

# Geruchsbelästigungen im Entsorgungsbereich der Kläranlage Rübeland

Oktober 2002

## **Auftraggeber:**

Wasser- und Abwasserzweckverband „Oberharz“, Susenburgerstr. 14, 38875 Elbingerode

## **Bearbeiter:**

Dr. Ernst Ecker, Diplom-Chemiker

Laborgesellschaft für Umweltschutz mbH

67433 Neustadt an der Weinstraße

<u>Inhaltsverzeichnis</u>	<u>Seite</u>
<b>1. Vorgang</b>	3
<b>2. Probleme mit Gerüchen in Kanälen und Druckrohrleitungen</b>	3
2.1 Allgemeine Situation	3
2.2 Schwefel-, Stickstoff- und Arsenverbindungen	3
2.3 Umsatzgeschwindigkeiten, Sauerstoffzehrung	4
2.4 Auswirkungen der Anfaulung von Abwasser	5
2.5 Geruchsbelästigungen, Vermeidungsstrategien	6
2.6 Konkrete abwassertechnische Überlegungen	6
<b>3. Belüftung eines Druckleitungsabschnittes mit dem DRAUSY-System</b>	7

## 1. Vorgang

Der Wasser- und Abwasserzweckverband „Oberharz“ betreibt ein ausgedehntes Kanalnetz mit Freispiegel- und Druckrohrleitungen zum Sammeln des Abwassers, um es dann in der Kläranlage Rübeland entsprechend dem Stand der Technik mechanisch-biologisch zu reinigen. Im Bereich des weitläufigen Abwassernetzes gibt es nicht nur sich selbst belüftende (ausreichend kurzer Haltungsabstand) Freispiegelleitungen sondern auch zum Teil sehr lange Druckrohrleitungen, in denen das Abwasser sehr lange (> 2 Stunden) ohne Sauerstoffzufuhr verbleibt. Nach Inbetriebnahme dieser Druckrohrleitungen kam es sehr bald, insbesondere wenn das Wasser etwas wärmer wird, zu störenden Geruchsbelästigungen. Folge davon waren massive Beschwerden der Bürger und der Feriengäste des Luftkurortes Tanne.

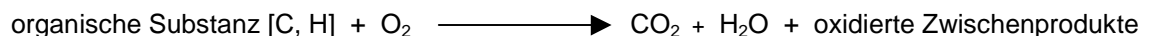
Zur Behebung dieser Probleme wurden mehrere Versuche, u. a. die Dosierung Sauerstoff abgebender (Nutriox) und Schwefel bindender Chemikalien (Eisen-III-chlorid) durchgeführt. Ein vielversprechender Versuch wurde mit dem DRAUSY-System am 16. September 2002 in Betrieb genommen: Ein speziell profilierter Schlauch ist über seine Länge in gleichmäßigem Abstand mit kleinsten Löchern versehen, durch die die eingepresste Luft über die gesamte Länge gleichmäßig ausströmt und damit das Abwasser mit Sauerstoff versorgen kann. Damit sollte es bei ausreichendem Luftangebot möglich sein, das Abwasser frisch und frei von Gestank zu erhalten.

## 2. Probleme mit Gerüchen in Kanälen und Druckrohrleitungen

### 2.1 Allgemeine Situation

Sobald organische Bestandteile von menschlichen Fäkalien, Nahrungsmittelreste oder Stoffe ähnlicher Art in die Kanalisation gelangen, beginnt auch schon deren Verwertung durch Mikroorganismen. Die dabei ablaufenden Vorgänge sind sehr komplex; es entstehen zahlreiche neue Stoffe: einerseits neue lebende Materie, andererseits Stoffwechselprodukte dieser Lebewesen. Abwasser unterliegt also vom Moment der Entstehung an Zersetzungsprozessen, deren Intensität und Ablauf einerseits von der Art der Abwässer, andererseits von den umgebenden Randbedingungen abhängen.

