

# **WIENER MITTEILUNGEN**

**WASSER • ABWASSER • GEWÄSSER**

## **Zur Kenntnis der Schwefelwasserstoffbildung und -vermeidung in Abwasserdruckleitungen**

**Ernis SARAČEVIĆ**

**Band 211 - Wien 2009**

# **WIENER MITTEILUNGEN**

**WASSER • ABWASSER • GEWÄSSER**

**Band 211**

## **Zur Kenntnis der Schwefelwasserstoffbildung und -vermeidung in Abwasserdruckleitungen**

**Ernis SARAČEVIĆ**

Herausgeber  
O.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Dr.h.c. Helmut Kroiss  
Technische Universität Wien  
Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement  
und Abfallwirtschaft

Dissertationsschrift zur Erlangung des akademischen Grades  
eines Doktors der technischen Wissenschaften  
an der Technischen Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen



Institut für Wassergüte,  
Ressourcenmanagement  
und Abfallwirtschaft  
TU- Wien

Karlsplatz 13 / 226  
1040 Wien

Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft  
Karlsplatz 13/226; 1040 Wien  
Tel: + 43 1 58801 - 22611  
Fax: + 43 1 58801 - 22699  
Mail: [iwag@iwag.tuwien.ac.at](mailto:iwag@iwag.tuwien.ac.at)

Alle Rechte vorbehalten.

Ohne Genehmigung der Herausgeber ist es nicht gestattet,  
das Buch oder Teile daraus zu veröffentlichen

© Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft TU-Wien, 2009

Druck: Riegelnik  
1080, Piaristengasse 19

ISSN 0279 - 5349  
ISBN ISBN 978-3-85234-103-3

## Vorwort

In den letzten Jahren wurden vor Allem in den flachen Gebieten im Osten Österreichs zahlreiche Abwasserdruckleitungen gebaut. In diesen Druckleitungen kommt es zu anaeroben Umsetzungen, die neben der Bildung von organischen Säuren vorwiegend durch die Bildung von Schwefelwasserstoff durch Desulfurikation gekennzeichnet sind.

Leiten diese Druckleitungen in eine Freispiegelkanalisation ein oder werden sie direkt bis zur Kläranlage geführt, so kommt es durch das Ausgasen von Schwefelwasserstoff zu massiven Geruchs- und Korrosionsproblemen. Die Korrosion wird vor Allem durch die Vorgänge im natürlichen Schwefelkreislauf verursacht, bei denen es zur Lösung von Schwefelwasserstoffgas in kondensiertem Wasser und dort zur Bildung von Schwefelsäure kommt. Diese Schwefelsäure führt in dem ungepufferten Kondenswasser zu extrem niedrigen pH-Werten, die in der Kanalisation bzw. auf der Kläranlage massive Schäden an Bauwerken und abwassertechnischen Einrichtungen verursachen können. Werden die beschriebenen Vorgänge nicht hintangehalten, so ist mit großen Auswirkungen auf Kanalisation und Kläranlage zu rechnen, die hohe Folgekosten verursachen können.

Herr Dipl.Ing.Dr. Saracevic hat sich in seiner Dissertation diesem in Österreich aber auch in zahlreichen anderen Ländern bedeutendem Problem gewidmet. In mehreren bestehenden Abwasserdruckleitungssystemen wurden im Verlauf seiner Arbeit die unterschiedlichen in der Literatur behandelten Bekämpfungsmaßnahmen angewendet und hinsichtlich ihrer technischen Umsetzbarkeit, Wirkung und Kosten untersucht.

Die wesentlichen Verdienste in der Arbeit von Dipl.Ing.Dr. Saracevic sind in der Methodik der technischen Umsetzung zu sehen, da er in einer Vielfalt von vorherrschenden Prozessbedingungen die Wirksamkeit der Bekämpfungsmaßnahmen im praktischen Versuch im technischen Maßstab an verschiedenen Druckleitungen unterschiedlicher Größe und Länge feststellen konnte. Im Gegensatz zu den in der Literatur oft im Labormaßstab durchgeführten Untersuchungen sind seine Untersuchungen mit größter Nähe zur Praxis erfolgt, und die erzielten Ergebnisse können daher direkt zu Aussagen für den praktischen Einsatz genutzt werden.

