



Sulfide in Abwasseranlagen

Ursachen – Auswirkungen – Gegenmaßnahmen

Zement-Merkblatt
Tiefbau

Bauberatung Zement

Für die Einleitung von Abwasser in öffentliche Abwasseranlagen besteht die gesetzliche Forderung, Schadstoffe durch produktions- und abwassertechnische Maßnahmen auf ein Minimum zu begrenzen. Es ist sicherzustellen, daß die Anlagen in ihrem Bestand und ihrer bestimmungsgemäßen Funktion nicht beeinträchtigt und daß das in ihnen beschäftigte Personal gesundheitlich nicht gefährdet werden. Darüber hinaus darf die Abwasserreinigung nicht über Gebühr erschwert sein, und es dürfen keine belästigenden Gerüche auftreten. Eine Hauptaufgabe der Abwassertechniker ist deshalb, Abwasser in aerobem, d.h. frischem und sauerstoffreichem Zustand dem Klärprozeß zuzuführen. Geht Abwasser in den anaeroben, d.h. sauerstofffreien Zustand über, können aus einem zunächst völlig harmlosen Abwasser neue Probleme, sog. Sulfidprobleme, entstehen. Diese sind sowohl in der Kanalisation als auch in Kläranlagen möglich. In Kläranlagen treten Sulfidprobleme jedoch nur dort auf, wo anaerobe Klärverfahren angewendet werden oder wo z.B. Becken mit anaerobem Inhalt abgedeckt sind und der Gasraum keinen Luftzutritt hat. In diesem Merkblatt werden Sulfidprobleme, deren Ursachen, Auswirkungen und Gegenmaßnahmen in der Kanalisation beschrieben. Die Aussagen sind teilweise auf Kläranlagen übertragbar.

1 Ursachen

In sachgerecht geplanten und betriebenen Kanalnetzen sind wegen günstiger Sauerstoffverhältnisse im Abwasser Sulfidprobleme nicht zu erwarten. Besonderer Beachtung bedürfen aber immer:

- Bereiche, in die sulfidhaltige Abwässer direkt eingeleitet werden,
- Übergabeschächte am Ende von Druckleitungen,
- Kanäle mit geringem Gefälle, mit Teilfüllung und langen Aufenthaltszeiten des Abwassers.

Der Schwefelkreislauf im Abwasserkanal ist aus Bild 1 ersichtlich. Voraussetzung für eine kritische Sulfidentwicklung sind Schwefelverbindungen in organischer und anorganischer Form. Sie werden primär durch bestimmte Industrie- und Gewerbebetriebe direkt eingeleitet. Einzelheiten dazu enthält das ATV-Regelwerk, wie z.B. das Arbeitsblatt A 115 [1]. Sulfide können sich auch durch bakteriellen Abbau von Schwefelverbindungen innerhalb der Abwasseranlagen entwickeln.

