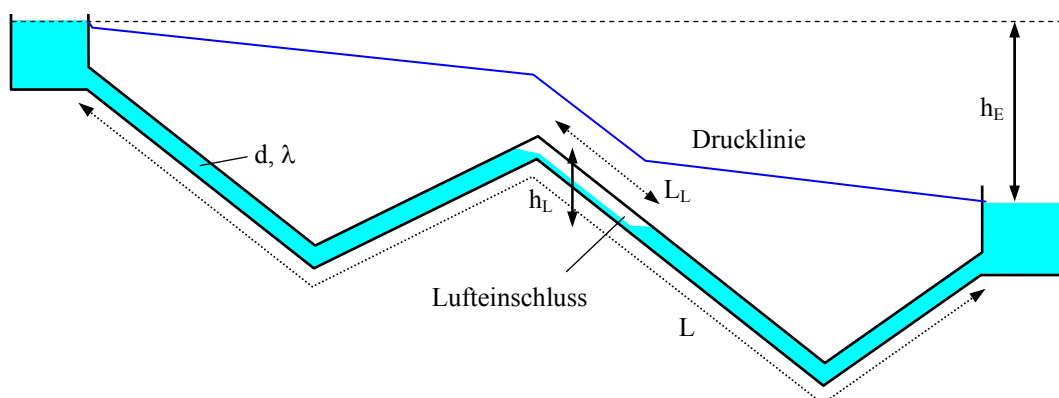


Abbildung 1 Leitung mit Lufteinschluss

Grundlage zur Berechnung von Abwasserdruckleitungen bildet das Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 110, Hydraulische Dimensionierung und Leistungsnachweis von Abwasserkanälen und –leitungen, vom September 2001. Als Fach- bzw. Lehrbücher für die hydraulische Bemessung können die Abwasserhydraulik von Hager (1994) und die Technische Hydromechanik 1 von Bollrich (2000) empfohlen werden. Im Rahmen unserer Untersuchungen entstand ein Merkblatt des sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie mit dem Titel: „Hydraulische Bemessung von Freigefälledruckleitungen zum Abwassertransport“ vom Mai 2003.

Die hydraulische Berechnung der Druckrohrströmung basiert auf der Formel von Weisbach:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\lambda}} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot d \cdot I_R} = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot h_E}{\lambda \cdot L / d + \sum \zeta}} \quad (1)$$

$$\text{mit: } \lambda = \left[-2 \cdot \lg \left(\frac{2,51 \cdot \nu}{\sqrt{2 \cdot g \cdot d^3 \cdot I_R}} + \frac{k}{3,71 \cdot d} \right) \right]^{-2} \quad (2)$$

$$I_R = \frac{h_V}{L} = \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad \text{näherungsweise wird gerechnet: } I_R \cong I_E = \frac{h_E}{L}$$

v – Geschwindigkeit in m/s	λ – Reibungsbeiwert
g – Erdbeschleunigung in m/s^2	I_R – Reibungsgefälle
d – Durchmesser der Rohrleitung in m	I_E – Energiegefälle
d_{hy} – hydraulischer Durchmesser in m	h_E – Energiehöhe in m
r_{hy} – hydraulischer Radius in m	h_V – Verlusthöhe in m
L – Länge der Rohrleitung in m	ζ - Verlustbeiwert
k – Rauigkeit in m	ν – kinematische Viskosität in m^2/s

Lufteinschlüsse werden sowohl in den Druckhöhen (Drucksprünge) als auch in den Leitungslängen berücksichtigt (siehe Abbildung 1).

$$v = \sqrt{\frac{2g \cdot (h_E - \sum h_L)}{\lambda \cdot (L - \sum L_L) / d + \sum \zeta}} \quad (3)$$

Freispiegelbereiche innerhalb der Druckleitungen (Luftfüllung) oder bei wechselnden Druck- und Freispiegelabfluss können ebenfalls mit der Gleichung nach Darcy-Weisbach berechnet werden, wenn für den Rohrdurchmesser der hydraulische Durchmesser berücksichtigt wird:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\lambda}} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot d_{hy} \cdot I_R} \quad \text{mit } d_{hy} = 4 \cdot r_{hy} \quad (4)$$

$$\text{und } \lambda = \left[-2 \cdot \lg \left(\frac{2,51 \cdot \nu}{\sqrt{2 \cdot g \cdot d_{hy}^3 \cdot I_R}} + \frac{k}{3,71 \cdot d_{hy}} \right) \right]^{-2} \quad (5)$$

