Ergebnisse der linearen und feinblasigen Belüftung einer Druckleitung zur Vermeidung von Geruchsemissionen und Korrosion

Dipl.-Ing. Ute Urban, Prof. Dr. Andrea Heilmann, Dipl.-Ing. Jost Freystein

Key Words: Geruch, Druckleitung, Schwefelwasserstoff, Korrosion

Zusammenfassung

Im Artikel wird über die Ergebnisse der linearen Belüftung einer 7 km langen Druckleitung bei einem Abwasseralter von bis zu 17,5 Stunden berichtet. Bei niedrigen Temperaturen wurde eine Sauerstoffanreicherung festgestellt. In diesem Sommer mit bis zu 17 °C Abwassertemperatur wurden keine nennenswerten Geruchsemissionen am Ende der Druckleitung gemessen. Durch die lineare Dosierung reichte hier die Hälfte der nach ATV- M 168 ermittelten Luftmenge aus. Der maximal gemessene Sulfidwert lag bei 1,4 mg/l und unterschritt den Korrosionsschwellenwert. Damit konnte das Leistungsvermögen der linearen Belüftung im einjährigen störungsfreien Betrieb gezeigt werden. Im Artikel sind die Ergebnisse bis Juni detailliert ausgewertet und ein Kostenvergleich zu den Alternativen dargestellt.

1. Ausgangssituation

Die Verminderung von Geruchsemissionen aus Kanalnetzen stellt zunehmend ein Problem für Betreiber weitläufiger Kanalnetze dar. Die Ursachen für die Geruchsentstehung im Kanalnetz sind vielfältig, wie z. B. Ablagerungen, die Abwasserzusammensetzung und insbesondere lange Verweilzeiten in geschlossenen Systemen. Lange Aufenthaltszeiten führen zu Geruchsemissionen durch Bildung von unterschiedlichen Osmogenen. Die Gerüche entweichen am Übergabeschacht von der Druckleitung in den Freigefällekanal. Dies betrifft vornehmlich neu errichtete zentrale Abwassersystemen in den neuen Bundesländer. Der in der Planung angesetzte Abwasseranfall wird in der Praxis nicht erreicht, so dass es zur Alterung des Abwassers kommt. Deshalb werden nachträglich Maßnahmen zur Geruchsminderung notwendig, die gleichzeitig der Vermeidung der biogenen Schwefelsäurekorrosion (BSK) dienen.
Um Hinweise für Planung, Bau und Betrieb von Abwasserleitungen zu geben, wurde 1998 das ATV-Merkblatt 168 herausgegeben. Hier wird eine empirische Formel zur Berechnung des Sauerstoffbedarfs für den aeroben Betrieb von Druckleitungen genannt:

$$OV = 0{,}024 * [\pi \cdot D \cdot L(Z_{sh} + D/4\, Z_{abw}) - Q_{24}\, C_{O2}]$$

mit
- OV Sauerstoffverbrauch in kg/d
- D Rohrdurchmesser in m
- L Leitungslänge in m
- Z_{sh} Sauerstoffzehrung in der Sielhaut in g/m²h (bei 20 °C ca. 0,5 – 1,0 g/m²h)
- Z_{abw} Sauerstoffzehrung des Abwassers in g/m³h
- Q_{24} Förderstrom über 24 h gemittelt in m³/h
- c_{O2} Sauerstoffgehalt am Druckleitungsbeginn in mg/l

Zur Vermeidung der Korrosion und damit zur Werteerhaltung der Bauwerke wird eine Sauerstoffkonzentration von 1 mg/l am Auslauf der Druckleitung als ausreichend angegeben.

Die erforderlichen Größen, insbesondere die Sauerstoffzehrung der Sielhaut, sind aber meist in der Planungsphase nicht bekannt. Deshalb wird überschlägig ein Druckluftbedarf von 1 m³ Luft pro m³ Abwasser (ATV-M168) angegeben.