Im Unterschied zu allen höheren Lebewesen können viele Mikroorganismen den für ihre Atmung benötigten Sauerstoff auch aus im Wasser enthaltenen sauerstoffhaltigen Verbindungen des Stickstoffes (Nitrit, Nitrat), des Schwefels (Sulfit, Sulfat) aber auch des Arsens (Arsenit, Arsenat) entnehmen. Sie scheiden dann einerseits die sauerstofffreien Verbindungen Ammoniak, Schwefelwasserstoff und Arsin oder die Elemente Stickstoff, Schwefel und Arsen und andererseits die Sauerstoffverbindungen Kohlendioxid und Wasser als Atmungsendprodukte aus. Unter aeroben Verhältnissen wird nur der Sauerstoff der Luft genutzt, als Atmungsendprodukte entstehen dann nur Kohlendioxid und Wasser.

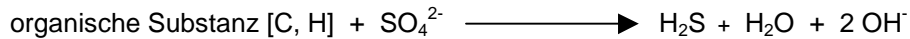


Aus dem organischen Substrat entstehen sowohl unter anaeroben als auch unter aeroben Bedingungen Spaltprodukte, die je nach den Randbedingungen – Art der Mikroorganismen, Temperatur, pH-Wert, Sauerstoffgehalt usw. – sehr vielfältig variieren können.

### 2.2 Schwefel-, Stickstoff- und Arsenverbindungen

Im Abwasser sind immer ausreichend Schwefelverbindungen vorhanden. Bereits im Trink- und im Grundwasser ist Sulfat enthalten, zum Teil bis zu 250 mg/l. Waschmittel, Harn und Kot liefern weitere Schwefelverbindungen. In Speiseresten, z. B. Fleisch, sind schwefelhaltige Eiweißstoffe enthalten. Fäkal-schlämme enthalten bereits Sulfide.

Bei Abwesenheit von gelöstem Sauerstoff (anaerob) werden die anorganischen Schwefelsauerstoffverbindungen bakteriell zu Sulfid reduziert (Desulfurikation, dissimilatorische Sulfatreduktion, Sulfatatmung):



Desulfurikanten sind spezialisierte Bakterien, die überall verbreitet sind. Sie sind sehr salztolerant und in weiten Grenzen anpassungsfähig:

- Desulfovibrio (Spirillum)
- Desulfomonas
- Desulfotomaculum (Clostridium)
- Desulfococcus
- Desulfosarcina
- Desulfonema

Sie arbeiten im Temperaturbereich von 5 bis 75 °C und im pH-Bereich von < 5 bis 9,5. Sie sind obligat anaerob; bei geringen Sauerstoffgehalten werden sie nicht abgetötet sondern nur inaktiviert. Schwefelwasserstoff vertragen sie bis 2 g/l.

Schwefelwasserstoff hemmt also das Wachstum der Desulfurikanten nicht, er unterdrückt aber das Wachstum der begleitenden Mikroorganismen, wenn er diese nicht gar vergiftet. Desulfurikanten findet man überall, auch im biologischen Rasen der Sielhaut bzw. in Ablagerungen von Abwasserkanälen. Dort vermehren sie sich massenhaft. Neben der Desulfurikation findet im anaeroben Milieu auch der mikrobielle Abbau der Eiweißstoffe (Proteine) statt, dabei werden neben Schwefelwasserstoff auch Thiole (Mercaptane), Thioäther und Polysulfide gebildet. Der Beitrag des Proteinabbaues zur Sulfidfracht ist dabei nur gering. Die Bildung organischer Schwefelverbindungen sowie die Bildung organischer Stickstoffverbindungen – Skatol und Amine wie Putrescin und Cadaverin – sind aber wegen ihres schon in kleinsten Konzentrationen unangenehmen Geruches zu erwähnen. Die Geruchsschwellen dieser organischen Schwefelverbindungen liegen häufig mehr als zwei Zehnerpotenzen niedriger als die des Schwefelwasserstoffes.

### 2.3 Umsatzgeschwindigkeiten, Sauerstoffzehrung

In frischem häuslichen Abwasser beträgt die Sauerstoffzehrung 2 bis 4 mg/(l x h), in einer Druckleitung wurden bei ca. 15 °C Sauerstoffzehrungsraten aus dem Pumpensumpf und aus der Druckleitungsausmündung von 10 bis 18 mg/(l x h) ermittelt. Untersuchungen an altem Abwasser zeigen Sauerstoffzehrungsraten von 15 bis 25 mg/(l x h).

