

Geruchsbelastungen durch Berechnung vermindern und vermeiden

Moderne Abwasserbehandlung für Kommunen und Indirekteinleiter

Demographische Entwicklungen, rückläufige Wasserverbräuche sowie die Zentralisierung der Abwasserentsorgung führen zu langen Aufenthaltszeiten des Abwassers im Leitungsnetz. Dadurch erhöhen sich die Konzentrationen der Abwasserinhaltsstoffe, bei zunehmenden Temperaturen ideale Bedingungen für die Bildung von Schwefelwasserstoff. Dieser verursacht am häufigsten Geruchsbelästigungen in Zusammenhang mit Entwässerungssystemen. Auch wenn sich die betroffenen Anlieger empfindlich gestört fühlen – die Geruchsbelästigungen sind das kleinere Übel. Verursacht wird sie durch biogene Schwefelsäurekorrosion im Leitungsnetz. Das führt zu einer Gefährdung des Bedienpersonals sowie zu einer Beschädigung der Bausubstanz. Nicht nur Kommunen müssen sich mit dieser Problematik beschäftigen, auch kleine und große Unternehmen, die in Wirtschaft und Industrie stehen, müssen sich als Indirekteinleiter damit auseinandersetzen. Exemplarisch wird ein aktuelles Projekt zur Behandlung von Abwässern eines Kreuzfahrtschiffes vorgestellt.

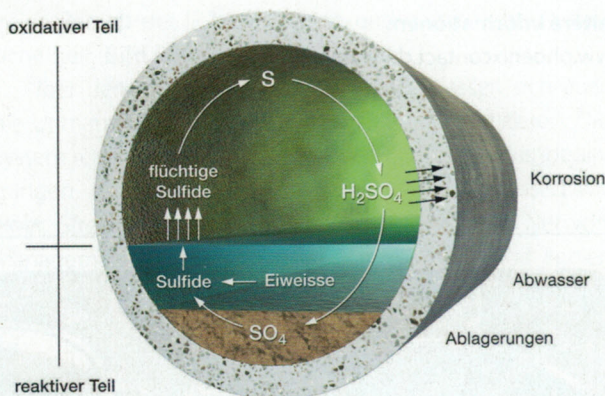


Bild 1: Darstellung der Sulfidentwicklung, Emission und Einwirkung auf die Bausubstanz am Beispiel eines Freispiegelkanals [1]

Die Entstehung von Geruchsbelastungen

Wie entstehen Sulfide bzw. Schwefelwasserstoff bei der Entwässerung? Grundsätzlich unterscheidet man zwischen Sulfiden, die in das Abwasser eingeleitet werden und solchen, die im Abwasser im Verlauf des Abwassertransportes gebildet werden.

Im kommunalen Bereich ist die Bildung von Sulfid auf dem Fließwege entscheidend. Die Bildung geschieht dabei durch mikrobielle Stoffumsetzung. Dabei werden von hochgradig spezialisierten Mikroorganismen Sulfat und organische Säuren durch dissimilatorische Stoffumsetzung oxidiert und es entsteht als Nebenprodukt Sulfid (**Bild 1**).

Diese Stoffumsetzungsprozesse finden in den anaeroben Zonen der Sielhaut statt. Anaerobe Zonen entstehen in langen Druckrohrleitungen, großen Freispiegelkanälen mit hohen Fließtiefen und Speichern wie z. B. Pumpenvorlagen mit entsprechenden Aufenthaltszeiten.