Lange Druckleitungen weisen nach dieser Berechnung einen hohen Sauerstoffbedarf auf, der nicht mehr durch die punktuelle Belüftung gedeckt werden kann. Aus diesem Grunde wurde bei den Untersuchungen der Schweriner Abwasserentsorgung ([1]) die konstruktive Sauerstoffanreicherung für das vermaschte Netz ausgeschlossen. Als Lösungstrategien kommen derzeit

- die Dosierung von Chemikalien,
- die Fremdwassereinspeisung,
- die Druckluftspülung
- die Installation von Biofiltern und
- die Verlängerung der Druckleitung

in Betracht. Diese sind meist mit hohen Investitions- oder Betriebskosten verbunden, so dass viele Betreiber nach günstigeren Strategien suchen. Dies ist nur durch sorgfältige Grundlagenarbeit und komplexe Betrachtung des Leitungssystems möglich.

Im Beitrag werden die Ergebnisse des Demonstrationsvorhabens zur linearen Dosierung von Luftsauerstoff in einer Druckleitung dargestellt, womit eine konstruktive Sauerstoffanreicherung auch bei hohem Luftbedarf möglich ist. Die lineare Behandlung zeigt eine Alternative auf, um das Problem nachhaltig und effizient zu lösen.

2. Theoretische Grundlagen

Zur Vermeidung von Geruchsemissionen ist die Verschiebung des Milieus in den aeroben Bereich erforderlich. Hierzu ist die Zufuhr von Sauerstoff erforderlich.
Bild 1 zeigt die Reaktionen von Schwefel im Kanal bei aerober und anaerober Kanalatmosphäre. Im aeroben Milieu kommt es nicht zur Ausgasung von flüchtigen Schwefelverbindungen, die zu Geruchsemissionen und Korrosion führen. In der Tiefe der Sielhaut und der Ablagerungen findet noch eine Sulfatreduktion statt. Diese Reaktionsprodukte werden unter aeroben Bedingungen vor dem Erreichen des Abwassers wieder oxidiert.

Die Sauerstofflöslichkeit ist unter Normbedingungen gering. Deshalb werden die physikalischen Möglichkeiten der Steigerung der Löslichkeit des Sauerstoffgases genutzt:

- Anreicherung des Volumenanteils des Sauerstoffs und
- Dosierung unter hohem Druck.

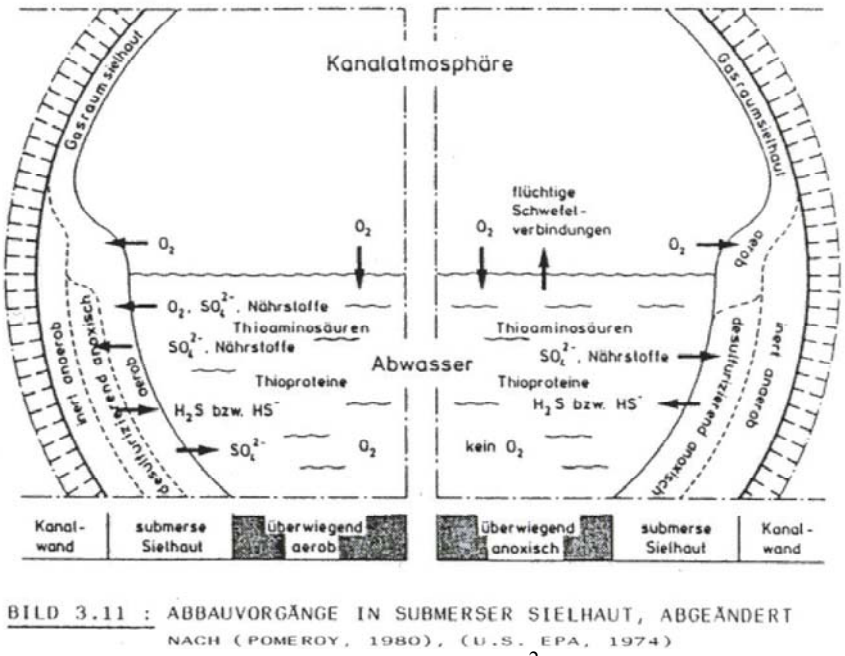

BILD 3.11 : ABBAUVORGÄNGE IN SUBMERSER SIELHAUT, ABGEÄNDERT NACH (POMEROY, 1980), (U.S. EPA, 1974)

