

Lange Leitungen, reduzierte Frachten

# Vermeidung von Geruch- und Korrosion

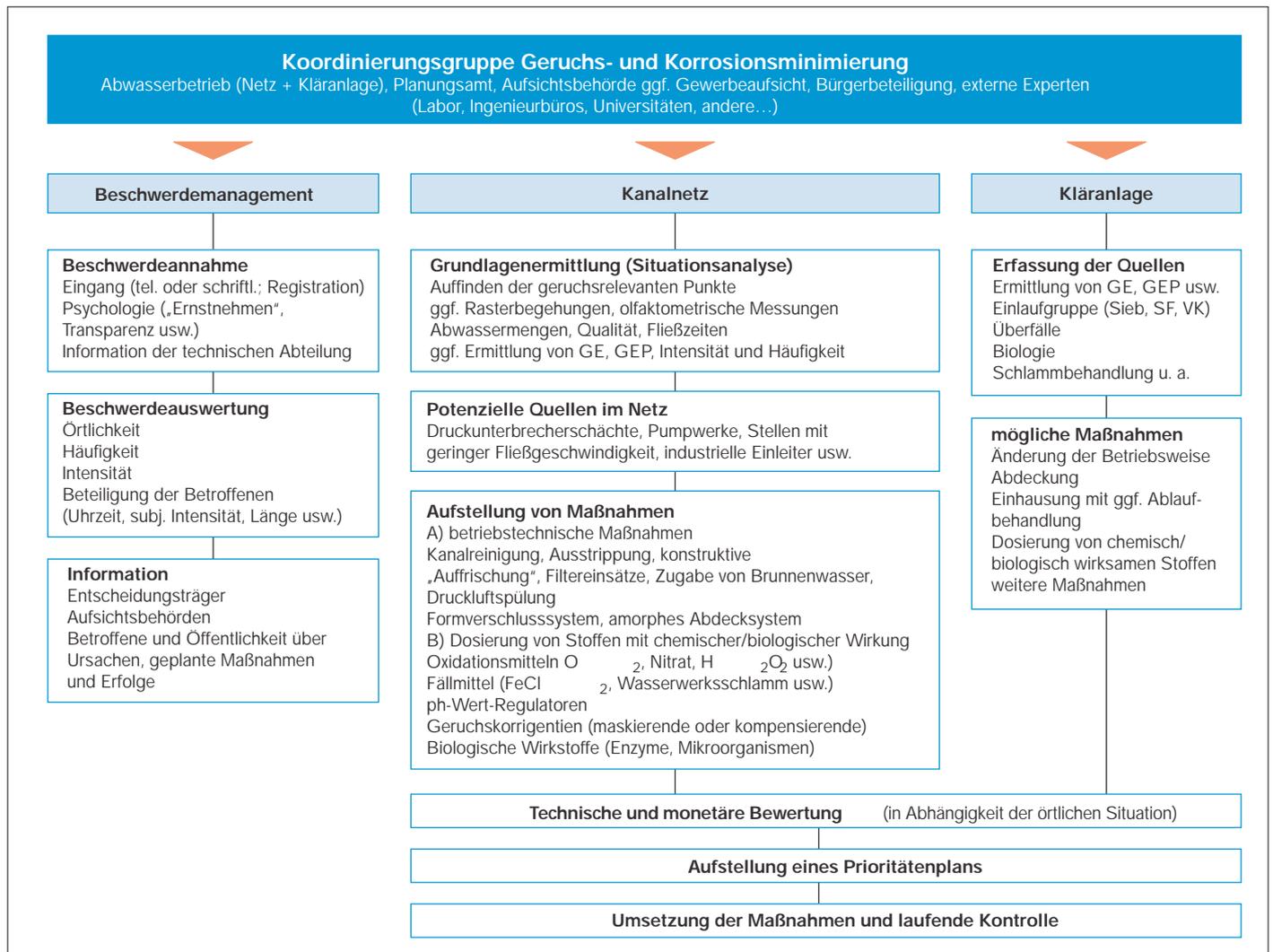
Matthias BARJENBRUCH; Günter LANGE; Axel BOHATSCH

Contra Schwefelwasserstoffemissionen:  
Neues Abdecksystem für Pumpwerke und  
Formverschlusssystem für Kanalschächte.