Die Sauerstoffzehrungsraten korrelieren weder mit dem Gehalt an organischer Trockensubstanz noch mit der Konzentration organischer Verschmutzungsparameter im Abwasser. Limitierend wirkt der Metabolismus der Bakterien und nicht das Substratangebot. Die Vermehrung der Mikroorganismen während des „Alterns“ des Abwasser ist also maßgebend für die Zehrung.

Neben dieser Sauerstoffzehrung im Abwasser ist die Sauerstoffzehrung in der Sielhaut insbesondere in Druckleitungen mit geringem Durchmesser von erheblicher Bedeutung. Diese Sauerstoffzehrung steht in guter Abhängigkeit vom organischen Trockenmassengehalt der Sielhaut; damit ist hierbei das Verhältnis Rohoberfläche zu Abwasservolumen von Bedeutung. Die Sauerstoffzehrung in der Sielhaut beträgt üblicherweise bei 15 °C 250 bis 700 mg/(m<sup>2</sup> x h). In der nachstehenden Tabelle wird in Abhängigkeit vom Durchmesser der Druckleitung der Einfluss dieser Sauerstoffzehrung in der Sielhaut bei 700 mg/(m<sup>2</sup> x h) aufgezeigt:

### Sauerstoffzehrung in der Sielhaut

Rohrdurchmesser	Rohroberfläche	Rohrvolumen	Zehrung	
			mm	m <sup>2</sup> /m
80	0,25	0,005	175	35
100	0,31	0,008	220	28
200	0,63	0,03	440	14
500	1,51	0,2	1.060	5,6
1.000	3,14	0,8	2.200	2,8

Geht man von 500 mg/(m<sup>2</sup> x h) aus, so ergibt sich in einem DN 80er-Rohr eine Sauerstoffzehrung in der Sielhaut von 125 mg/(m x h) bzw. 25 mg/(l x h). Zusammen mit der Sauerstoffzehrung des Abwassers von 15 mg/(l x h) ergibt sich die Gesamtzehrung in dieser Druckleitung zu 40 mg/(l x h). Kommt das Abwasser mit einer Sauerstoffkonzentration von 8 bis 10 mg/l O<sub>2</sub> in die Druckleitung, so sind diese in etwa 12 bis 15 Minuten verbraucht. Dann beginnt langsam die Bildung von Sulfid. Gewisse Anteile von Sulfid bindet auch das Abwasser – z. B. Eisen im Abwasser –, erst darüber hinaus gebildetes Sulfid führt als H<sub>2</sub>S (Schwefelwasserstoff) zu Geruchsbelästigungen.

Die Schwefelwasserstoffbildung liegt in üblichen Sielhäuten bei anaerobem Betrieb der Druckleitung bei 0,25 bis 1,1 g/(m<sup>2</sup> x h). Bei einer Bildungsgeschwindigkeit von 1 g/(m<sup>2</sup> x h) ergibt sich bereits bei einer Druckleitung von 1 m Durchmesser in einer Stunde ein Schwefelwasserstoffgehalt von ca. 4 mg/l.

#### 2.4 Auswirkungen der Anfaulung von Abwasser

Die flüchtigen Schwefelverbindungen gelangen durch Diffusion und Turbulenzen in der der Druckleitung nachgeschalteten Abwasseranlage aus dem Abwasser in die Atmosphäre und damit an Wände und Abdeckungen der einzelnen Bauteile. Hier werden die Schwefelverbindungen mit Sauerstoff chemisch zu elementarem Schwefel oxidiert. Der Schwefel kann dann von verschiedenen überall vorhandenen Thiobazillen zu Schwefelsäure oxidiert werden. Diese Schwefelsäure korrodiert sowohl den Zementstein, kalkhaltige Zuschläge als auch Metalle.

Abwasser enthält im allgemeinen weniger als 5 mg/l an Schwefelwasserstoff. Bis zu 0,1 mg/l ist der Gehalt an Schwefelwasserstoff unkritisch, bis 1 mg/l ist er tolerierbar und oberhalb 2 mg/l ist er schädigend.