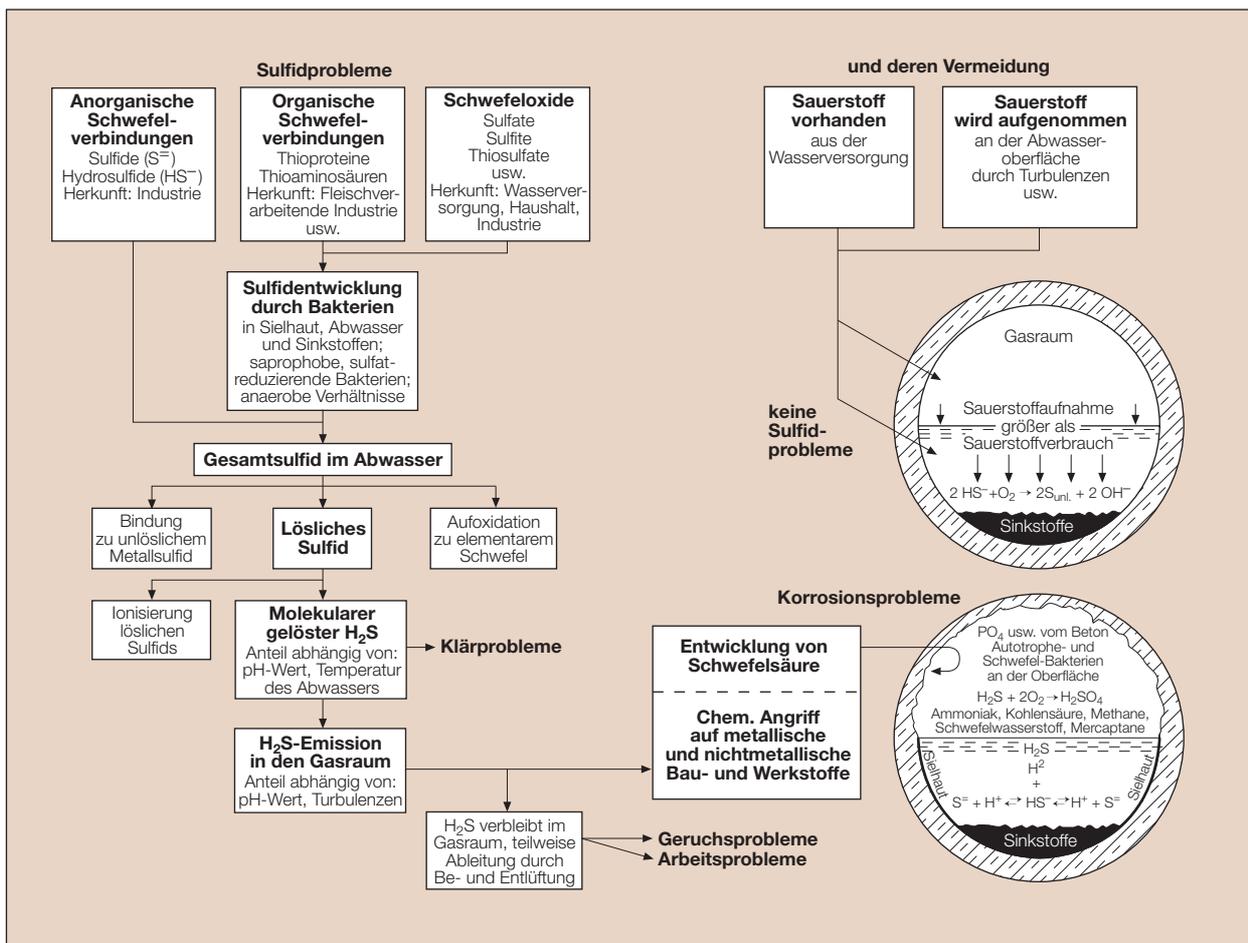


Bild 1: Sulfidprobleme und deren Vermeidung [2]



Bild 2: Sulfidproblem Arbeitssicherheit



Bild 5: Sulfidproblem Korrosion (Schachtbauwerk am Ende einer Druckleitung)



Bild 3: Sulfidproblem Blähschlamm



Bild 4: Sulfidproblem Geruchsbelästigung

2 Auswirkungen

Durch die Sulfidentwicklung in Abwasserbauwerken können, bedingt durch die Anwesenheit von Schwefelwasserstoff (H_2S), die Sulfidprobleme entstehen. Dazu gehören Fragen der Arbeitssicherheit, Schwierigkeiten bei der Abwasserreinigung, Geruchsbelästigung und die Korrosion von Bau- und Werkstoffen.

Arbeitssicherheit: Schwefelwasserstoff ist eine Gefahr für das in Abwasseranlagen arbeitende Personal (Bild 2). Er entweicht spontan aus anaerobem Abwasser, wenn dieses zuflußbedingt mit einem frischen, warmen oder sauren Abwasser vermischt wird. Dadurch können plötzlich lebensgefährliche Gaskonzentrationen in der Kanalatmosphäre auftreten.

Klärprobleme: Mit der Sulfidentwicklung verbunden ist ein übermäßiges Wachstum fadenförmiger Mikroorganismen im Belebtschlamm. Dadurch kommt es in Nachklärbecken von Kläranlagen zu Störungen bei der Schlammsedimentation (Bild 3). Verfahren, die Fadenbildner aus dem Belebtschlamm schnell und wirksam zu beseitigen, gibt es zur Zeit nicht.

Geruchsprobleme: Abwassergerüche stören Anlieger von Abwasseranlagen empfindlich (Bild 4). Geruchsbelästigungen sind besonders unangenehm, wenn Abwasser Schwefelwasserstoff enthält. Damit Geruchsprobleme im Bereich von Kläranlagen nicht auftreten, sind Maßnahmen zur Erfassung und Reinigung der Abluft erforderlich.

Korrosion von Bau- und Werkstoffen: Entweicht Schwefelwasserstoff aus dem Abwasser, entsteht im Gasraum auf der Oberfläche von Abwasserbauteilen elementarer Schwefel. Dieser ist ein Substrat für Schwefel-(Thio-)bakterien. Wenn die Lebensbedingungen für die Spezies Thiooxidans gegeben sind, kann der pH-Wert bis auf pH 1 fallen. Damit ist ein sehr starker Säureangriff auf Zementmörtel und Beton (Bild 5) sowie auf fast alle metallischen Bau- und Werkstoffe möglich.

3 Gegenmaßnahmen – Vermeidung von Sulfidproblemen

3.1 Ermittlung der Sulfidbedingungen in Freispiegelleitungen

Bei der Planung von Abwasseranlagen ist über die hydraulische Bemessung hinaus immer eine Untersuchung der zu erwartenden Sulfidverhältnisse durchzuführen. Für die Entwurfsarbeit gibt es

rechnerische Überschlagsverfahren und Diagramme, mit deren Hilfe bei Freispiegelleitungen zu erwartende Sulfidbedingungen abgeschätzt werden können. Werden kritische Grenzwerte überschritten, muß der Sulfidgehalt des Abwassers an verschiedenen Stellen des Systems rechnerisch genau ermittelt werden [2, 3].