**D**urch die zunehmende Zentralisierung der Abwasserentsorgung hat sich in den letzten Jahren die Ausdehnung der Kanalnetze vergrößert, was zu entsprechend langen Aufenthaltszeiten geführt hat. Gleichzeitig ist vielfach ein drastischer Rückgang des Abwasseranfalls bei gleichbleibender Schmutzfracht festzustel-

len. Das wiederum hat erhebliche Geruchsbelästigungen, massive Schwefelsäurekorrosion an Rohrleitungen, Schächten und Pumpwerken sowie negative Auswirkungen auf die Abwasserreinigung zur Folge. Die körperliche Gefährdung des Betriebspersonals erhöht sich ebenfalls. Im Rahmen eines vom Umweltministerium Mecklenburg-

Vorpommern geförderten Vorhabens war der Komplexeinsatz eines amorphen Abdecksystems für Pumpwerke in Verbindung mit dem Formverschlusssystem für Kanalschächte zu prüfen. Die Firma Unitechnics GmbH aus Schwerin fertigt das Entwässerungssystem für den großflächigen Einsatz-Versuch in einem touristisch geprägten



**KOORDINIERUNG:**

Lösung von Geruchs- und Korrosionsproblemen bei einem kommunalem Abwasserbetrieb /4/

Bild 1

Bereich des Wasser- und Abwasserzweckverbands Demmin/Altentreptow. In der Region sind Geruchsbelästigungen infolge der Abwasserüber-

leitungen und beginnende bis fortschreitende Korrosion in den Abwasserschächten und Pumpwerken festzustellen. Die angestrebten Ziele sind:

- I komplexe und langfristig beständige Verminderung des Geruchs- und Korrosionsproblems in einer ländlich-touristischen Entsorgungsregion mit Badegewässern
- I kein Chemikalieneinsatz; kein erhöhtes Klärschlammkommen
- I keine Umwelt- und Gewässerbelastung
- I keine Fettablagerungen an den Wandungen der Pumpenschächte sowie auf der Abwasseroberfläche
- I Reduzierung von Sanierungsaufwendungen an abwassertechnischen Bauwerken und der Wartungskosten der Pumpwerke (Betriebskostenminimierung).

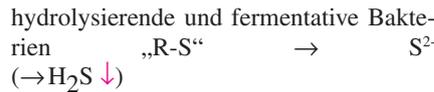
Das Gesamtsystem sollte während der Laufzeit optimiert werden. Der Wartungsaufwand und die erforderlichen Wartungsarbeiten bzw. der erhöhte Aufwand bei der Kanalreinigung waren zu ermitteln.

## Entstehen der Geruchsstoffe

Bei der Entstehung von Gerüchen in der Kanalisation muss zwischen primären und sekundären Geruchsstoffen (Osmogene) unterschieden werden. Erstere werden bereits mit dem Abwasser in die Kanalisation eingeleitet und können theoretisch über Entwässerungssatzungen begrenzt werden. Sekundäre Osmogene bilden sich erst in der Abwasseranlage. Man unterscheidet zwischen aerober (flüchtige Fettsäure, Alkohole und Aldehyde usw.) und anaerober (Schwefelwasserstoff, Mercaptane, Methylsulfide usw.) Osmogenbildung.

Die Geruchsstoffe führen dort zu Problemen, wo aus chemisch-physikalischen Gründen eine Freisetzung aus dem Abwasser in die Umgebungsluft erfolgt (Abstürze, Umlenkungen, Übergabeschächte usw.). Die geruchsintensiven Schwefelverbindungen führen bei kommunalem Abwasser häufig zu Geruchsproblemen und Korrosion. Nach /1/ beträgt die einwohnerspezifische Schwefelfracht ca.  $9,2 \text{ g S}/(\text{E} \cdot \text{d})$ , so dass keine Substratbegrenzung vorliegt. Schwefelwasserstoff entsteht unter anaeroben Bedingungen durch biogene Vorgänge, die im Wesentlichen im Biofilm der Rohrleitungswandungen ablaufen /2/:

- I Desulfurikation; dissimilatorische Sulfatreduktion („Sulfatatmung“) Reduktion von Sulfat (z. B. aus dem Trinkwasser) zu Sulfidionen:  $\text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{S}^{2-} (\rightarrow \text{H}_2\text{S} \downarrow)$
- I Desulfuration: Proteinabbau, Eiweißfäulnis Reduktion schwefelhaltiger Eiweiße (Thioproteine) und Detergentien durch



Im kommunalen Abwasser spielt die Desulfurikation die größere Rolle, wobei allgegenwärtige salztolerante Spezies auch unter extremen Bedingungen (5 bis 57 °C) überleben und unter günstigen Verhältnissen bis zu  $1.000 \text{ mg H}_2\text{S}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  bilden können. Einen wichtigen Einfluss auf die Abbauverhältnisse und damit auf die Geruchsbildung haben die organische Verschmutzung des Abwassers und die Abwassertemperatur. Diese beiden Komponenten beeinflussen die Umsatzgeschwindigkeit der biologischen Prozesse und die Löslichkeit von Gasen im Abwasser. Ein wichtige Rolle spielt auch der pH-Wert.