Bild 1: Sulfatumsatz in Abwasserkanälen ([2])

Der erste Weg wird durch die Dosierung von Reinsauerstoff beschritten. Die zweite Variante ist durch eine direkte Dosierung in der Druckleitung realisierbar. Die Tabelle 1 zeigt die Sättigungskonzentrationen des Sauerstoffes aus Luft unter Variation des Umgebungsdruckes bei 10 und 20 °C Abwassertemperatur. Hohe Drücke ermöglichen eine höhere Sättigungskonzentration.
Bei Veränderung der Umgebungsbedingungen gast der gelöste Sauerstoff aus und steht im weiteren Verlauf der Leitung nicht mehr für den Stoffwechsel der Bakterien zur Verfügung. Somit ist mit der Anreicherung des Sauerstoffs nur bedingt eine Depotdosierung, wie bei Chemikalien, möglich.

Druck im System (mbar)	1013	1500	3000	5000	6000	7000
Temperatur in ° C	Sauerstoff - Sättigungskonzentration in mg/l					
10	10,9	16,2	32,3	53,9	64,7	75,4
20	8,9	13,2	26,3	43,8	52,6	61,4

Tabelle 1: Sättigungskonzentration von Luftsauerstoff in Wasser für verschiedene Umgebungsdrücke und Temperaturen (nach [3])

Der Sauerstoffanteil des zugeführten Gases geht direkt proportional in die Sättigungskonzentration ein. Somit können die in Tabelle 1 angegebenen Konzentrationen bei Dosierung von Reinsauerstoff noch um den Faktor 5 erhöht werden.

3. Demonstrationsvorhaben Oberharz

Die Abbildung 1 zeigt die Druckrohrleitung des WAZV Oberharz, wo die lineare Luftsauerstoffdosierung angewendet wird. Die Aufenthaltszeit in der Leitung beträgt durchschnittlich 2 Stunden. Das Abwasser wird in den angeschlossenen Orten in Freigefällesystemen gesammelt, so dass insgesamt von einer Fließzeit von ca. 17,5 Stunden ausgegangen wird ([4]).
Nach der ATV M 168 wird ein Sauerstoffgehalt von 1 mg/l am Auslauf der Druckleitung vorgegeben. Für die hier untersuchte Druckleitung wird somit eine Sauerstoffmenge von 242

kg pro Tag benötigt. Um diese Menge in das Abwasser einzutragen, wäre es notwendig bei üblicher Sättigungskonzentration von 10 mg O_2/l eine Abwassermenge von ca. 27.000 m³/d zu behandeln. Auf der hier betrachteten Strecke werden allerdings nur 1600 – 5500 m³ pro Tag gefördert. Somit ist unter Normbedingungen eine Sauerstoffdosierung nur bei der maximalen Fördermenge und durch die Dosierung von Reinsauerstoff möglich.