Überschlagsverfahren: Die Sulfidentwicklung in Abwasserleitungen ist davon abhängig, wieviel Sielhaut¹⁾ vorhanden ist. Bei einer Begrenzung des Sielhautanteils auf höchstens 15 % des benetzten Rohrfumfangs stellen sich in der Praxis keine Sulfidprobleme ein. Auf dieser Grundlage können kritische hydraulische Verhältnisse mit Hilfe von Entwurfsdiagrammen (Bild 6) rechtzeitig erkannt werden. Als Parameter sind Abflußgeschwindigkeit (v), Rohrdurchmesser (D) sowie Grenzlinien für den Sielhautanteil von < 15 % für den Füllgrad $d/D = 0,2, 0,3$ und $0,5$ eingetragen. Man geht mit dem Abfluß bei Vollfüllung in das Entwurfsdiagramm bis zu der Linie für das Verhältnis d/D des zu untersuchenden Teilabflusses. Jede mögliche Kombination von Rohrdurchmesser (D) und Sohlgefälle (I) links der Linien d/D gewährleistet, daß der kritische Sielhautanteil nicht überschritten wird und daß auch ein ablagerungsfreier Fließzustand zu erwarten ist.

- ¹⁾ Sielhaut: In Abwasserkanälen sich z.B. auf Bauteiloberflächen bildende dünne Schicht aus Bakterienfleisch.
²⁾ Biochemischer Sauerstoffbedarf: Menge elementaren Sauerstoffs, die beim Abbau der organischen Stoffe eines Abwassers von Mikroorganismen innerhalb von fünf Tagen verbraucht wird.

Berechnung des Sulfidgehaltes: Der Sulfidgehalt des Abwassers in Freispiegelleitungen kann rechnerisch unter Berücksichtigung von $BSB_5^{2)}$, Sulfatgehalt und Abwassertemperatur für einzelne Leitungsabschnitte ermittelt werden [2, 3]. Wird der kritische Grenzwert von 1,5 mg/l Abwasser überschritten, sind günstigere hydraulische Randbedingungen anzustreben und darüber hinaus Maßnahmen zur Erhöhung des Sauerstoffgehaltes im Abwasser erforderlich. Wird der Grenzwert unterschritten, sind Gefälle und Durchmesser der Leitung richtig gewählt.

3.2 Ermittlung der Sulfidbedingungen in Druckleitungen

Um schon in der Entwurfsphase bei Druckleitungen die zu erwartende Sulfidentwicklung voraussagen zu können, gibt es verschiedene rechnerische Ansätze sowohl für den stetigen als auch für den zeitweiligen Pumpbetrieb [2, 3]. Dabei sind die Bedingungen der ersten Betriebsjahre und die des Endzustands eines zu entsorgenden Gebietes getrennt zu untersuchen.

3.3 Bautechnische Planung

Freispiegelleitungen: Bei der Gestaltung der Baukörper sind angreifbare Flächen möglichst klein zu halten. Feingliedrige Bauteile, Grate und porenreiche, nicht geschlossene Oberflächen sind zu vermeiden. Kanten, Ecken und Kehlen sollten ab- bzw. ausgerundet sein. Waagerechte Bauwerks- und Auftrittsflächen sind, soweit möglich, zu vermeiden und zur Wasserabführung mit einer Neigung von 1:5 anzulegen.