## Geruchs- und Korrosionsverminderung

Zur Minderung von schädlichen Immissionen sind das Erkennen der Emissionsquellen und die Bewertung unter Beachtung der geltenden Rechtsvorschriften erforderlich /3/. Hier sind der § 3 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes und die Geruchsimmissionsrichtlinie maßgebend, die z. B. bei bestehenden Anlagen über Rasterbegehungen und Auswertungen zur Geruchshäufigkeit in Prozent der Jahresstunden eine Bewertung hinsichtlich einer „erheblichen Belästigung“ ermöglichen.

Bei Abwasseranlagen kann eine Messung der Geruchsstoffkonzentration ( $\text{GE}/\text{m}^3$ ) sowie die Bestimmung der emittierten Fracht ( $\text{GE}/\text{s}$ ) sinnvoll sein. Zusätzlich kann die Bestimmung des Geruchsstoffs-Emissionspotenzials (GEP) einen Hinweis auf die aus einer Abwasserprobe unter gewissen Randbedingungen austrippbaren Geruchsstoffe geben.

Die Koordinierung von Maßnahmen der Geruchs- und Korrosionsminimierung in einem Abwasserbetrieb kann nach einem Ablaufplan (Bild 1) erfolgen, in dem orientie-

rend bereits Hinweise auf einige Gegenmaßnahmen enthalten sind /4/. Neben der technischen Abwicklung spielt ein gut funktionierendes Beschwerdemanagement eine zentrale Rolle.

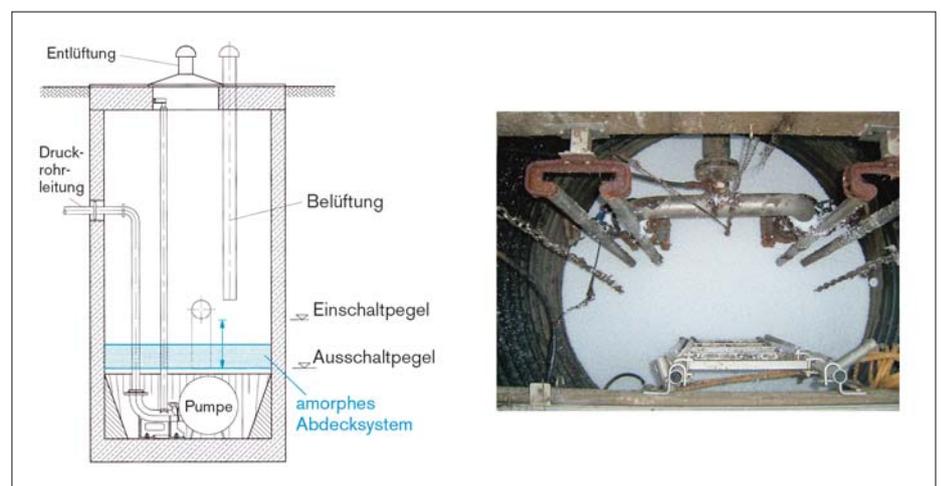
Die vorgestellten Maßnahmen liefern nur eine Auswahl der verschiedenen Lösungsmöglichkeiten. Entscheidend ist, dass das jeweils gewählte Verfahren bzw. die Lösung auf die spezifischen örtlichen Randbedingungen in technischer und wirtschaftlicher Art abgestimmt wird. Die jeweiligen Vor- und Nachteile sind dabei abzuwägen. Neben einer theoretischen Betrachtung können vergleichende Praxistests hilfreich sein, deren Aufwand jedoch zu beachten ist.

## Die untersuchten Systeme Amorphes Abdecksystem für Pumpwerke

Das amorphe Abdecksystem zum Einsatz in Pumpwerken dient zur Eindämmung von Geruchsemissionen (vor allem  $\text{H}_2\text{S}$ ) und zur Verminderung der Schwefelsäurekorrosion an Beton- und Metallteilen.