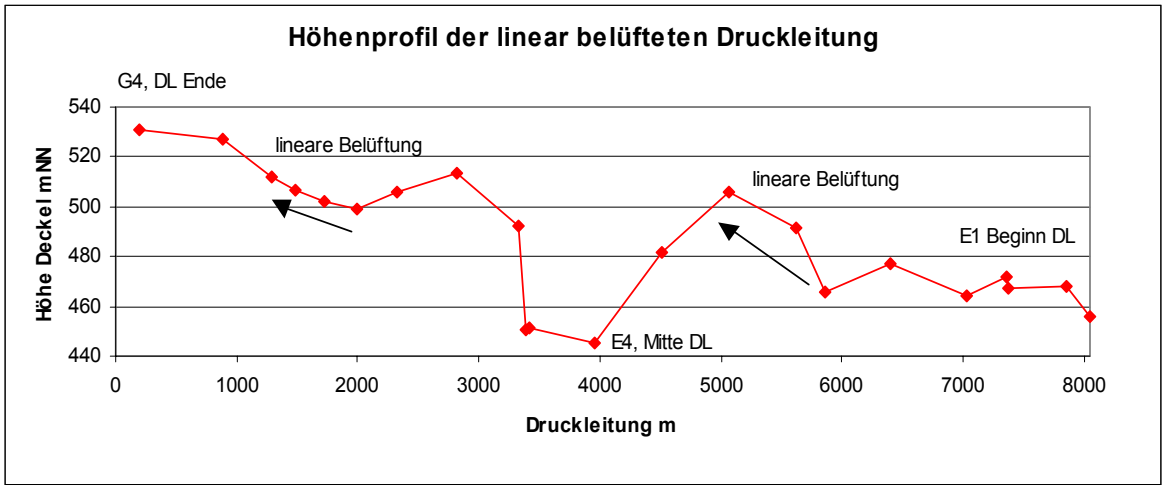

Abbildung 1: Höhenprofil der Leitung, PE-HD 355x32,2 PN 16, Volumen 350 m³, Länge 7380 m, 4 Belüftungsventile, (lineare Belüftungsstrecken mit Pfeilen gekennzeichnet)

Die lineare Dosierung in der Druckleitung kann die erforderliche Luftmenge reduzieren. Der Wasser- und Abwasserverband Oberharz entschied sich deshalb aus wirtschaftlichen Überlegungen dafür die lineare Dosierung von Luftsauerstoff in der Druckleitung zu testen.

Durch die Dosierung direkt in die Druckleitung bei einem Überdruck von 3 bzw. 6 bar ist die Löslichkeit des Luftsauerstoffs 3-6 mal höher als bei Normaldruck und entspricht somit der Löslichkeit von Reinsauerstoff. Dazu wurde ein Schlauch in die Druckleitung eingebracht, der durch die Art der Lochung über die gesamte Länge eine konstante Luftmenge dosiert.

Die berechneten Luftmengen für die lineare Dosierung sind gegenüber den Berechnungen nach ATV M 168 um ca. 50 % niedriger, da die Sauerstoffzehrung, insbesondere der Sielhaut, auf niedrigem Niveau gehalten wird. Die Dosierung in der Druckleitung unterdrückt die anaeroben Prozesse, da kontinuierlich ausreichend Sauerstoff zur Verfügung steht. Somit stellt die lineare Belüftung von Luftsauerstoff auch bei hohem Sauerstoffbedarf eine Alternative zur Chemikaliendosierung dar.

3.1 Ergebnisse aus den vorliegenden Analysen

Seit Dezember 2002 sind die beiden oben gekennzeichneten Belüftungsstrecken auf einer Länge von 1100 und 830 m in Betrieb. Es werden gleichmäßig über die Länge des in die Druckleitung eingebrachten Schlauches 375 l/min Luft dosiert.
Die Analysen im April und Juni bei Abwassertemperaturen von 8 – 13 ° C zeigen eine Zunahme des gelösten Sauerstoffs im Abwasser in der Druckleitung um 0,4 – 3,6 mg/l auf. Damit ist derzeit eine Überdosierung gegeben und die Zehrung des Sauerstoffs durch die Sielhaut und das Abwasser werden durch das System mehr als gedeckt. Der Sauerstoffgehalt am Druckleitungsende beträgt derzeit zwischen 2,6 und 7,5 mg/l und ist somit deutlich höher als der nach ATV-M 168 genannte Wert von 1 mg/l. Somit kann der dosierte Sauerstoff im weiteren Verlauf der Leitung aufgezehrt werden und unterdrückt die anaeroben Prozesse in den nachfolgenden Haltungen.