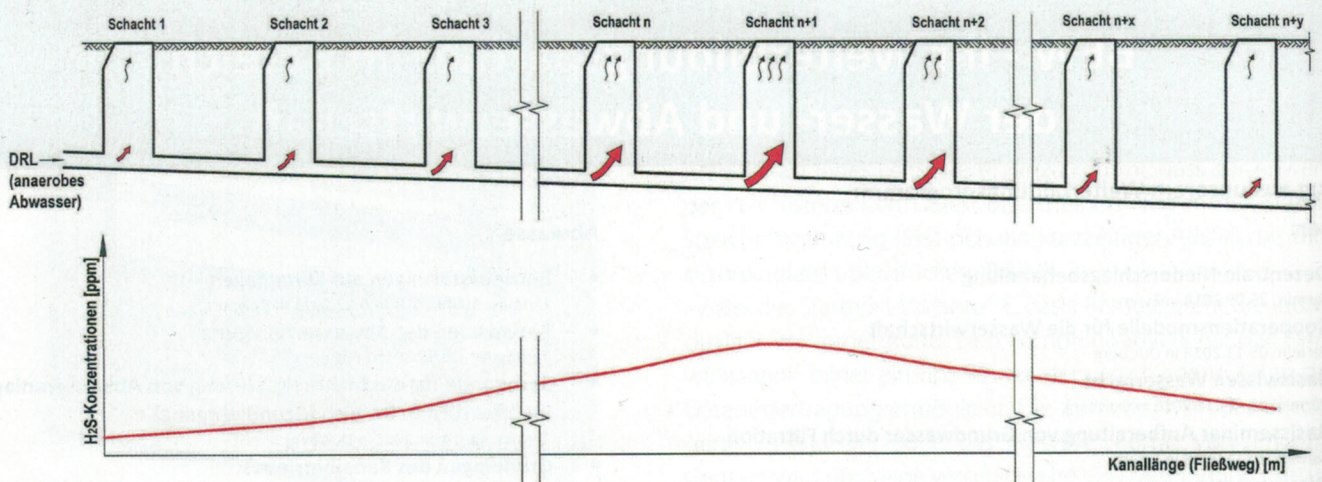


Bild 2: Schematischer Verlauf der Emissionen nach einer Abwasserdruckrohrleitung im Freispiegelkanal