Bei stationär gleichförmigem Abfluss entspricht das Reibungsgefälle I_R dem Sohl- bzw. Leitungsgefälle I_S und in den Gleichungen (4) und (5) wird $I_R = I_S$ gesetzt. Die Formbeiwerte in Gleichung (5) für den hydraulisch glatten Bereich (2,51) und den hydraulisch rauhen Bereich (3,71) wurden aus der Gleichung für Vollfüllung übernommen. Ihre geringen Veränderungen bei Teilfüllung liegen im Toleranzbereich anderer angenommener Werte, wie z.B. der Rauheit k , und können vernachlässigt werden.

Zur Ermittlung des Teilfüllungsabflusses eignen sich außerdem die Teilfüllungskurven auf der Basis der Manning-Strickler-Formeln.

$$\frac{Q_{\text{Teil}}}{Q_{\text{Voll}}} = \frac{A_{\text{Teil}}}{A_{\text{Voll}}} \cdot \frac{v_{\text{Teil}}}{v_{\text{Voll}}} = \frac{A_{\text{Teil}}}{A_{\text{Voll}}} \cdot \left(\frac{r_{hy, \text{Teil}}}{r_{hy, \text{Voll}}} \right)^{2/3} \quad (6)$$

Die Geschwindigkeiten und Abflüsse für die Vollfüllung können aber mit den Gleichungen (1) und (2) ermittelt werden.

Betrieb von Abwasserdruckleitungen

Wegen des über die Zeit (Tag, Woche, Monat) verteilten Abwasseranfalls erfolgt der Betrieb von Abwasserdruckleitungen diskontinuierlich. Das geschieht über eine Regelung bei Freigefälledruckleitungen und bei Pumpendruckleitungen über den Pumpbetrieb. Ist der ankommende Abwassersammler ein Mischwasserkanal, d.h. wird das Regenwasser mit abgeführt, dann sind die Erfordernisse eines Regenrückhaltebeckens für den Zwischenspeicher nach ATV-DVWK-A 117 zu berücksichtigen. Notüberläufe müssen bei Starkniederschlägen die Ableitung in die Vorflut garantieren.

Die Regelung von Freigefälledruckleitungen erfolgt meist automatisch. Dazu werden Messgeräte und Sensoren zur Durchfluss-, Druck- und Wasserstandsmessung benötigt.

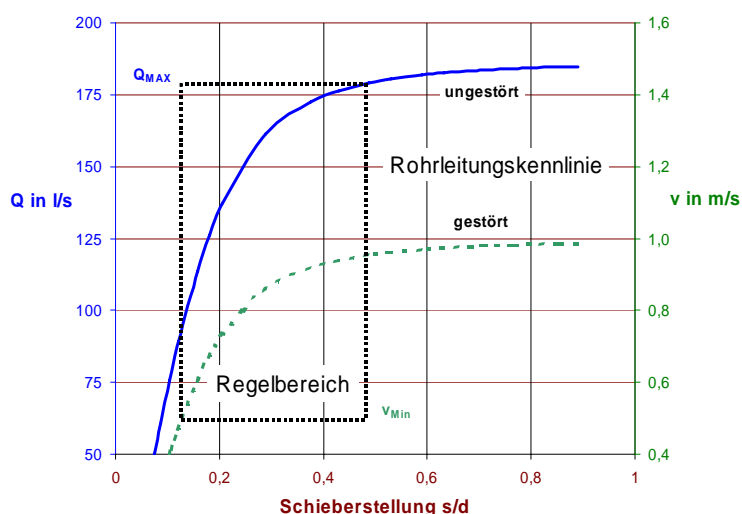


Abbildung 2 hydraulische Randbedingungen für die Regelung

Für den ablagerungsfreien Betrieb von Abwasserdruckrohrleitungen werden Mindestfließgeschwindigkeiten empfohlen. Diese liegen mindestens bei 0,5, besser aber bei 0,7 m/s. Insbesondere in der Druckentwässerung können diese Bedingungen wegen des geringen Abwasseranfalls oft nicht eingehalten werden. Die Unruhe in den Leitungen erschwert allerdings die Verfestigung von Ablagerungen. Zur Erhöhung der Fließgeschwindigkeiten werden in Abwasserdruckrohrleitungen oft Druckluftzugaben vorgenommen. Spülungen und damit Reinigungen erfolgen über Druckluftspülstationen. Dazu werden Spülschächte mit Absperr- und Einblaseeinrichtungen ausgestattet. Neben den Problemen mit Lufteinschlüssen und