Nach der Darstellung der praktischen Untersuchungsergebnisse folgt eine kritische Betrachtung der unterschiedlichen Bekämpfungsmaßnahmen in technischer und wirtschaftlicher Hinsicht. Anders als bisherige Untersuchungen, die den Chemikalienverbrauch und die daraus resultierenden Kosten überwiegend auf die Menge des behandelten Abwassers beziehen, entwickelt Dipl. Ing. Saracevic eine Methode, bei der als Basis für die Vergleichbarkeit das Sulfidbildungspotential und die spezifischen Kosten bezogen auf den entfernten bzw. vermiedenen Schwefelwasserstoff herangezogen werden.

Die verschiedenen in der Literatur beschriebenen Modelle für die Abschätzung der Sulfidbildung sind in sehr unterschiedlichen Regionen der Erde entwickelt worden, und sind vor allem wegen der klimatischen Unterschiede nur begrenzt auf ein mitteleuropäisches Klima anwendbar. Daher entwickelt er aufgrund seiner zahlreichen Messdaten der unterschiedlichen untersuchten Druckleitungen ein neues Modell für die Abschätzung des Sulfidbildungspotenzials, das für die Dimensionierung einer Chemikalien- bzw. Luftdosierung herangezogen werden kann. Dieses Modell bildet eine sehr gute allgemeine Beurteilungsgrundlage für österreichische Verhältnisse.

Herr Dipl. Ing. Dr. Ernis Saracevic hat sowohl in der Methodik der praktischen Bekämpfung von Sulfid in Druckleitungen, wie auch bei der Beurteilung in technischer und wirtschaftlicher Hinsicht neue Verfahren entwickelt, die eine wesentlich bessere Basis für die technische Anwendbarkeit der verschiedenen Bekämpfungsmaßnahmen liefert. Mithilfe des von ihm entwickelten neuen Berechnungsverfahrens zur Abschätzung des Sulfidbildungspotenzials hat er schließlich wesentliche Grundlagen für eine bessere Ausgangsbasis für die Bemessung technischer Einrichtungen zur Sulfidbekämpfung erarbeitet.

Die Arbeit wurde im Rahmen des Forschungsprojektes KUGPIA erstellt (siehe auch Wiener Mitteilungen Band 205). Durch die Drucklegung der Dissertation in der Reihe der Wiener Mitteilungen wird diese wichtige Arbeit nunmehr auch der interessierten Fachwelt im vollen Umfang zugänglich.

## **Kurzfassung**

In Abwasserdruckleitungen herrschen optimale Bedingungen für die Schwefelwasserstoffbildung, die hauptsächlich von der Abwasserzusammensetzung, Temperatur des Abwassers, Aufenthaltszeit und Abwesenheit von Sauerstoff und Nitrat abhängt. Verantwortlich für diesen Prozess sind die sulfatreduzierenden Bakterien, die mit anderen Mikroorganismen an den Wandungen, in der sogenannten Sielhaut eingebettet sind. Schwefelwasserstoff kann in die Atmosphäre austreten und mehrere Probleme wie Geruchsbelästigung, Gefährdung für das Betriebspersonal und Korrosion von Anlagen und Bauwerken sowie elektrischen Systemen auslösen.

Nach einer Diskussion über die chemischen Eigenschaften von Schwefelwasserstoff und seine analytische Bestimmung in der Gas- und Flüssigkeitsphase werden die Auswirkungen des Schwefelwasserstoffs auf den Menschen und auf die Einrichtungen der Kanalisation bzw. der Kläranlagen behandelt.

Für die Bekämpfung von Schwefelwasserstoff wurden mechanische Methoden (Molchung und Anwendung von Druckluft) sowie chemische Methoden (Anwendung von Eisensalzen, Nitratsalze und Kalk) an unterschiedlichen bestehenden Druckleitungen unter verschiedenen Einsatzbedingungen in der Praxis untersucht und hinsichtlich ihrer Anwendungstechnik und der Wirtschaftlichkeit ihres Einsatzes unter Berücksichtigung der erforderlichen Betriebskosten charakterisiert. Für eine erfolgreiche Vermeidung einer Schwefelwasserstoffbildung in Druckleitungen fallen mindestens Zusatzkosten von 0,03 bis 0,05 € pro m<sup>3</sup> geförderten Abwassers an.