In geschlossenen Bauwerken können die Schwefelverbindungen insbesondere H<sub>2</sub>S wegen ihrer Giftigkeit zu einem Sicherheitsproblem für das Betriebspersonal werden. Wegen ihrer enormen Giftigkeit können diese Schwefelverbindungen auch einen negativen Einfluss auf die biologische Leistung in der Abwasserreinigungsanlage ausüben. Während bis 3 mg/l Sulfid der Leistungsrückgang der Biologie noch gering ist, wird er ab 8 mg/l Sulfid deutlich und ab 24 mg/l Sulfid sehr stark.

Neben der Korrosion muss die Ausbildung von Gerüchen als kritischste Nebenwirkung anaerober Zustände in Transportleitungen angesehen werden. In den letzten Jahren ist die Toleranzgrenze gegenüber Gerüchen zunehmend gesunken und das Bedürfnis nach Schutz vor solchen Einwirkungen gestiegen. Aerobes Abwasser zeigt lediglich den typischen Eigengeruch, aber keinen unerträglichen Geruch. Sonderfälle wie gewisse Industrieabwässer seien hiervon ausgenommen. Belästigende Gerüche treten nur in Kanalisationen mit fehlender ausreichender Belüftung auf. Die primären Osmogene, die durch das Abwasser selbst mitgebracht werden, können also üblicherweise vernachlässigt werden. Die sekundären Osmogene sind diejenigen geruchsaktiven Stoffe, die im Abwasser gebildet werden. Im Regelfall kann man davon ausgehen, dass kritische osmogene Stoffe nur unter anaeroben Verhältnissen gebildet werden.

## 2.5 Geruchsbelästigungen, Vermeidungsstrategien

Da es sich bei der Wahrnehmung von Geruch um eine Sinnesempfindung handelt, die individuell sowohl qualitativ – was wird gerochen? – als auch quantitativ – wie stark wird etwas gerochen? – sehr unterschiedlich ausgeprägt ist, kommt den Beschwerden über Geruchsbelästigungen eine psychologische Komponente zu. Zumutbare und unzumutbare Geruchsemissionen sind so gut wie nicht unterscheidbar.

Aus der Art der Entstehung belästigender Gerüche ist auf die wirkungsvollsten Vermeidungsmöglichkeiten zu schließen:

- Frischhalten des Abwassers, um anaerobe Zustände im Abwasser zu vermeiden,
- keine Schlammabsetzungen, Schmutzränder und ähnliches bzw. regelmäßiges Reinigen,
- keine Fäkalschlämme – auch keine Fäkalgrubenüberläufe – im Zulauf der Druckleitung,
- hohe Turbulenzen in der Druckleitung minimiert Sielhautdicke und damit Geruchsintensität

## 2.6 Konkrete abwassertechnische Überlegungen

Bei langen Verweilzeiten des Abwassers unter vorwiegend aeroben Bedingungen sind Geruchsbildung und die Entstehung korrosiver Stoffe nur in geringem Maße zu erwarten. Solche vorwiegend aeroben Bedingungen sind aber nur dadurch zu erreichen, dass das Abwasser sowohl im Kanal vor dem Pumpwerk als auch in der Druckleitung ausreichend mit Sauerstoff versorgt wird. Wichtig ist auch die regelmäßige Reinigung nicht belüfteter Zonen im Bereich der Pumpwerke und der Leitungen. Pumpensumpf und hydraulisch ungünstige Stellen im Bereich des Abwassertransportes sollten in möglichst kurzen Intervallen vollständig entleert werden, um die Ankrustungen zumindest teilweise zu belüften.

In hydraulisch ungünstigen Zonen kommt es all zu leicht zu biologischen Ankrustungen. Alle Ablagerungen, Sielhautschichten und Ankrustungen enthalten sulfatreduzierende Bakterien und impfen das zunächst von Desulfurikanten freie Abwasser mit diesen an. Damit fördern sie die Schwefelwasserstoffbildung.