den Abwasserinhaltsstoffen spielen Ausgasungen und Schwefelwasserstoffbildung eine große Rolle. Standzeiten, Leitungslängen und Spülzyklen sind davon abhängig.

Selbstentlüftung

Im Rahmen eines Forschungsprojektes im Auftrag des Sächsischen Landesamts für Umwelt und Geologie wurden von 2000 bis 2002 im Hubert-Engel-Labor der Technischen Universität Dresden die Mechanismen des Luftblasentransports in Druckrohrleitungen an eine 190 mm Plexiglasleitung untersucht.

Dazu wurden die Bewegungseigenschaften tausender Einzelblasen analysiert.

Neben den Labormessungen wurde gleichzeitig die im Juni 2000 in Betrieb genommene zentrale Kläranlage Zschopau bei Chemnitz mit einer Freigefälledruckleitung zur Abwasserüberleitung wissenschaftlich begleitet.



Abbildung 3 Modell einer Freigefälledruckleitung im Hubert-Engels-Labor

Die Analyse der Einzelblasen lieferte wichtige Angaben zur Definition einer Formel aus dem Kräftegleichgewicht zwischen Strömungswiderstand und Auftrieb der Blase. Diese Formel bestimmt die Stillstandgeschwindigkeit einer Einzelblase in der

Rohrströmung in Abhängigkeit vom Durchmesser und der Neigung der Druckrohrleitung.

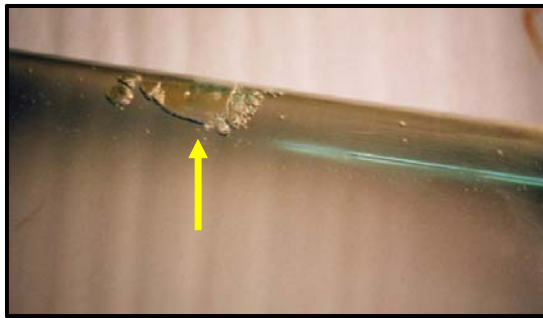


Abbildung 4 Stehende Einzelblase in der Druckrohrströmung

Die so genannte Stillstandsgeschwindigkeit v_s einer Einzelblase in der Rohrleitung mit dem Durchmesser d und der Neigung α definiert den Beginn der Bewegung einer mittleren, schwer beweglichen Blase. Größere und kleinere Blasen erfordern geringere Strömungsgeschwindigkeiten für Ihre Mitnahme mit der Strömung. Bereits Gandenberger (1957) machte auf dieses Phänomen aufmerksam. Er definierte eine Blase mit der dimensionslosen Zahl n aus dem Verhältnis des Blasenvolumens und einem Rohrzylinder der Länge d . Seine Blasen zeigten bei einer dimensionslosen Größe von $n=1$ bis $1,5$ die größten Widerstände. In unseren Untersuchungen waren es die Blasen mit der Größe $n=0,41$. Unter Berücksichtigung dieser Extremwerte und weiterer Kennwerte entstand die Formel (7) für die so genannte Stillstandsgeschwindigkeit einer Luftblase in der Rohrströmung.

$$v_s = \sqrt{1,5 \cdot g \cdot \frac{d \cdot \sin \alpha}{(1,64 \cdot \sin \alpha + 0,06)}} \quad \alpha - \text{Neigungswinkel der Rohrleitung} \quad (7)$$