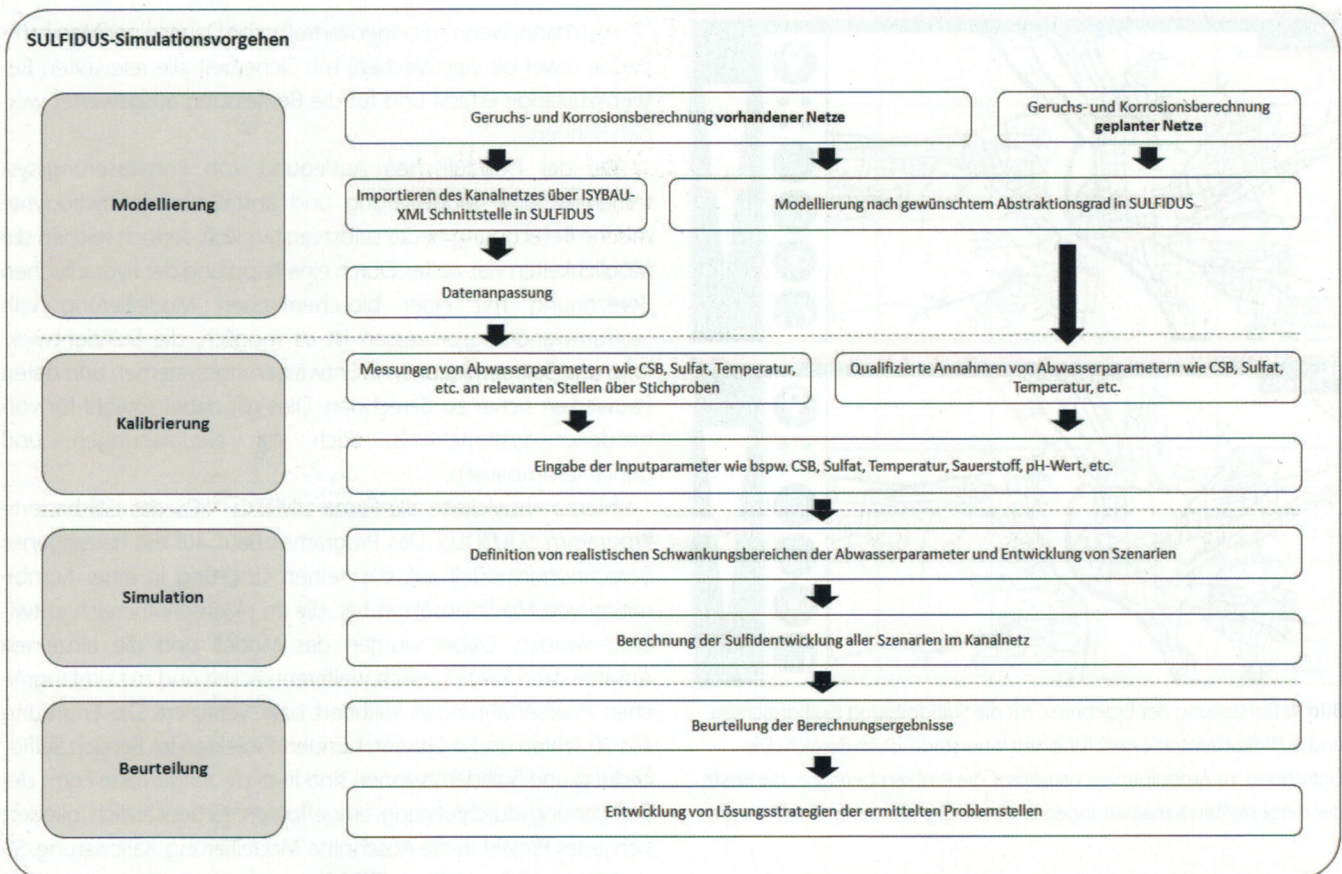


Bild 3: Vorgehen bei der Durchführung zur Berechnung der Sulfidbildung und Sulfidemission

Wie viel Sulfid in den anaeroben Bereichen gebildet wird, ist abhängig von einer Reihe von Rahmenbedingungen wie Temperatur, organische Verschmutzung, Sauerstoffgehalt/Nitrat, Sielhaut, Sulfatgehalt, pH-Wert, Fließgeschwindigkeit, Fließzeit und Betriebsweise/-systeme. In welcher Stufe Sulfid im Abwasser vorliegt, ist stark abhängig vom pH-Wert. Sulfide sind genau genommen nur die S_2 -Ionen [2], jedoch werden im allgemeinen Sprachgebrauch mit Sulfiden auch die anderen Stufen, also undissoziierter gelöster Schwefelwasserstoff (H_2S) und Hydrogensulfid HS^- , bezeichnet. Diesem allgemeinen Sprachgebrauch soll hier gefolgt werden.

Abwasser aus dem häuslichen Bereich enthält bei der Einleitung in die öffentlichen Netze in der Regel kein bzw. nur verschwindend geringe Mengen an Sulfiden. Damit liegen direkte Einleitungen von Sulfiden im häuslichen Abwasserbereich meist unterhalb der Nachweisgrenze. Anders im industriellen, gewerblichen Bereich, in denen im Rahmen von Produktionsprozessen Sulfide eingesetzt werden können oder im Zuge der Abwasserbeseitigung entstehen und damit bereits bei Einleitung in die öffentlichen Netze in erheblichem Umfang vorliegen können.

Schwefelwasserstoff ist ein Gas, das in Wasser nur sehr schwer löslich ist. Dadurch wird der Schwefelwasserstoff bei geeigneten Rahmenbedingungen aus dem Wasser emittieren. Dies ist z. B. der Fall nach Abwasserdruckleitungen, wenn sich die Druckverhältnisse ändern. Dann erfolgt jedoch keine vollständige Spontan-Emission, sondern es beginnt der Prozess der

Ausgasungen, der sich über eine längere Fließstrecke hinziehen kann. Bei Freispiegelkanälen entgast das gebildete Sulfid in der Regel zeit- und ortsnah.

Werden im Anschluss an Abwasserdruckleitungen über die Fließstrecke Schwefelwasserstoffmessungen durchgeführt, so zeigt sich, dass das Maximum der Emissionen in einiger Entfernung vom Übergabeort auftritt. Dies ist neben den Ausgasungseffekten auch den Ventilationsverhältnissen im Kanal geschuldet. **Bild 2** zeigt schematisch den Verlauf der Emissionen im Freispiegelkanal nach einer Abwasserdruckleitung. Ist diese Emissionsstrecke nicht vorhanden bzw. ist diese nicht lange genug, klingen die Emissionen auf der Strecke nicht vollständig ab und es kommt zur Belastung nachfolgender Anlagen wie Pumpwerken und Kläranlagen.