In geschlossenen Abwasserrohren (Druckleitungen), die nicht belüftet werden, erfolgt in Abhängigkeit von der Transportzeit des Abwassers und von der vorhandenen Sielhaut eine intensive Sauerstoffzehrung. Ausgehend von Sauerstoffsättigung – etwa 10 mg/l O<sub>2</sub> – beim Eintritt in die Druckleitung wird der Sauerstoff durch die Zehrung im Abwasser mit etwa 8 – 15 mg/(l x h) und die Zehrung in der Sielhaut mit etwa 250 – 500 mg/(m<sup>2</sup> x h) abnehmen. Von geringeren Zehrungsraten kann kaum ausgegangen werden, da wegen der Zulaufwege/-zeiten vor der Druckleitung eine Alterung des Abwassers mit entsprechend hohen Zehrungsraten und ein Animpfen mit Desulfurikanten stets angenommen werden muss.

Als Mindestfließgeschwindigkeit zur Aufrechterhaltung ausreichender Turbulenzen werden einheitlich 0,5 m/s angesehen. Wenn das Abwasser gut entsandet ist und gründlich von Feinrechengut befreit ist, können auch Strömungsgeschwindigkeiten > 2 bis 2,5 m/s toleriert werden; je größer der Durchmesser der Druckleitung ist, desto höher darf die maximale Fließgeschwindigkeit werden, ohne die Rohrleitung zu schädigen.

Dort wo die Belüftung mit Luft nicht oder kaum möglich ist, kann auch technisch reiner Sauerstoff zur Sauerstoffversorgung des Abwassers herangezogen werden. Seine Wirksamkeit ist wegen der höheren Löslichkeit (höherer Sauerstoffpartialdruck) deutlich besser als die Wirksamkeit des Luftsauerstoffes. Neben Luft und Reinsauerstoff können selbstverständlich auch Sauerstoff abgebende Stoffe wie Wasserstoffperoxid oder Nitrat verwendet werden. Die Denitrifikation von Calciumnitrat wird bereits häufig zur Vermeidung der Sulfidbildung herangezogen.

### Sauerstoffverbrauch in einer Druckrohrleitung, $\varnothing = 80 \text{ mm}$

Zehrung in der Sielhaut			Zehrung im Wasser	Zehrung gesamt	Sauerstoffbedarf bei $V_{DL} = 5 \text{ m}^3$	
$\text{mg}/(\text{m}^2 \times \text{h})$	$\text{mg}/(\text{m} \times \text{h})$	$\text{mg}/(\text{l} \times \text{h})$	$\text{mg}/(\text{l} \times \text{h})$	$\text{mg}/(\text{l} \times \text{h})$	kg/h	kg/d
260	65	13	4	17	0,09	2,0
300	75	15	6	21	0,11	2,5
340	85	17	8	25	0,15	3,0
400	100	20	10	30	0,17	3,6
460	115	23	12	35	0,19	4,2
500	125	25	15	40	0,23	4,8

Um die trotz aller Vorsichtsmaßnahmen im Abwasser eventuell entstandenen Geruchstoffe nicht freizusetzen, muss im Transportsystem hinter der Druckleitung jedes Strippen aus dem Abwasser vermieden werden; das heißt, das Fließen des Abwassers soll nur stetig erfolgen, Abstürze und ähnliche, Turbulenz erzeugende Bauwerke sollten vermieden bzw. beseitigt werden. Besonders gefährdet ist der Teil der Abwasseranlage durch Geruch und Korrosion, in den die Druckleitung mündet.

Der Wartungsaufwand einer solchen Leitung betrifft die Zwischenpufferung evtl. bereits mit Sauerstoffversorgung im Pumpwerksbereich, das Pumpwerk, den Betrieb und die Sauerstoffversorgung der Druckrohrleitung sowie die regelmäßige Reinigung aller auftretenden Verkrustungen.

Eine sichere Einhaltung nicht belästigender Geruchsintensitäten ist nur durch technische Maßnahmen sicherzustellen. Hierzu zählen Luft-, Sauerstoff-, Wasserstoffperoxid- oder Nitratdosierung zur Bedienung der Sauerstoffzehrung und gegebenenfalls Dosierung von Eisen(III)salzlösung zur Sulfidbindung.