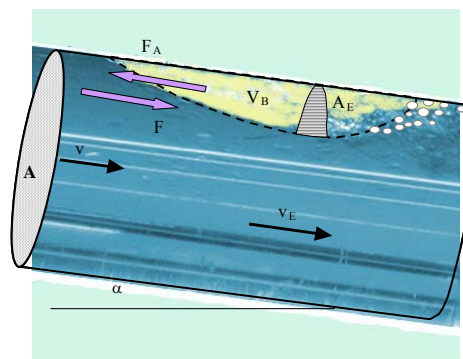


Abbildung 5 Kräftegleichgewicht an der Einzelblase

Für Druckleitungen im Abwasserbereich aber auch im Klarwasserbereich mit geringem Luftschluss und keiner weiteren Luftzufuhr kann aus dem Vergleich der vorhandenen Fließgeschwindigkeit mit der berechneten Selbstentlüftungsgeschwindigkeit die Möglichkeit der selbstständigen Entlüftung ermittelt werden.

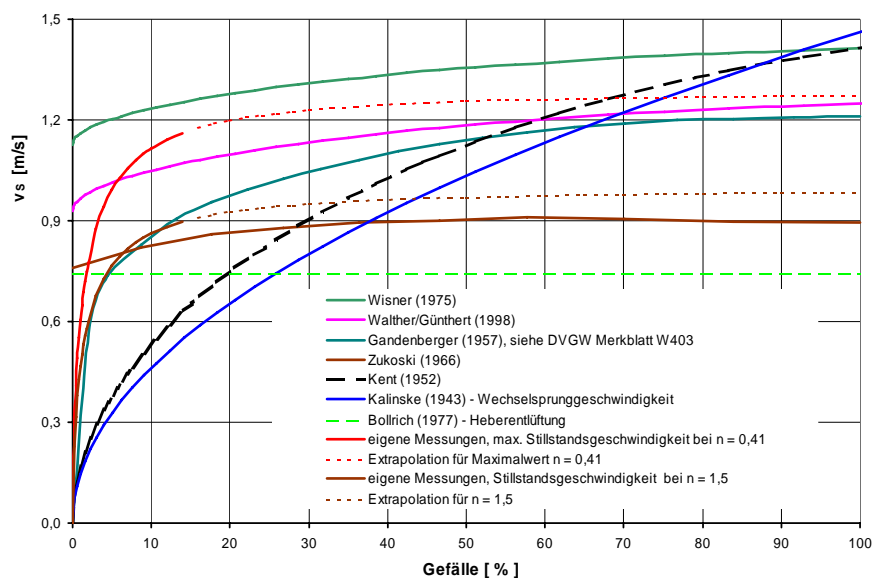


Abbildung 6 Vergleich der Selbstentlüftungsgeschwindigkeiten für $d=190$ mm

Dauer des Luftaustrages

Um eine Aussage über die erforderliche Zeit zum Austrag eines bestimmten Luftvolumens zu machen, wurden zeitabhängige Messungen in unserem Labor durchgeführt. Dabei wurden das Gefälle der Rohrleitung und das eingeschlossene Luftvolumen variiert. Der Austrag der Luft wurde über einen längeren Zeitraum gemessen und daraus der Austragsluftvolumenstrom ermittelt. Die Ergebnisse der Messungen variierten sehr stark, zeigten aber eine gewisse Tendenz. Die daraus ermittelte Gleichung des relativen Luftvolumenstromes β gestattet die Abschätzung der selbstständigen Entlüftungszeit.