Vermeidung von Geruchsbelastungen durch Berechnung von Schwefelwasserstofffrachten und -konzentrationen

Generell und im Speziellen für Abluftbehandlungsanlagen gilt: Um Maßnahmen gegen Geruch und Korrosion bemessen zu können, ist es notwendig, mindestens die folgenden Punkte zu klären:

- Maximum und Durchschnitt der Sulfidfracht (Wie hoch ist sie?)
- Reichweite und Stärke der Emissionen
- Menge der zu behandelnden Abluft

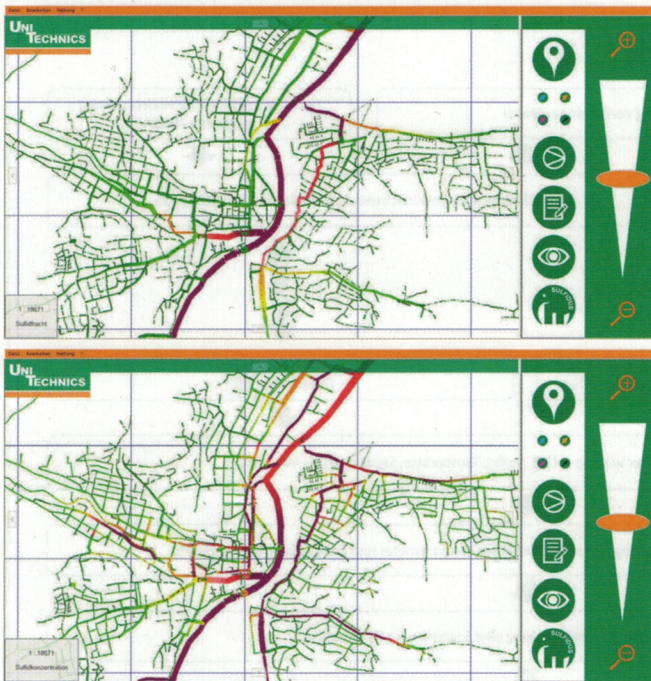


Bild 4: Darstellung der Ergebnisse für die Sulfidbildung (Sulfidfrachten und Sulfidkonzentrationen) für einen innerstädtischen Bereich. Die Einfärbung im Ampelprinzip visualisiert die Problembereiche, die Breite der dargestellten Kanalhaltungen ist abhängig von deren Durchmesser

Darüber hinaus sollten in jedem Falle, auch um eine vorausschauende sichere Bemessung gewährleisten zu können, die ergänzenden Fragestellungen beantwortet werden:

- Was sind die Ursachen für die vorhandenen Belastungen?
- Wie sieht die zukünftige Entwicklung aus?

Diese Fragestellungen rein über eine Messung sicher erfassen zu wollen, ist nur in Ausnahmefällen möglich, nämlich nur dann, wenn die Belastungen sehr homogen verlaufen und die Abwasserzusammensetzung über längere Zeiträume hinweg keinen großen Schwankungen unterliegt.

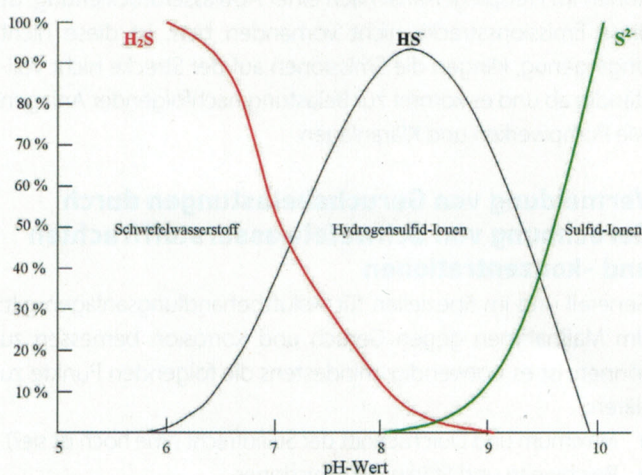


Bild 5: Sulfidgleichgewicht in Abhängigkeit vom pH-Wert [5]

Also dann, wenn mit einer vertretbaren Dauer einer Messkampagne (zwei bis vier Wochen) mit Sicherheit alle relevanten Betriebszustände erfasst und für die Bemessung ausgewertet werden können.