Die Abbildung 2 zeigt die Sauerstoffkonzentration im Verlauf der Druckleitung in Abhängigkeit der Abwassertemperatur. Hieraus wird deutlich, dass die Sauerstoff-konzentration am Ende der Druckleitung (G 4) höher ist, als am Beginn (E 1). Der Verlauf der Sauerstoffkonzentration über der Temperatur am Beginn und am Ende der Druckleitung ist parallel fallend. Durch die lineare Belüftung wird die Sauerstoffkonzentration auf ein insgesamt höheres Niveau gehoben.

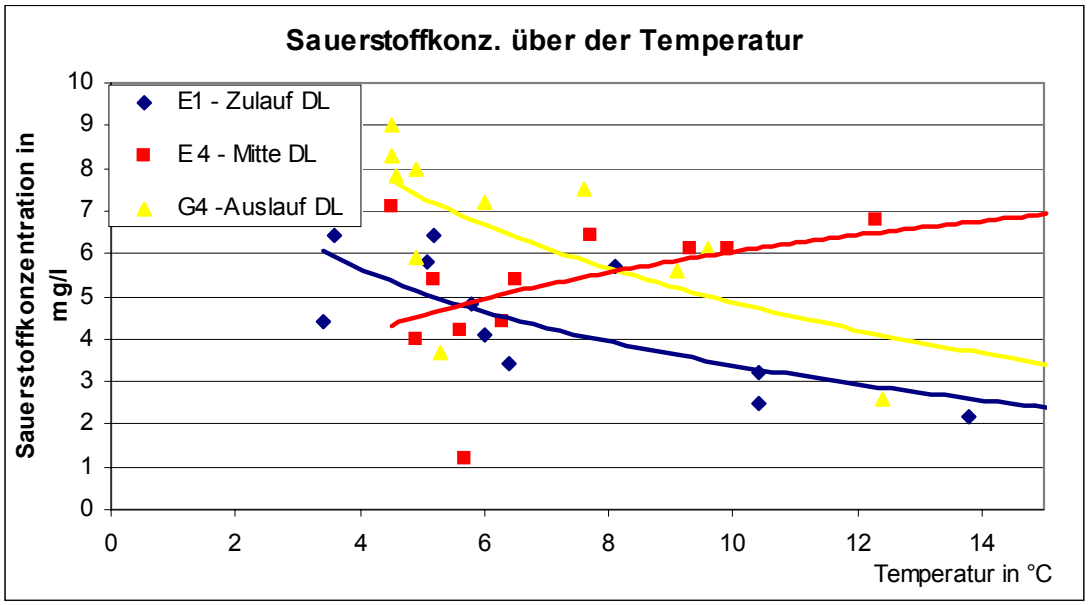

Abbildung 2: Sauerstoffkonzentration über der Abwassertemperatur an verschiedenen Abschnitten der Druckleitung,
E1: Beginn der Druckleitung, Pumpensumpf
E4: Düker Rappbode: Druckleitung nach 4 km,
G4:Gasungsschacht am Druckleitungsende

Seit Inbetriebnahme der linearen Belüftung wurden keine H_2S-Emissionen mehr nachgewiesen. Der maximale Sulfidgehalt wurde mit 0,13 mg/l und 39 mg/l Sulfat gemessen. Diese Werte liegen weit unter den durchschnittlichen Gehalten von kommunalem Abwasser, der von Lohse ([5]) mit 250 mg/l Sulfat angegeben wird.