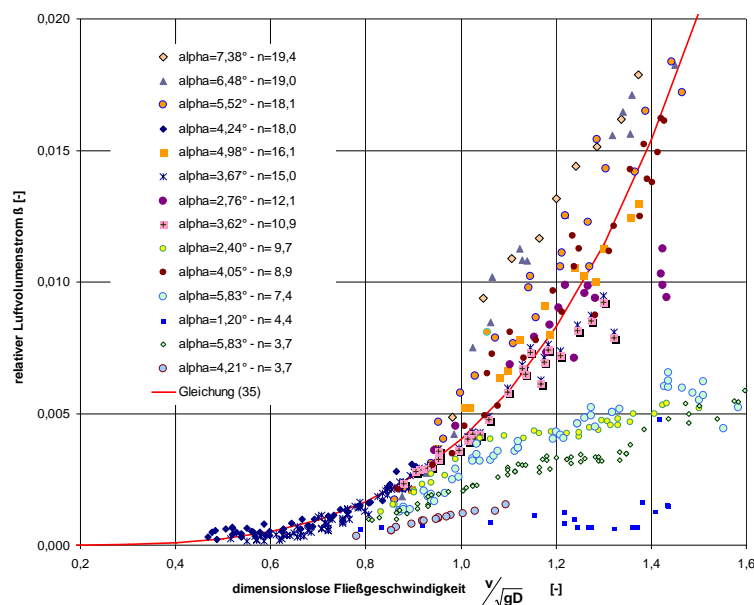


Abbildung 7 Luftaustrag $\beta = Q_L/Q_W$ als Funktion der dimensionslosen Fließgeschwindigkeit

Zusammenfassung

Abwasserdruckrohrleitungen stellen eine kostengünstige Alternative zu Freispiegelleitungen dar und sind bei richtiger Berücksichtigung der Randbedingungen auch beherrschbar. Der an der TU Dresden untersuchte Lufttransport in Druckrohrleitungen führte zu einer neuen Formel für die Ermittlung der Grenzgeschwindigkeit zur Selbstentlüftung, die sich gut in die bisher durchgeführten wissenschaftlichen Untersuchungen zu diesem Thema einordnet.

Literatur

- Aigner, D.:** Freigefälledruckleitungen zur Abwasserüberleitung, KA Korrespondenz Abwasser 47 (2000) Nr. 6, S. 876-881, Info siehe: www.d-aigner.de
- Aigner, D.; Thumernicht, S.:** Geregelte Freigefälledruckleitungen zur Abwasserüberleitung. Wasserbauliche Mitteilungen Heft 21, TU Dresden, 2002
- Aigner, D.:** Hydraulische Bemessung von Freigefälledruckleitungen zum Abwassertransport. Merkblatt des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie. Mai 2003. <http://www.umwelt.sachsen.de/de/wu/umwelt/lflug/lflug-internet/documents/FGDL-Merkblatt2.pdf>
- ATV-A 118:** Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen. Arbeitsblatt der Abwassertechnischen Vereinigung, November 1999
- ATV-DVWK-A 110:** Hydraulische Dimensionierung und Leistungsnachweis von Abwasserkanälen und -leitungen. Regelwerk, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall, September 2001

- ATV-DVWK-A 117:** Bemessung von Regenrückhaltebecken. Regelwerk, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall, 2001
- Bollrich, Gerhard:** Technische Hydromechanik I, 5. Auflage. Verlag für Bauwesen Berlin 2000
- DVWG-Merkblatt W 403:** Planungsregeln für Wasserleitungen und Wasserrohrnetze. Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. Eschborn Jan. 1988
- Gandenberger, W.:** Über die wirtschaftliche und betriebssichere Gestaltung von Fernwasserleitungen, GWF Wasser, Abwasser 1957 Nr. 4, S. 206
- Hager, W. H.:** Abwasserhydraulik Theorie und Praxis, 1994
- Volkart, Peter:** Hydraulische Bemessung steiler Kanalisationsleitungen unter Berücksichtigung der Luftaufnahme. Mitt. Nr. 30 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich, 1978
- Wackernagel, G.; Schmidt, H.; Aigner, D.; Thumernicht, S.:** Geregelt Freigefälledruckleitung zur Abwasserüberleitung. KA - Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall 48 (2001) Nr.6, S. 844-847, Info siehe: www.d-aigner.de
- Walther, G. ; Günthert, F. W. :** Neue Untersuchungen zur Selbstentlüftungsgeschwindigkeit in Trinkwasserleitungen. gwf Wasser-Abwasser, 139 (1998) Nr. 8, S. 475-481. www.bauv.unibw-muenchen.de
- Wisner, P.E. et al.:** Removal of air from water lines by hydraulic means, Journ. of the hydraulic division, Proc. ASCE 101 HY2, 1975, S. 243-257

apl. Prof.Dr.-Ing. habil. Detlef Aigner
wissenschaftlicher Mitarbeiter am
Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik
an der Technische Universität Dresden
Laborleiter im Hubert-Engels-Labor
Tel.: 0351 46334725
E-Mail: detlef.aigner@tu-dresden.de
www.iwd.tu-dresden.de