Das Zusammenwirken von physikalischen und biochemischen Effekten erhöht den Wirkungsgrad des Abdecksystems und führt zu starker Minderung der Geruchs- und Korrosionsprobleme. Durch die schwimmende Abdeck- bzw. Filterschicht wird eine physikalische Sperre erzeugt, die das Entweichen geruchsintensiver Gase und Wasserdampf erheblich minimiert. Infolge des verringerten Entweichens von Wasserdampf wird der Feuchtigkeitsgehalt oberhalb des amorphen Abdecksystems im Pumpwerk massiv reduziert, so dass Bauwerksoberflächen abtrocknen können (Reduzierung der Metall- und Betonkorrosion). Das Fehlen eines feuchten Milieus führt zum erheblichen Einschränken der Lebensbedingungen für Mikroorganismen, die für die Schwefelsäurekorrosion verantwortlich sind.

Durch die gewählten Korngrößen und Schichtstärken sollen gezielt Mikroorganis-



SYSTEMDARSTELLUNG:  
 amorphes Abdecksystem /5/

Bild 2

men im Abdecksystem angesiedelt werden, die den elementaren Schwefel aus dem noch geringfügig ausgasenden Schwefelwasserstoff abbauen. Darüber hinaus siedeln sich andere Mikroorganismenkulturen an, die organische Verbindungen wie Fett, aber auch sonstige Geruchsmoleküle biologisch abbauen können /5/.

## Formverschlusssystem

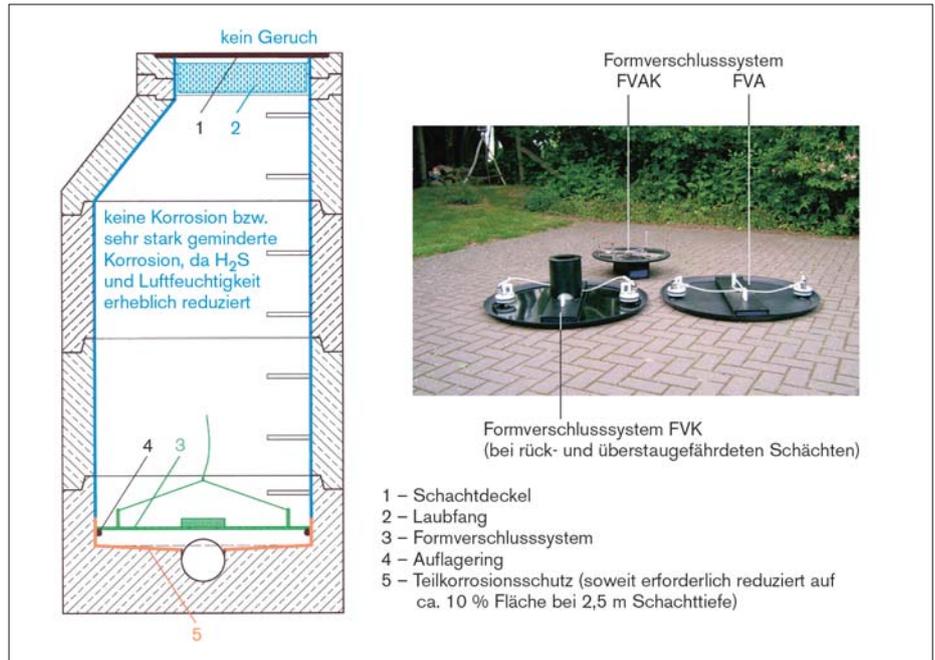
Das einstellbare Formverschlusssystem reduziert bzw. verhindert gleichzeitig Geruch und Korrosion in dem dafür vorgesehenen Schutzbereich eines Kanalschachtes. Das integrierte einstellbare Dämpfungssystem bietet die Möglichkeit, die Geruchsminde- rung im jeweiligen Kanalschacht zu opti- mieren und gleichzeitig die Feuchtigkeit im Kanalschacht zu minimieren. Ein Wechsel von Verbrauchsmaterial ist nicht notwendig. Bei Kanalspülungen tritt kein erhöhter Auf- wand auf.

Durch den komplexen Einsatz des amorphen Abdecksystems in Pumpwerken ge- meinsam mit dem Formverschlusssystem in Kanalschächten kann ein flächiger bzw. lini- enförmiger Effekt erreicht werden, der den gesamten betroffenen Entwässerungsbe- reich sowohl vor Korrosion schützt als auch ein Austreten von Geruchsstoffen verhin- dert. Inwieweit innerhalb des amorphen Ab- decksystems ein biologischer  $H_2S$ -Umsatz stattfindet, soll noch näher untersucht wer- den.

## Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet besteht aus den Gemeinden Sommersdorf, Meesiger, Schönfeld, Verchen und Borrentin, deren Abwässer über fünf Hauptpumpwerke mit- tels verschiedener Druckleitungen (max. Einzellänge ca. 3,4 km) zur Kläranlage Bor- nitz gefördert und dort nach dem Stand der Technik behandelt werden. Zum größten Teil sind an den Pumpwerken Kompresso- ren installiert, die das Abwasser belüften sollen. Das gesamte Kanalnetz hat eine Län- ge von ca. 35,7 km, davon sind ca. 14 km (39 %) als Freigefälle-Kanalisation und 21 km (61 %) als Druckrohrleitung ausgeführt. Das in den Jahren 1993 und 1994 errichtete System hat insgesamt ca. 230 Schächte und 23 öffentliche Pumpwerke. Infolge der Ab- wasserüberleitungen sind Geruchsbelästi- gungen und beginnende bis fortschreitende Korrosion in den Abwasserschächten und Pumpwerken feststellbar, so dass einige Pumpenschächte bereits saniert wurden.

Im Winter wird mit einem  $Q$  von  $81 \text{ m}^3/\text{d}$  das Abwasser von ca. 1.500 Einwohnern und im Sommer bei einem  $Q$  von  $172 \text{ m}^3/\text{d}$  von ca. 3.100 Einwohnern abgeleitet. Der spezifi- sche Abwasseranfall lag zwischen 60 und  $80 \text{ l}/(\text{E} \cdot \text{d})$ . Diese geringen Mengen führen zu extrem langen Aufenthaltszeiten in den Druckleitungen (zum Teil  $> 4 \text{ d}$ ), was Ge-



## BAUARTEN:

### Formverschlusssystem lässt sich optimieren

ruchsbelastigung zur Folge hat.

Die Lösung der Geruchs- und Korrosions- probleme hat umso mehr Bedeutung, da der unmittelbar in der Nähe befindliche Kum- merower See ein Anziehungspunkt für viele Urlauber und Touristen ist.

## Bewertungskriterien

### Kriterien für die Geruchs- emission

Da es sich im vorliegenden Untersuchs- gebiet um ausschließlich kommunales Ab- wasser handelt, wurde zur Bewertung der Leistungsfähigkeit als Leitparameter der Schwefelwasserstoff- gehalt in der Kanalluft herangezogen. Der Arbeitsplatzgrenzwert (AGW) beträgt  $10 \text{ ppm } H_2S$ . Die Geruchsschwelle liegt bei ca.  $0,15 \text{ ppm}$ , was in der Praxis einer „Null- Emission“ entspricht. Dieser in der Kanal- luft gemessene Wert ist sicherlich zur Ver- meidung der Geruchsbeeinträchtigung der Anwohner zu niedrig, da auch Ausbrei- tungsprozesse, Witterung, Luftdruck, Wind usw. zu berücksichtigen sind. Daher wird als Bewertungskriterium ein Bereich von 3 bis  $5 \text{ ppm } H_2S$  in der Kanalluft herangezo- gen, wobei der Wert  $< 3 \text{ ppm}$  angestrebt wird.

Gemäß der Geruchsimmissionsrichtlinie G1 (1993) muss grundsätzlich eine zeitli- che Komponente für das Wirken von Gerü- chen angesetzt werden. Demnach führen Geruchshäufigkeiten  $\leq 3 \%$  der Jahresstun- den zu keinen Belästigungen und müssen von den Anwohnern toleriert werden. Aus- nahme stellen hier Gerüche, die Gesund- heitsgefahren durch Ekel oder Übelkeit er- zeugen, dar. Bei Gerüchen, die  $> 5 \%$  der Jahresstunden auftreten, wird dagegen von

einer erheblichen Belästigung ausgegangen.

Analog dazu wird als Bewertungskriterium der Zeitanteil  $< 3 \%$  des Untersuchungsab- schnitts, in dem  $H_2S$ -Werte  $< 3 \text{ ppm}$  auftre- ten, herangezogen und als unkritische Be- lastung eingestuft.