Für bestehende Druckleitungen empfiehlt sich die Dosierung von Chemikalien, die auch leicht nachrüstbar ist. Für die Auswahl der Chemikalien zur Schwefelwasserstoffbekämpfung müssen die lokalen Verhältnisse, die für die Berechnung des Sulfidbildungspotenzials und damit für den erforderlichen Chemikalieneinsatz dienen, und die jeweiligen Chemikalienkosten herangezogen werden.

Die klassische Molchung ist wegen der kurzfristigen Wirkung und den hohen Kosten für die Durchführung nur bedingt einsetzbar und kann durch die preiswertere Molchung unter Einsatz von Blähton in Kombination mit chemischen Bekämpfungsmethoden ersetzt werden.

Bei Errichtung neuer Druckleitungen ist die Wirtschaftlichkeit des Einbaus einer Druckluftförderung (pneumatische Förderung) oder einer Druckluftspülung zu überprüfen. Besonders in Fällen, bei denen konzentriertes Abwasser mit einem hohen Sulfidbildungspotenzial in Leitungen mit geringem Durchmesser gefördert werden soll, ist die Anwendung von Druckluft beim Betrieb der Leitungen zu empfehlen. Ein nachträglicher Einbau kommt für die pneumatische Förderung nicht in Frage; bei dem Verfahren mit Druckluftspülung ist auch ein nachträglicher Einbau möglich.

Die unterschiedlichen Berechnungsmodelle für die Sulfidbildung aus der Literatur werden mit den Ergebnissen eigener Untersuchungen verglichen. Den eigenen Messwerten von Sulfid in Druckleitungen kommen die nach Boon und Lister (1975) bzw. nach Hadjianghelou (1984) berechneten Werte am nächsten und wurden daher für Voraussagen hinsichtlich der Sulfidbildung unter Verhältnissen in Österreich verwendet. Auf Grund dieser Berechnungen war es möglich, Anlagen für die Bekämpfung von Schwefelwasserstoff zu dimensionieren und deren Betriebsmitteleinsatz gut abschätzen.

Da die nach den Modellen aus der Literatur gerechneten Sulfidkonzentrationen oft starke Abweichungen von den praktisch ermittelte Werten ergaben, wurde mit den Daten der untersuchten Druckleitungssysteme ein Modell entwickelt, das für österreichische Verhältnisse gut geeignet ist.

## Summary

Pressure pipes for waste water transport favour the formation of hydrogen sulphide, which depends mainly on wastewater composition, temperature, retention time and absence of oxygen and nitrate. This process is performed by sulphate-reducing bacteria, which are embedded, together with other micro organisms, in the biofilm at the inner surface of the pipes. Hydrogen sulphide diffuses easily into the atmosphere and can then lead to several problems such as odour nuisance, endangerment for the humans and corrosion problems.

As a first step the chemical characteristics of hydrogen sulfide and its analytical identification in the gas and liquid phase are being discussed, followed by the effects of hydrogen sulphide on humans and on sewer systems and/or wastewater treatment plants.

To combat hydrogen sulphide, mechanical methods (pigging, use of compressed air) as well as chemical methods (iron salts, nitrate salts and lime) were examined in different already existing pressure pipes under different operating conditions, also regarding their application technology and the economy with consideration of the necessary operating costs. To be able to successfully avoid the formation of hydrogen sulphide in pressure pipes, additional costs of 0,03 to 0,05 € per m<sup>3</sup> discharged wastewater have to be considered.

In existing pipes the treatment with chemicals is recommended, which can be easily re-fitted. For the choice of the chemicals to be used to combat hydrogen sulphide, it is necessary to calculate the sulphide formation potential under local conditions, which makes it then possible to estimate the amount and costs of chemicals required. The conventional pigging is, due to its short effect and high costs, only partly applicable, but can be replaced by a more economical version with expanded clay in combination with chemical methods. With the implementation of new pressure pipes the economy of the installation of compressed air transport (pneumatic transport) for wastewater or an air injection should be tested. The use of compressed air is especially recommended in cases where wastewater with a high sulphide formation potential has to be transported in pipes with a small diameter. Implementation of pneumatic transport in existing pressure pipes is not practicable; however the process with air injection in existing pressure pipes can be added.