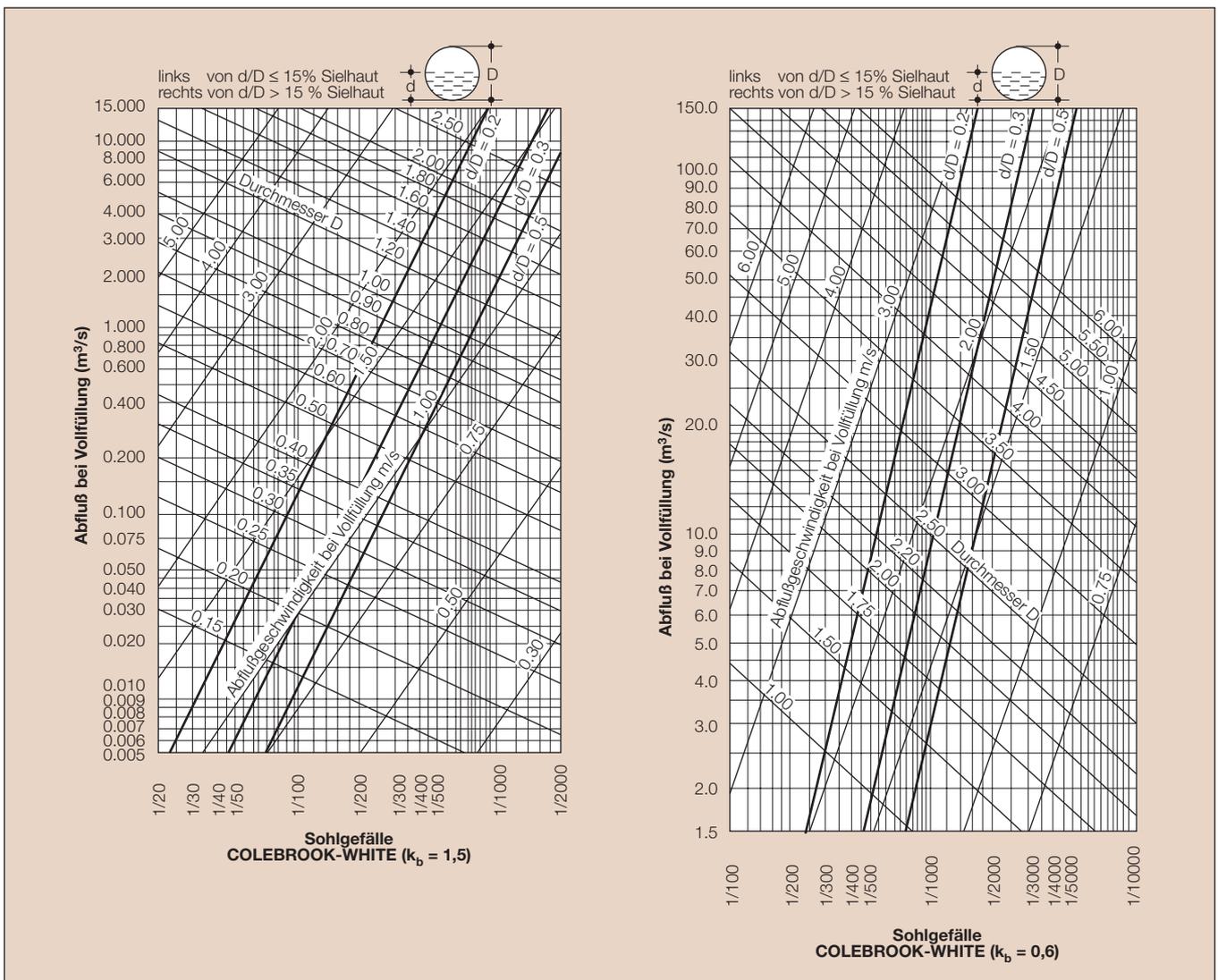


Bild 6: Entwurfsdiagramme [2]

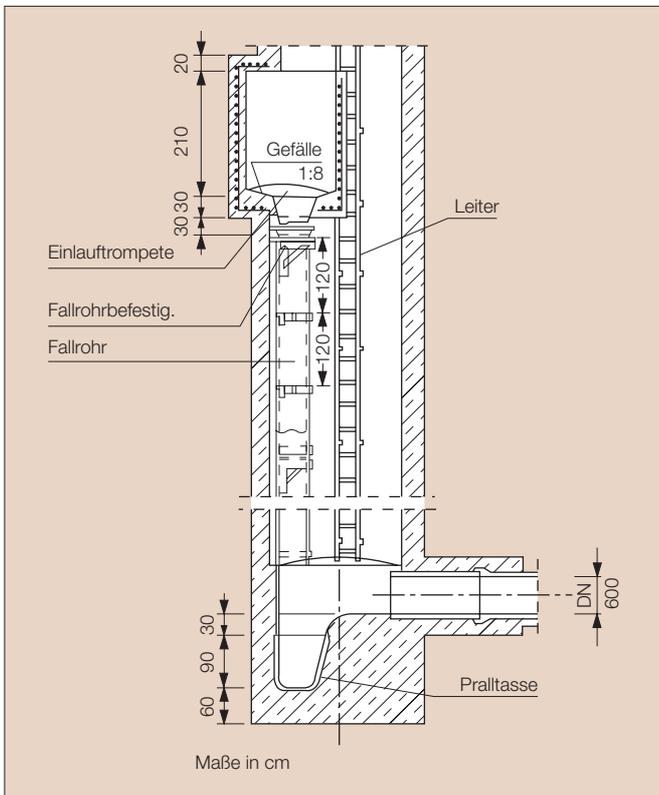


Bild 7: Absturzbauwerk mit Einlauftrompete [2]

Kurven-, Verbindungs- und Absturzbauwerke erfordern besondere Aufmerksamkeit, da hier durch Richtungs-, Gefälle- und Nennweitenwechsel häufig neue hydraulische Bedingungen und Veränderungen in der Abwasserzusammensetzung möglich sind.

Abwasser, das frisch in Abwasseranlagen eingeleitet wird, soll so lange wie möglich im aeroben Zustand gehalten werden. Dazu dienen alle Maßnahmen, durch die Turbulenzen im Abwasserstrom hervorgerufen werden.