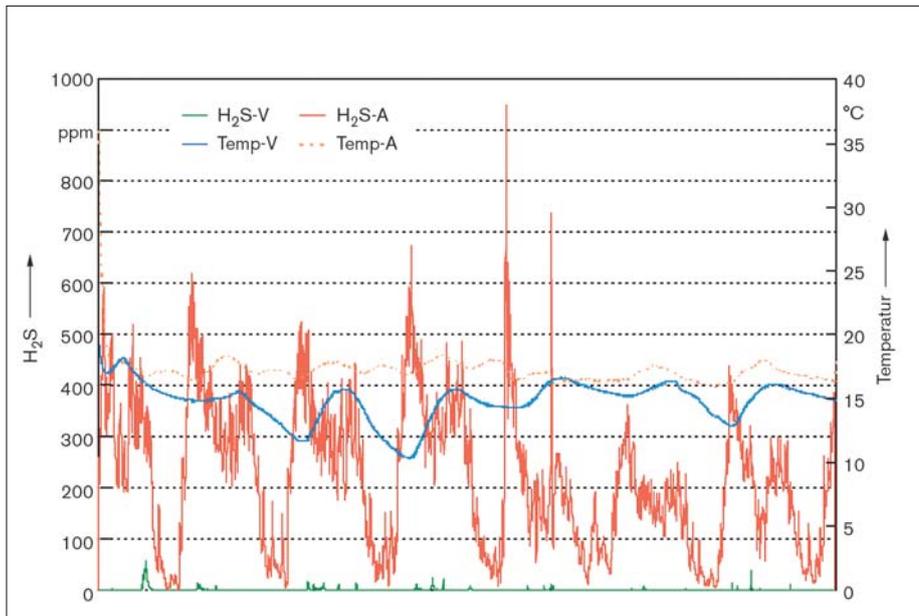
### Kriterien für die Korrosion

Als Kriterium für eine unbedenkliche Ka- nalatmosphäre wird der Mittelwert der Schwefelwasserstoffkonzentration im Un- tersuchungszeitraum herangezogen. Für eine langfristige Gebrauchsfähigkeit sollte der Wert  $< 0,5 \text{ ppm } H_2S$  nicht überschritten werden. Feuchtigkeitsentwicklungen an den Bauwerksinnenwänden und an Ausrü- stungsteilen begünstigen das Wachstum der Thiobazillen, so dass sich eine biogene Schwefelsäurekorrosion einstellt. Somit ist die Feuchtigkeit im Gasraum ebenfalls auf ein Minimum zu begrenzen.

### Ausgangssituation

Der Ausgangszustand wurde nach Begehen des Gebiets an ausgewählten Schächten auf- genommen und anschließend mit Messun- gen untersetzt. Insgesamt handelt es sich um ein Kanalnetzsystem, das stark korrosions- gefährdet ist und aus dem punktuell erhebli- che Geruchsbelastungen ( $> 320 \text{ ppm}$  im Un- tersuchungszeitraum) emittiert werden. An einigen Schächten wurde in mehr als  $70 \%$  der Beobachtungszeit der kritische  $H_2S$ -Level von  $3 \text{ ppm}$  überschritten. Im Mittel aller untersuchten Schächte liegt eine Schwefelwasserstoffgrundbelastung von  $8 \text{ ppm}$  vor, die eine Korrosionsrate von ca.  $13 \text{ mm/a}$  verursacht. Die Exposition in den Wintermonaten dürfte allerdings etwas niedriger liegen.

Bild 3



**KLÄRANLAGE BORNITZ:** H<sub>2</sub>S-Messungen und Temperatur vor und nach dem Einbau des amorphen Abdecksystems Bild 4

Bei den Pumpwerken sind die in Bornitz (Ø 219 ppm H<sub>2</sub>S; Spitze 950 ppm H<sub>2</sub>S) und Verchen (Ø 144 ppm H<sub>2</sub>S; Spitze 536 ppm H<sub>2</sub>S) extrem stark belastet, wobei in Verchen rund um die Uhr die H<sub>2</sub>S-Gehalte größer als 3 ppm auftraten, was ein erhebliches Geruchsbelastigungspotenzial darstellt. Die Einstufung nach Korrosionsgrad erfolgte einheitlich aus der Dokumentation der Bestandsaufnahme dezidiert für jeden Schacht und jedes Pumpwerk mit einem eigen entwickelten Bewertungssystem. Die Ergebnisse der vierstufigen Bewertungsmatrix zeigen, dass ab Stufe 2 bis 4 insgesamt 91 % in unterschiedlicher Intensität von Korrosion betroffen sind. Hinsichtlich der Sanierungsbedürftigkeit wird empfohlen, ab der Stufe 2 Korrosionsschutzmaßnahmen durchzuführen. Insgesamt wurden 46 % der Bauwerke als extrem stark bzw. stark korrodiert eingestuft (Stufe 3 + 4).