Results of investigations on hydrogen sulphide production were compared with various computation models from the literature. Operational data of sulphide in pressure pipes are in relatively good accordance with the models from Boon and Lister (1975) and/or Hadjianghelou (1984) and were used for the prediction of chemical dosing under Austrian conditions. Based on these calculations it was possible to predict the chemical dosage for the abatement of hydrogen sulphide.

Since the prediction of sulphide formation with the existing models often strongly deviated from practically obtained values, it was possible to develop a model based on the data of the examined pressure pipes suitable for Austria.

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>1. EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG</b>	<b>1</b>
<b>2. THEORETISCHE GRUNDLAGEN UND STAND DES WISSENS</b>	<b>4</b>
<b>2.1. CHEMISCHE EIGENSCHAFTEN VON SCHWEFELWASSERSTOFF</b>	<b>4</b>
<b>2.2. BILDUNG VON SCHWEFELWASSERSTOFF</b>	<b>6</b>
<b>2.2.1. MIKROBIOLOGISCHE GRUNDLAGEN</b>	<b>6</b>
<b>2.2.2. BILDUNG VON SCHWEFELWASSERSTOFF IM KANAL</b>	<b>10</b>
<b>2.3. BESTIMMUNGSMETHODEN VON SCHWEFELWASSERSTOFF</b>	<b>16</b>
<b>2.3.1. PROBENVORBEREITUNG</b>	<b>18</b>
<b>2.3.2. QUALITATIVE METHODE</b>	<b>19</b>
<b>2.3.3. QUANTITATIVE METHODE</b>	<b>19</b>
2.3.3.1. Messung in wässrigen Medien	19
2.3.3.1.1. Photometrische Methode	19
2.3.3.1.2. Ionensensitive Messung	21
2.3.3.1.3. Direkte spektrometrische Sulfidmessung	24
2.3.3.2. Messung in der Gasphase	31
<b>2.4. WIRKUNGEN VON SCHWEFELWASSERSTOFF</b>	<b>36</b>
<b>2.4.1. TOXISCHE WIRKUNG</b>	<b>36</b>
2.4.1.1. Aufnahme und Wirkungsweise	36
2.4.1.2. Symptome	37
<b>2.4.2. GERUCH</b>	<b>38</b>
<b>2.4.3. KORROSIONSWIRKUNG VON SCHWEFELWASSERSTOFF</b>	<b>40</b>
2.4.3.1. Chemische Korrosion von Schwefelwasserstoff	41
2.4.3.2. Anaerobe Biokorrosion	43
2.4.3.3. Aerobe Biogene Schwefelsäurekorrosion (BSK)	44
<b>2.5. BEKÄMPFUNG VON SCHWEFELWASSERSTOFF</b>	<b>46</b>
<b>2.5.1. SELHAUTENTFERNUNG DURCH MECHANISCHE REINIGUNG VON DRUCKLEITUNGEN</b>	<b>46</b>
2.5.1.1. Klassische Molchung	47
2.5.1.2. Leca Molchung	48
<b>2.5.2. VERMEIDUNG DER SCHWEFELWASSERSTOFFPRODUKTION</b>	<b>49</b>
2.5.2.1. Dentrifikation	49
2.5.2.2. Kalkdosierung	52
<b>2.5.3. SCHWEFELWASSERSTOFF ENTFERNUNG</b>	<b>53</b>
2.5.3.1. Fällung mit Metallsalzen	53
2.5.3.2. Chemische- und Mikrobiologische Sulfidoxidation mit Sauerstoff	56
<b>3. PRAKTISCHE UNTERSUCHUNGEN ZUR BEKÄMPFUNG VON SCHWEFELWASSERSTOFF IN ABWASSER-DRUCKLEITUNGEN</b>	<b>59</b>