Schon im Anfangsbereich eines Kanalnetzes soll das Sohlgerinne innerhalb der Schächte eine zügige Gerinneführung und ein gleichmäßiges Gefälle aufweisen. Vorsprünge in den Abwasserstrom, scharfe Krümmungsradien sowie plötzliche Nennweitenwechsel in der Sohle sind zu vermeiden. Letztere sind entweder im Sohlgerinne anzugleichen, oder es ist ein kleiner Absturz am einmündenden Kanal einzubauen. Feststoffablagerungen müssen grundsätzlich vermieden werden. Zur Wahrung günstiger Luftstromverhältnisse sind Hindernisse zu vermeiden und Rohrscheitel möglichst in gleicher Höhe anzuordnen.

Im Bereich sulfidhaltiger Abwässer sind Turbulenzen grundsätzlich kritisch zu beurteilen, da gleichzeitig mit der Sauerstoff-

aufnahme eine Sulfidemission verbunden ist. Ist Schmutzwasser stark belastet oder anaerob, sind Turbulenzen insbesondere in den Zeiten mit höchster Abflußrate und in den ersten Entwicklungsjahren eines zu entsorgenden Gebietes zu vermeiden. Bei Nennweiten bis 400 mm (DN 400) sind Untersturzbauwerke vorzuziehen. Bei größeren Nennweiten sind Absturzbauwerke zweckmäßig. Abstürze sollten immer dort vorgesehen werden, wo eine Verbesserung des Sauerstoffgehaltes im Abwasser erforderlich ist. Sie sind zu vermeiden, wenn der Sauerstoffgehalt gering oder wenn bereits anaerobes Abwasser vorhanden ist. Bei gleichem Höhenunterschied erfolgt in Strecken mit geringem Gefälle und Abstürzen eine etwa fünfzigmal bessere Sauerstoffaufnahme des Abwassers als in Strecken ohne Absturz. Wenn Sulfidprobleme bei Untersturzbauwerken auftreten, ist eine Zwangsbe- und -entlüftung erforderlich. Diese muß so ausgelegt sein, daß ein ständig wirkender Luftstrom das während des Absturzes frei werdende Sulfid sicher abführt. Bei großer Absturzhöhe ist eine widerstandsfähige Pralltasse mit Wasserpolster erforderlich. Der Abwasserstrom soll stromabwärts gerichtet sein und unter dem niedrigsten Wasserspiegel des Hauptkanals in diesen einmünden. Die Absturzenergie des fallenden Wassers muß durch Reibung bzw. Verwirbelung des Abwassers abgebaut werden. Dieses läßt sich durch einen Spiralfuß des Abwassers erreichen, der durch eine konzentrisch angeordnete spiralförmig ausgebildete Absturzkammer erzeugt wird (Bild 7). Ist eine hohe Sulfidemission zu erwarten, sind Absturzkammer, Fallrohr und anschließende Abwasserleitung besonders zu entlüften.

Pumpwerke, Druckleitungen: Sulfidprobleme gehen in der Regel von Pumpwerken und Druckleitungen aus und treten in den stromabwärts liegenden Bauteilen auf. Rückstau im ankommenden Kanal ist zu vermeiden. Er verringert stromaufwärts die Fließgeschwindigkeit, vermehrt Feststoffablagerungen und sorgt für starken Sauerstoffverbrauch. Ausnahmen gelten bei Mischwassersystemen, bei denen z.B. ein Rückstau während der Regenereignisse zulässig ist.

Die Sulfidentwicklung im Auffangbehälter der Pumpstation ist im allgemeinen wegen der turbulenten Abwasserbedingungen und wegen wenig vorhandener Sielhaut gering. Der Sauerstoffgehalt einfließenden Abwassers muß innerhalb des Sammelbehälters möglichst konstant gehalten werden. Sulfidfreies Abwasser soll deshalb in den Behälter abstürzen, um so für einen zusätzlichen Sauerstoffeintrag zu sorgen. Enthält das zufließende Abwasser aber Sulfide, soll es unter dem Ausschaltpegel der Pumpen in den Behälter einmünden. Dadurch werden Turbulenzen, verbunden mit einer Sulfidemission, verringert (Bild 8).

Der Pumpensumpf ist so auszubilden, daß eine möglichst große Wasseroberfläche zur Sauerstoffaufnahme vorhanden ist und wenig Wandbereiche eine ständig untergetauchte Sielhaut aufweisen. Durch ein selbstreinigendes Gefälle und ständige Bewegung des Abwassers sind Feststoffablagerungen zu verhindern. Günstig sind Pumpstationen mit zwei Sammelbehältern, da sich der Pumpbetrieb dann besser unterschiedlichen Abwasserstromstärken anpassen läßt. Zur Abwasserfrischhaltung kann Luft grobblasig eingetragen werden. Um sichere Arbeitsbedingungen zu wahren, müssen Sammelbehälter so be- und entlüftet sein, daß mindestens ein fünffacher Luftaustausch in der Stunde gewährleistet ist.

Die Aufenthaltszeit des Abwassers in Pumpwerken und Druckleitungen ist durch planerische und betriebliche Maßnahmen so kurz wie möglich zu halten. Pumpenleistung, Länge, Steigung, Durchmesser und Förderhöhe der Druckleitung sind so zu bemessen, daß z.B. am Übergabeschacht zur Freispiegelleitung keine kritischen Sulfidgehalte auftreten. Auch bei minimalem Abwasserstrom, z.B. in der Nacht, darf die Aufenthaltszeit des Abwassers nicht mehr als zwei Stunden betragen.