### 3. Belüftung eines Druckleitungsabschnittes mit dem DRAUSY-System

Am 16. September 2002 wurde begonnen, im Abwasserleitungsbereich „Hasselfelde — Tanne“ den ca. 1.100 m langen Abschnitt (Höhendifferenz: 39,6 m) zwischen dem Schacht E3 (ca. 2.450 m nach der Pumpstation Hasselfelde) und dem Schacht B4 (ca. 1.100 m vor dem Probenahmeschacht in Trautenstein) mit dem DRAUSY-System zu belüften. Am Eingang der Druckleitung ist das Abwasser noch frisch, wie die Sauerstoff- und Sulfidgehalte der nachstehende Tabelle zeigen.

Datum	Temperatur °C	O <sub>2</sub> - Gehalt mg/l	O <sub>2</sub> - Zehrung mg/l	Sulfid mg/l	CSB mg/l
19.09.2002	14,4	3,5	3,8	0,05	371
01.10.2002	13,4	1,6	4,8	0,10	1.096
09.10.2002	12,1	5,4	3,0	0,06	435

Nachstehend sind die vorliegenden Messergebnisse am Messpunkt hinter der belüfteten Druckrohrleitungsstrecke aufgelistet.

Datum	Temperatur °C	O <sub>2</sub> - Gehalt mg/l	O <sub>2</sub> - Zehrung mg/l	Sulfid mg/l	CSB mg/l
16.08.2001	15,3	0,9	5,5	7,9	–
21.08.2001	16,0	0,1	5,2	4,4	–
13.12.2001	7,3	2,7	7,7	0,09	–
14.12.2001	5,4	1,9	4,0	0,14	–
06.06.2002	12,6	–	–	1,0	1.062
24.06.2002	13,2	–	–	< 0,05	181
15.07.2002	14,5	–	–	< 0,05	159
19.09.2002	14,0	8,7	1,5	< 0,05	38
01.10.2002	13,7	4,9	5,7	0,19	1.292
09.10.2002	12,0	6,5	2,1	0,06	202

Der Sauerstoffgehalt im Abwasser unterhalb der belüfteten Strecke lag nur bei niedrigen Abwassertemperaturen über 2 mg/l O<sub>2</sub>; erst seit belüftet wird, sind gute Sauerstoffgehalte feststellbar. Bei sonst gleichen Sauerstoffzehrungsraten war der Sulfidgehalt im Abwasser (Leitparameter für den Geruch) bei höheren Temperaturen (um 15 °C) hoch (im Aug. 2002 : 4 – 8 mg/l) und bei niedrigen Temperaturen (um 5 °C) niedrig (< 0,2 mg/l). Seit Beginn der Belüftung am 16.09.2002 liegt der Sulfidgehalt auch bei Temperaturen von 12 – 14 °C unter 0,2 mg/l, gleichzeitig betrug die Sauerstoffzehrung etwa 6 mg/(l x h).

Hierbei wird jetzt auch deutlich, dass die Sauerstoffzehrungsraten parallel der CSB-Belastung sinken und steigen; zur Interpretation der Vorgänge im Kanal, insbesondere der Gründe für die unterschiedlichen die Sauerstoffzehrungsraten sind CSB-Messergebnisse hilfreich.

Im weiteren Verlauf der Abwassertransportleitung vermindert sich der Sauerstoffgehalt des Abwassers je nach CSB-Konzentration – Schacht G4 vor der Ortslage Tanne, ca. 4.500 m unterhalb der belüfteten Strecke. Der Verlauf der Schwefelwasserstoffkonzentrationen in der Luft im Schacht G4 (Messungen der Milieu Analytik GmbH, Magdeburg) zeigt noch extrem hohe Gehalte an. Zur genaueren Erkundung der Situation ist es sinnvoll, über ein bis zwei Tage parallel zu solchen Luftmessungen auch Kurzzeit-Abwasserproben zu untersuchen – pH-Wert, CSB, aber auch vor Ort: O<sub>2</sub>, Sauerstoffzehrung, Sulfid).

An den wenigen Messungen zeigt sich bereits, dass mit dem DRAUSY-System Probleme mit Geruchsbelästigungen nach Druckrohrleitungen technisch beherrscht werden können.

Neustadt, im Oktober 2002

LGU mbH

Dr. Ernst Ecker

Diplom-Chemiker