**Leistungsnachweis der Systeme**

Nach Aufnahme und Bewertung der Ausgangsuntersuchungen wurde ein Gesamtkonzept zum Komplexeinsatz des amorphen Abdecksystems und des Formverschlussystems entwickelt und umgesetzt. Das amorphe Abdecksystem wurde im Dezember 2004 an vier Pumpwerken seitens des Systemanbieters Unitech GmbH eingebaut. Die Formverschlussysteme (75 Stck.) wurde nach Demonstration der Montage für die jeweiligen Bauarten durch die Unitech GmbH von Mitarbeitern des Betreibers (GKU) eingebaut. Mit den Messungen im Sommer 2005 ist die Wirksamkeit des eingebauten Systems untersucht worden. An allen untersuchten Schächten konnte durch das Formverschlussystem die mittleren Schwefelwasserstoffbelastungen auf Null oder fast auf

Null gesenkt werden, so dass hinsichtlich der Betonkorrosion oberhalb der eingebauten Formverschlussysteme (Schutzbereich) keine Gefahr mehr besteht (Tabelle 2). Unterhalb der installierten Vorrichtungen sollten jedoch Teilkorrosionsschutzmaßnahmen durchgeführt werden. Inwieweit sich unterhalb der eingebauten Formverschlussysteme eine übermäßige Feuchtigkeit einstellt, die die Lebensgrundlage der säureerzeugenden Mikroorganismen und damit die Korrosion stark einschränkt, muss noch untersucht werden. Bezüglich der Geruchsemission wurden an den betrachteten Schächten ebenfalls beachtliche Erfolge erzielt. Die Spitzen traten deutlich gedämpft (max. 48 ppm an einem Schacht als einmaliger Peak) und in erheblich kürzeren Zeiträumen 52 min/Woche auf, so dass keine kritischen Geruchsbelastigungen mehr aufgetreten sind.

Bei Untersuchungen an den Pumpwerken stellte sich heraus, dass der fachgerechte Pumpwerksbau, d.h. die Verlängerung der Zulaufrohre in den Dauerstaubereich der Pumpenvorlage, grundsätzlich eine Verringerung der Schwefelwasserstoffgehalte erbrachte, aber die Rest-H<sub>2</sub>S-Konzentrationen über den korrosionsbegrenzenden Werten (H<sub>2</sub>S < 0,5 ppm) in den Pumpwerken Verchen und Bornitz lag und in Verbindung mit der verbleibenden Feuchtigkeit die Korrosion fortschreitet.

Der Einbau des amorphen Abdecksystems zeigte deutliche Erfolge. So konnten die mittleren H<sub>2</sub>S-Gehalte in der Pumpwerksatmosphäre bei fast allen Pumpwerken auf null gebracht werden. Lediglich das am meisten belastete PW Bornitz wies noch einen mittleren Rest-Schwefelwasserstoffgehalt von durchschnittlich 0,4 ppm auf (Tabelle 3), was vermutlich durch eine nicht vollständig verschlossene Klappe aus der Leitung für die Rückführung des Schlammwassers verursacht wurde.

Nach Abschalten aller Kompressoren im

Vergleich der mittleren und extremen H <sub>2</sub> S-Gehalte										
Ausgangsmessung sowie nach Einbau des Formverschlussystems										
	Som S6		Som S11		Som S13		Som S16		Som S16b	
	ohne FVA	mit FVA	ohne FVA	mit FVA	ohne FVA	mit FVA	ohne FVA	mit FVA	ohne FVA	mit FVA
T	15,3	13,5	16,8	17,3	19	16,6	17,6	16,5	17,3	13,2
H <sub>2</sub> S (ppm)										
Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mittel	6,3	0	3,1	0,2	14,7	0	4,6	0	1,5	0,1
Max	166	0	96	6	318,9	13,4	322,5	6	110	48
	Borrentin S1a		Borrentin S2		Meesiger S5		Meesiger S14		Meesiger S15-2	
	ohne FVA	mit FVA	ohne FVA	mit FVA	ohne FVA	mit FVA	ohne FVA	mit FVA	ohne FVA	mit FVA
T	19,7	16,3	18,4	16,8	21,1	16,4	15,4	15,5	15,4	17,9
H <sub>2</sub> S (ppm)										
Min	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Mittel	2,2	0	4,2	0,04	3,9	0	35,7	0	3,7	0,1
Max	120,1	2	131	25,6	172	4,8	245	4	82,1	1

ohne FVA: Ausgangszustand; mit FVA: nach Einbau des Formverschlussystems

<b>H<sub>2</sub>S-Gehalte in den Pumpwerksschächten ohne und nach Einbau des amorphen Abdecksystems</b>									Tab. 3
	PW Sommersdorf ohne amorph		PW Meesiger ohne amorph		PW Verchen ohne amorph		PW KA Bornitz ohne amorph		
T °C	16,3	20,4	16	19,4	18,6	20,4	17,2	18,4	
H <sub>2</sub> S (ppm)									
Minimum	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Mittel	2,0	0,0	8,6	0,0	144,3	0,0	218,8	0,4	
Maximum	72,0	1,0	89,4	0,0	536,1	0,0	950,3	50,0	