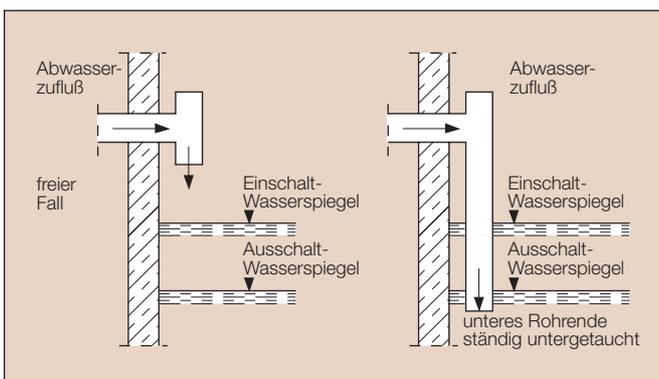


Bild 8: Abwasserzuläufe in Sammelbehältern [2]

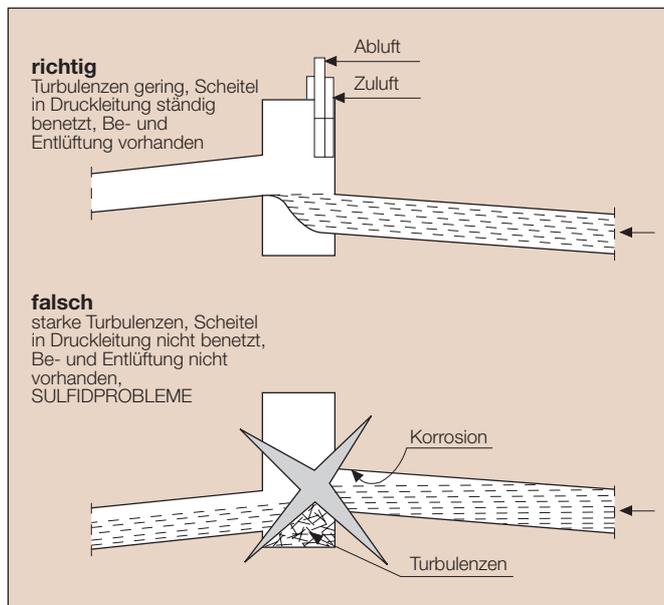


Bild 9: Übergabeschacht am Ende einer Druckleitung [2]

pH-Wert im Kondenswassertropfen an der Kanalwandung	Zellzahlen	Angriffsgrad der Korrosion	Abtrag der Betonoberfläche pro Jahr	Sanierungsmaßnahmen erforderlich nach Jahren	Korrosionsschutzmaßnahmen
13 12 11 10 9 8 7	0 - 10 ²	schwach	absandend	> 80	Dichter Beton, keine besonderen Maßnahmen erforderlich
6 5 4 3 2 1 0					
	10 ³ - 10 ⁵	mittel	< 0,5 mm	> 40	HS-Zement, Hartkalkstein, Opferbeton
	10 ⁶ - 10 ⁸	stark	> 0,5 mm	> 5	Schutz des Betons durch Auskleidungen

Bild 10: pH-Wert, Zellzahlen, Korrosionsgrad und -schutz [5]

Druckleitungen sollen stetig ansteigen und so kurz wie möglich sein. Die Aufenthaltszeit muß so weit wie möglich durch die Wahl kleinerer Rohrdurchmesser verkürzt werden. Anzahl und Leistung der Pumpen und Notaggregate sowie die Anzahl der Druckleitungen sind so festzulegen, daß die Sielhautentwicklung an der Rohrwand durch hohe Fließgeschwindigkeiten klein gehalten wird. Mehrere Leitungen oder kleinere Durchmesser wirken sich günstig aus. Bei sehr langen Standzeiten des Abwassers sollen Leitungen leerlaufen oder z.B. mit Leitungswasser gespült werden können. Druckleitungen, die sich der Topografie anpassen, benötigen an den Hoch- und Tiefpunkten Be- und Entlüftungsventile sowie Entleerungsarmaturen. Zu untersuchen ist, ob das Abwasser während der Aufenthaltszeit in der Druckleitung durch pneumatischen Pumpbetrieb aerob gehalten werden kann. Korrosion im Scheitel am Druckleitungsende kann vermieden werden, wenn der Abflußquerschnitt der Leitung bis zum Ende gefüllt ist.

Der Übergabeschacht am Ende einer Druckleitung erfordert besondere Aufmerksamkeit. Hier sind vermehrt Geruchs-, Korrosions- und Arbeitssicherheitsprobleme möglich. Turbulenzen müssen bei anaeroben Verhältnissen minimiert und eine Be- und Entlüftung des Gasraumes vorgesehen werden. Bild 9 zeigt einen richtigen und einen falschen Entwurf eines Übergabeschachtes am Ende einer Druckleitung. Gegebenenfalls bedarf eine kurze Entgasungsstrecke eines Oberflächenschutzes.