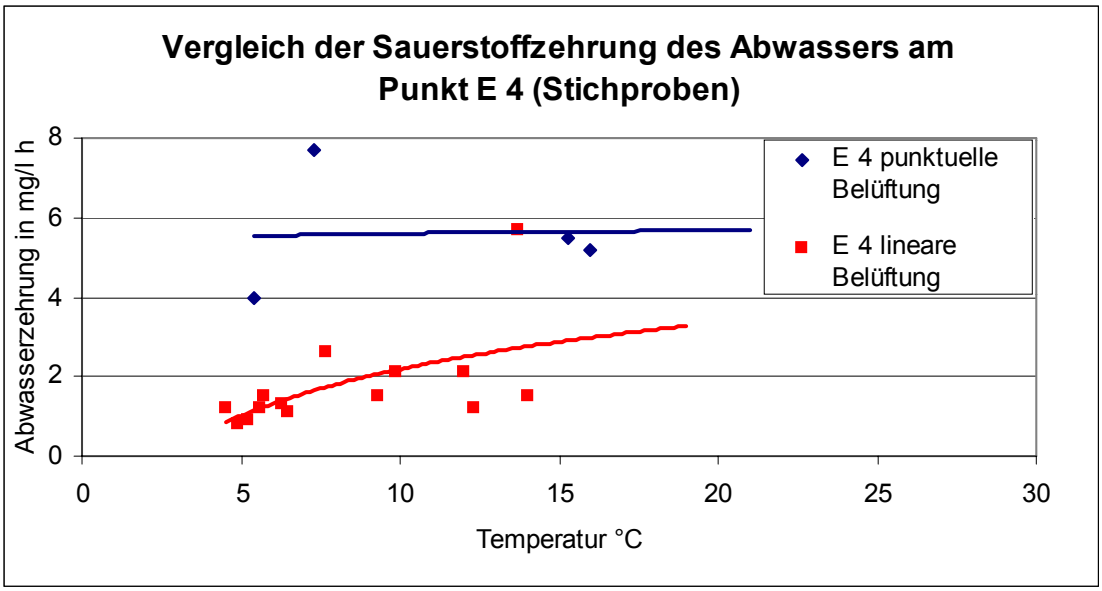

Abbildung 3: Sauerstoffzehrung am Rappbodedüker bei Betrieb der punktuellen Belüftung im Vergleich zu linearen Belüftung über der Abwassertemperatur

Die Abbildung 3 zeigt den Vergleich der Sauerstoffzehrung von linearer und punktueller Belüftung. Es wird deutlich, dass die lineare Belüftung eine Absenkung der Sauerstoffzehrung im Abwasser bewirkt und somit zu einem verminderten Luftbedarf führt.
Die Sauerstoffzehrung des Abwassers wurde auf ca. 2,5 mg/l h reduziert und entspricht frischem Abwasser ([6]). Entsprechend einer logarithmischen Entwicklung der Sauerstoff-zehrung wird der Wert von frischem Abwasser mit 4mg/l h auch bei 20 °C Abwassertemperatur nicht überschritten. Damit wird die für die Auslegung verwendete Annahme eines niedrigeren Sauerstoffbedarfs und die vorgestellten theoretischen Überlegungen bestätigt.

Bisher liegen die Analysenergebnisse bis 13,8 °C Abwassertemperatur vor. Deshalb muß die angesetzte Trendentwicklung noch durch weitere Analysen bestätigt werden.

4. Ausblick

Die Analysenergebnisse des Demonstrationsvorhabens zeigen die Leistungsfähigkeit und Effektivität der linearen Belüftung.
Nach Lohse ([7]) werden für die Dosierung von 1 kg Sauerstoff ca. 1-2 kWh Energie benötigt. Durch die lineare Dosierung ist eine Reduzierung der Luftmenge auf ca. 50 % möglich. Hierfür fallen ca. 8.800 Euro pro Jahr Stromkosten (0,10 Euro/kWh) an. Bei üblichen Belüftungssystemen sind die jährlichen Kosten etwa doppelt so hoch.
Eine Dosierung von Chemikalien würde nach Hochrechnungen aus den Angaben von ([8]) für das hier vorgestellte Beispiel jährlich ca. 25.000 – 50.000 Euro kosten.
Aufgrund dieses Einsparpotentials ist für jeden Betreiber eine Untersuchung sinnvoll, wo die lineare Dosierung geeignet ist.