<b>Statistische Auswertung der Korrosionsstufen aller untersuchten Bauwerke</b>						Tab. 1
	Stufe 1 keine	Stufe 2 leichte	Stufe 3 starke	Stufe 4 extreme	Gesamt	
Anzahl	7	34	26	9	76	
Prozent	9	45	34	12	100	

Netz ist am Pumpwerk Bornitz nur ein zu vernachlässigender Anstieg der mittleren H<sub>2</sub>S-Gehalte von 0,4 ppm auf 0,9 ppm zu registrieren. Die Spitze fällt allerdings etwas höher aus; dürfte aber auch wieder durch die interne Schlammwasserrückführung verursacht worden sein. Auch bei Überschreitung des H<sub>2</sub>S-Wertes von über 0,5 ppm ist infolge der fehlenden Feuchtigkeit mit keiner Korrosion zu rechnen.

## Zusammenfassung

Durch die zunehmende zentrale Erschließung und durch die Abnahme des spezifischen Abwasseranfalls kommt es in Abwassersystemen immer häufiger zu Geruchs- und Korrosionserscheinungen. Insbesondere in anaeroben Fließstrecken wird Schwefelwasserstoff gebildet, der dann an turbulenten Stellen – verursacht durch Fließwechsel – ausgast und zur Geruchsbelästigung führen kann.

Der Komplexeinsatz des amorphen Abdecksystems in den Pumpwerken unterdrückt in Verbindung mit dem Einsatz des Formverschlussystems in den Kanalschächten wirksam die H<sub>2</sub>S-Emissionen in Entwässerungsnetzen. Die Schwefelwasserstoffgehalte in der Pumpwerksatmosphäre sind im Mittel und in den Spitzen auf Null gesenkt worden. Hinsichtlich der Korrosion liegen die Dauerbelastungen erheblich unter den kritischen Werten. Neben der Reduzierung von H<sub>2</sub>S und anderen Geruchsstoffen wird auch die für Säure erzeugende Mikroorganismen notwendige Feuchtigkeit gemindert, was zu einer dauerhaften Korrosionsvermeidung beiträgt. Die mittleren Standardabwasserparameter (BSB<sub>5</sub>, CSB, TS, N und P) schwanken im Bereich, der für die nord-ostdeutsche Region üblich ist und wurden durch den Einbau des komplexen Einsatzes aus amorphem Abdecksystem und Formverschlussystem nicht verändert. Der Wartungsaufwand erhöhte sich nur leicht.

## LITERATUR

- /1/ Koppe, P.; Stozeck, A.: Kommunales Abwasser, 4. Auflage Vulkan Verlag Essen, 1999
- /2/ ATV-DVWK M 154: Geruchsemissionen aus Entwässerungssystemen – Vermeidung oder Verminderung, GFA Hennef, 2002
- /3/ Frechen, F.-B.: Emissionsminderung an Abwasseranlagen, VDI-Seminar „Gerüche in der Außenluft“ in Mannheim 29./30.11.2000
- /4/ Barjenbruch, M.: Vermeidung von Geruchsentwicklungen im Kanalnetz. In: wwt wasserwirtschaft wassertechnik, 4/2001, S. 35 – 38
- /5/ Unitechnics Firmenprospekt, 2004
- /6/ Barjenbruch, M.: Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben, Komplexeinsatz Amorphes Abdecksystem – Formverschlussystem für die Schmutzwasserüberleitung der Gemeinden Sommersdorf, Meesiger, Schönfeld, Verchen, Borrentin bis zur Kläranlage Bornitz 2006, unveröffentlicht

## KONTAKT

**Prof. Dr.-Ing. M. BARJENBRUCH**  
 TU Berlin, FG Siedlungswasserwirtschaft  
 Sekr. TIB 1B 16  
 Gustav-Meyer-Allee 25  
 13355 Berlin  
 Tel.: 030/31472246  
 Fax: 030/31472248  
 E-Mail: matthias.barjenbruch@tu-berlin.de