Oberflächenschutz von Betonbauteilen: Beton wird durch starke Säuren generell angegriffen. Der Korrosionsgrad ist jedoch je nach Art der Säure verschieden und von den Baustoffeigenschaften abhängig. Bei Verwendung kalksteinhaltiger Zuschläge ist die Korrosionsrate wesentlich geringer als bei Ver-

wendung von quarzitischem Material. Zement mit hohem Sulfatwiderstand (HS-Zement) ist vorzuziehen. In Bild 10 ist der für biogenen Schwefelsäureangriff gültige Zusammenhang zwischen pH-Wert der Säurelösung, Zellzahl der Mikroorganismen und zu erwartendem Korrosionsgrad zusammengefaßt. Oberhalb eines Wertes von pH 3 reichen betontechnologische Maßnahmen aus, unter pH 3 ist ein Oberflächenschutz erforderlich.

Als Oberflächenschutz bei Abwasserbauteilen gegen biogenen Schwefelsäureangriff kommen in der Regel Auskleidungen entsprechend [4] oder mit entsprechender Zulassung zur Anwendung. Dazu gehören Auskleidungen aus 2 bis 3 mm dicken PVC-Hart-Profilen mit Verankerungsrippen im Beton und aus 5 bis 8 mm dicken PVC-Hart-, PE- oder GFK-Platten. Sie werden entweder als verlorene Schalung verwendet oder nachträglich eingebaut, gegebenenfalls mit Befestigungsmaterial gehalten und der Fugen wegen glasfaserverstärkt überlaminiert.

3.4 Verbessende Maßnahmen bei bestehenden Abwasseranlagen

Zu den verbessernden Maßnahmen zur Vermeidung einer kritischen Sulfidentwicklung bei bestehenden Abwasseranlagen gehören bauliche und betriebliche Veränderungen sowie eine Behandlung einzuleitenden Abwassers.

Betriebliche Maßnahmen: Sulfidprobleme erfordern eine laufende spezifische Überwachung der vorhandenen Bedingungen. Durch systematische Abwasseruntersuchungen können kritische Bereiche rechtzeitig identifiziert werden. Dabei ist zu beachten, daß die Sulfidverhältnisse innerhalb einer Rohrleitung z.B. in Abhängigkeit von Tages- und Jahreszeit sowie von Wochentag und Regenhäufigkeit verschieden sein können. Untersuchungsprogramme sind hinsichtlich Verteilung und Häufigkeit der Probenahme in Abhängigkeit von möglichen Veränderungen festzulegen. Es sind mindestens Sulfidgehalt, pH-Wert, biochemischer Sauerstoffbedarf, Sulfatgehalt und Abwassertemperatur zu ermitteln. Die Prüfungen müssen in bestimmten Zeitabständen wiederholt werden, da sich sowohl die abwassertechnischen als auch die betrieblichen Randbedingungen ändern können.

Fremdwassereinleitung: Um in der kritischen Entwicklungsphase eines zu entsorgenden Gebietes die Abwasserabflusssmengen zu erhöhen, kann Leitungs-, Fluß- oder Regenwasser eingeleitet werden. Dadurch wird das Abwasser verdünnt und Ablagerungen werden verhindert. Ist im Fremdwasser viel gelöster Sauerstoff vorhanden, wird die Sulfidentwicklung unterbunden, zumindest jedoch bedeutend verringert. Enthält das Fremdwasser hohe Sulfid- oder Sulfatmengen, dann ist eine unerwünschte Vermehrung anaerober Bakterien möglich.

Kanalreinigung: Sielhaut und Feststoffablagerungen fördern die Sulfidentwicklung. Gelingt es, diese aus den Rohrleitungen zu räumen, bleiben kritische Sulfidverhältnisse über längere Zeit aus. Kanäle mit Teilfüllung und Ablagerungen sind regelmäßig zu reinigen. Bild 11 zeigt die Wirkung einer Kanalreinigung auf den Sulfidgehalt eines Abwassers mit einer bemerkenswerten Langzeitwirkung.

Durch Abwaschen der Bauteile im Gasraum mittels Schieber-systemen, mechanischem Reinigungsgerät (z.B. Kanalharke, Iltis, Spülkugel) sowie durch Hochdruckspülgeräte wird eine anhaltende Verbesserung des pH-Wertes an Bauteiloberflächen erzielt.