<b>3.1.</b>	<b>BESCHREIBUNG DER UNTERSUCHTEN ANLAGEN</b>	<b>59</b>
<b>3.2.</b>	<b>UNTERBINDUNG DER SCHWEFELWASSERSTOFFPRODUKTION</b>	<b>64</b>
<b>3.2.1.</b>	<b>KLASSISCHE MOLCHUNG</b>	<b>64</b>
<b>3.2.2.</b>	<b>LECA-MOLCHUNG UND EINSATZ VON TENSIDEN</b>	<b>69</b>
<b>3.2.3.</b>	<b>KALKDOSIERUNG</b>	<b>76</b>
<b>3.3.</b>	<b>AKTIVE SCHWEFELWASSERSTOFF BEKÄMPFUNG DURCH ZUGABE VON CHEMIKALIEN</b>	<b>79</b>
<b>3.3.1.</b>	<b>NITRATZUGABE</b>	<b>79</b>
3.3.1.1.	Ergebnisse der Dosierung von Kalziumnitrat	83
<b>3.3.2.</b>	<b>ZUGABE VON EISENSALZEN</b>	<b>88</b>
3.3.2.1.	Dosierung von Eisenchlorid	89
3.3.2.2.	Versuche auf ABA Guntramsdorf– Dosierung von Eisensalzen	92
3.3.2.3.	Berechnung der erforderlichen Dosierung von Eisensalzen zur Sulfidbekämpfung	93
3.3.2.4.	Nebenwirkung der Dosierung von Eisenmittel für Sulfid-behandlung auf die Phosphorfällung	99
<b>3.3.3.</b>	<b>EISENITRAT</b>	<b>102</b>
<b>3.4.</b>	<b>VERSUCHE MIT DRUCKLUFT</b>	<b>105</b>
<b>3.4.1.</b>	<b>PNEUMATISCHER ABWASSERTRANSPORT</b>	<b>105</b>
<b>3.4.2.</b>	<b>LUFTSPÜLUNG</b>	<b>109</b>
<b>3.5.</b>	<b>ALTERNATIVE MAßNAHMEN</b>	<b>114</b>
<b>3.5.1.</b>	<b>GERUCHSVERMEIDUNG</b>	<b>114</b>
3.5.1.1.	Einsatz von Biofilter zur Abluftbehandlung	114
3.5.1.2.	Dosierung von Rücklaufschlamm in belüfteten Sandfang	116
<b>3.5.2.</b>	<b>GERUCHSBEURTEILUNG</b>	<b>117</b>
3.5.2.1.	Molekularbiologische Untersuchungen (Sielhaut)	122
<b>4.</b>	<b>DISKUSSION UND SCHLUSSFOLGERUNGEN</b>	<b>124</b>
<b>4.1.</b>	<b>ALLGEMEINES</b>	<b>124</b>
<b>4.2.</b>	<b>ERGEBNISSE UND BEURTEILUNG DER UNTERSUCHTEN BEHANDLUNGSVERFAHREN</b>	<b>127</b>
<b>4.2.1.</b>	<b>AUFWAND UND KOSTEN DER UNTERSUCHTEN BEHANDLUNGSVERFAHREN</b>	<b>128</b>
4.2.1.1.	Allgemeine Betrachtungen unter Verwendung der bestehenden Modelle	128
4.2.1.2.	Entwicklung eines neuen Modellansatzes zur Abschätzung des Sulfidbildungspotentials in Druckleitungen	132
4.2.1.2.1.	Vorgangsweise	132
4.2.1.2.2.	Ergebnisse	135
4.2.1.3.	Kostenvergleich verschiedener Methoden zur Sulfid Bekämpfung	139
4.2.1.4.	Kostenvergleichsrechnung: Pneumatischer Abwassertransport beim Hauptsammler Ringelsdorf-Niederabsdorf und Abwassertransport mit Abwasserpumpen und Behandlung mit Nutriox	147
4.2.1.5.	Anwendungskriterien für den Einsatz unterschiedlichen Behandlungsverfahren	152
<b>5.</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>159</b>
<b>6.</b>	<b>LITERATUR</b>	<b>162</b>