Um die Ergebnisse aus dem Demonstrationsvorhaben übertragbar zu machen, sind weitere Untersuchungen erforderlich. In erster Linie soll die Vorhersage des tatsächlichen Sauerstoffbedarfs verbessert werden. Das Ziel ist, für die Planung Grundlagen zu schaffen, um eine Vermeidung von Geruch und Korrosion in dieser Phase zu berücksichtigen und damit der biogene Schwefelsäurekorrosion in neuen Leitungen vorzubeugen. Als Methode soll

Simulationssoftware für die Abbauprozesse, vgl. dynamische Simulation von Kläranlagen, eingesetzt werden.

Für die Nachrüstung der linearen Belüftung sind die hydraulischen Verhältnisse in der Druckleitung und der Betriebspunkt der Pumpe in der Konzeptionsphase genau aufzunehmen, um die Auswirkung auf die Förderleistung zu reduzieren. Die Auswahl des geeigneten Einbauortes soll durch die Ermittlung von Parametern spezifiziert werden.
Zudem wurde ein CSB-Abbau durch die Belüftung beobachtet. Die Auswirkung auf die Reinigungsleistung der Kläranlage, insbesondere im Hinblick auf den Verbrauch von Kohlenstoffverbindungen, soll weiter untersucht werden. Dabei ist ein besonderes Augenmerk auf die korrosiven Stoffwechselprodukte zu legen. Hierfür werden noch Partner und Fördermittelgeber gesucht, die diese Untersuchung unterstützen.

---

[1] Lange, Reinhardt (2002). Betriebliche Probleme und Lösungsansätze bei Geruch und Korrosion im Abwassersystem, KA – Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall, Jahrgang 49, Nr. 3
[2] Lohse, Manfred (1986). Schwefelverbindungen in Abwasserableitungsanlagen unter besonderer Berücksichtigung der biogenen Schwefelsäurekorrosion, s. 41 f., Veröffentlichungen des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik, Universität Hannover, Heft 62
[3] Lohse, Manfred (1986). Schwefelverbindungen in Abwasserableitungsanlagen unter besonderer Berücksichtigung der biogenen Schwefelsäurekorrosion, s. 41 f., Veröffentlichungen des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik, Universität Hannover, Heft 62
[4] Saake, M. (2002) Interner Zwischenbericht 01.08.02, Aqua Consult GmbH, Hannover
[5] Lohse, Manfred (2002). Korrosionsprobleme in Abwasseranlagen, in: KAN2002, ATV-Landesverband Nord-Ost
[6] Ecker, Ernst (2003). Geruchsprobleme auf Kläranlagen, KA-Betriebs-Info, 33. Jg., 02/2003, S. 1145 ff.
[7] Lohse, Manfred (1986). Schwefelverbindungen in Abwasserableitungsanlagen unter besonderer Berücksichtigung der biogenen Schwefelsäurekorrosion, Veröffentlichungen des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik, Universität Hannover, Heft 62
[8] Barjenbruch, Matthias (2003). Strategien und Verfahren zur Verminderung von Geruch und Korrosion in Abwassernetzen, in: Tagungsband: ATV-Seminar Nord-Ost: Geruch und Korrosion im Kanal und auf der Kläranlage, 27. März 2003, Halle

---

Kontakt:

Hochschule Harz
REGIONA
Frau. Prof. Heilmann/Frau Urban
Friedrichstr. 57-59
38855 Wernigerode
uurban@hs-harz.de
www.regiona.net