Abwasserbehandlung: Eine Abwasserbehandlung soll das Sulfidrisiko vermindern. Durch eine Vorbehandlung gewerblicher und industrieller Abwässer kann z.B. der Sauerstoffverbrauch so reduziert werden, daß die natürliche Belüftung des Abwassers im Kanal ausreicht, um den Bedarf für die ablaufenden biologischen Prozesse zu decken. Abwasser kann durch

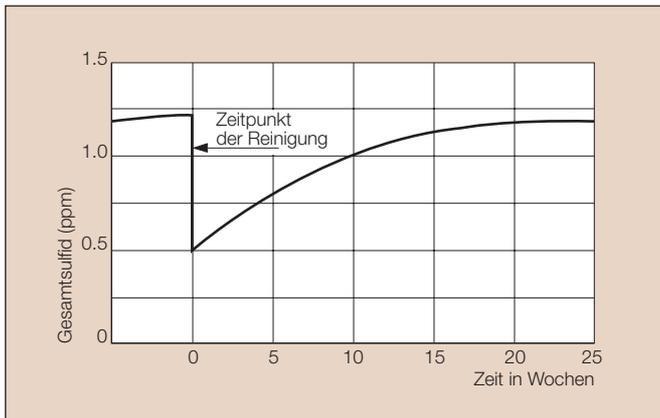


Bild 11: Zeitliche Wirkung einer Kanalreinigung [2]

Oberflächenverwirbelung, durch Einspeisung von reinem Sauerstoff, Wasserstoffperoxid oder Nitraten aerob gehalten werden. Die Behandlung z.B. mit Kalkhydrat wird zur Anhebung des pH-Wertes angewendet. Dadurch gehen Sielhautentwicklung und Sulfidemission zurück. Hat Abwasser einen pH-Wert von etwa 8,5, entweicht kein Sulfid. Geringe Chlorung zerstört Sulfide, erhöhte Chlorzugaben wirken hemmend oder abtötend auf die sulfidproduzierenden Bakterien. Durch die Zugabe von Metallsalzen (Eisen-, Zink- oder Kupfersalz) wird gelöstes Sulfid zu unlöslichem Metallsulfid gebunden. Bei stetig steigend verlegten Druckleitungen können durch Druckluft erzeugte Turbulenzen für Sielhautabtrag und Sauerstoffeintrag sorgen.

Reinigung und Betrieb von Druckleitungen: Ablagerungen und Sielhäute in Druckleitungen müssen regelmäßig durch Spülung mit erhöhter Fließgeschwindigkeit beseitigt werden. Dafür sind gegebenenfalls zuschaltbare Pumpaggregate erforderlich. Bei mehreren Druckleitungen dürfen nur die für das momentan anfallende Abwasser erforderlichen genutzt werden. Druckleitungen, die nicht gebraucht werden, müssen geleert oder mit Leitungswasser gefüllt werden.

Literatur

- [1] Arbeitsblatt A 115 – Einleiten von nicht häuslichem Abwasser in eine öffentliche Abwasseranlage; ATV Regelwerk Abwasser-Abfall; Abwassertechnische Vereinigung, Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik, St. Augustin, 1994
- [2] Thistlethwayte, D.: Sulfide in Abwasseranlagen, Beton-Verlag, Düsseldorf 1979
- [3] Bayer, E.; Kampen, R.; Klose, N.; Moritz, H.: Betonbauwerke in Abwasseranlagen, Beton-Verlag, Düsseldorf 1995
- [4] Richtlinie für Auswahl und Anwendung von Innenauskleidungen mit Kunststoffbauteilen für Misch- und Schmutzwasserkanäle, Anforderungen und Prüfungen, Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin 1982
- [5] Bielecki, R.; Schremmer, H.: Biogene Schwefelsäure-Korrosion in teilgefüllten Abwasserkanälen, Leichtweiß-Institut, Braunschweig 1987

Bauberatung Zement



Wir beraten Sie in allen Fragen der Betonanwendung

Bauberatung Zement Bayern	Rosenheimer Str. 145 g	81671 München	Tel. 089/45098490	Fax: 45098498
Bauberatung Zement Bayern	Bucher Straße 3	90419 Nürnberg	Tel. 0911/933870	Fax: 9338733
Bauberatung Zement Beckum	Annastraße 3	59269 Beckum	Tel. 02521/17275	Fax: 950984
Bauberatung Zement Düsseldorf	Schadowstraße 44	40212 Düsseldorf	Tel. 0211/353001	Fax: 353002
Bauberatung Zement Hamburg	Immenhof 2	22087 Hamburg	Tel. 040/2276878	Fax: 224621
Bauberatung Zement Hannover	Hannoversche Str. 21	31319 Sehnde-Höver	Tel. 05132/6015	Fax: 6075
Bauberatung Zement Ost	Ahornstraße 25	12163 Berlin	Tel. 030/7912278	Fax: 7914727
Bauberatung Zement Ost	Kieler Straße 67	04357 Leipzig	Tel. 0341/6010201	Fax: 6010290
Bauberatung Zement Stuttgart	Leonberger Straße 45	71229 Leonberg	Tel. 07152/71081	Fax: 9792960
Bauberatung Zement Wiesbaden	Friedrich-Bergius-Str. 7	65203 Wiesbaden	Tel. 0611/1821170	Fax: 182117-16

Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V. · Postfach 510566 · 50941 Köln · <http://www.BDZement.de> · eMail:BDZ@BDZement.de