Bei der hydraulischen Auslegung von Entwässerungssystemen ist eine Modellierung und anschließende hydrodynamische Berechnung heute selbstverständlich. Jedoch reichen die Möglichkeiten viel weiter. Durch eine Kopplung der hydraulischen Berechnung mit einer bio-chemischen Modellierung von Stoffumwandlungsprozessen ist es möglich, die Sulfidentwicklung und Sulfidemissionen in Entwässerungssystemen und deren Bauwerken sicher zu berechnen. Dies gilt dabei sowohl für vorhandene Systeme als auch für Neuplanungen und geplante Umbauten.

Hierzu entwickelte die Firma UNITECHNICS das GIS-basierte Programm SULFIDUS. Das Programm baut auf ein hauseigenes Berechnungsmodell auf, das seinen Ursprung in einer Kombination von Modellansätzen hat, die im Hochschulbereich entwickelt wurden. Dabei wurden das Modell und die einzelnen Ansätze darin kontinuierlich weiterentwickelt und mit umfangreichen Praxiserfahrungen kalibriert bzw. verifiziert. Die Erfahrung aus 20 Jahren und mehreren hundert Projekten im Bereich Sulfidbildung und Sulfidemissionen sind in diese zeitgemäße Form der Berechnungsdurchführung eingeflossen. Grundsätzlich gliedert sich jedes Projekt in die Abschnitte Modellierung, Kalibrierung, Simulation und Beurteilung (**Bild 3**).

SULFIDUS ist eine einfach zu bedienende Software für die Planung geruchsfreier Entwässerungssysteme. Mit der Eingabe von Parametern werden komplexe Stoffwechsel-Prozesse im Abwassernetz simuliert. So können Abbauprozesse, wie die Bildung von Sulfid (H_2S), Ausgasungen oder Sauerstoffzehrung, präzise vorausberechnet werden. Im Ergebnis kann so die Entstehung von biogener Korrosion – und damit die Entstehung unangenehmer Gerüche – frühzeitig erkannt bzw. vermieden werden.

Durch die vorhandenen Schnittstellen zum Import von Kanalstammdaten ist ein einfacher Austausch mit den Kanaldatenbanken der Betreiber möglich. Ganze Netze oder Abschnitte können daraus importiert werden und es wird eine detaillierte, kleinteilige, haltungsgenaue Berechnung der Sulfidbildung und der Sulfidemissionen möglich. Genauso ist es aber auch im Rahmen einer Expertenmodellierung möglich, ein größeres Netz zu schaffen und über die Definition von Randbedingungen die Berechnung für aus dem Gesamtsystem herausgelöste Gebiete durchzuführen. Darüber können dann einfach Aussagen zur Veränderung der Situation z. B. durch Neuanschlüsse von Industriebetrieben oder Neubaugebieten erarbeitet werden.

Die Kalibrierung erfolgt mithilfe von regelmäßiger Beprobung des Abwassers. Liegen keine Angaben zu den Abwasserparametern vor, so hat sich im kommunalen Bereich eine Kombination aus der Nutzung von Standardparametern und der Durchführung von Sensitivitätsanalysen für die einzelnen Abwasserparameter bewährt.

Neben diesen Sensitivitätsanalysen können bei den Simulationen selbst alle denkbaren Varianten berechnet werden:

Standardvarianten wie Trocken- oder Regenwetterabflüsse, aber auch Spezialfälle wie sporadische hochbelastete Einleitungen aus Gewerbe oder Industrie.

Im Rahmen der Beurteilung der Ergebnisse können dann Maßnahmen getroffen und bewertet werden. So sind die bei unterschiedlichen Lastfällen z. B. an Pumpwerken auftretenden Sulfidfrachten wichtige Eingangsgrößen für die Dimensionierung der Abluftbehandlungsanlagen. Dadurch wird eine technisch optimierte und wirtschaftliche Anlagenauslegung möglich.

Die Ergebnisse werden visualisiert (vgl. **Bild 4**), und über Ampelfarben können komplexe Ergebnisse einfach an Entscheidungsträger übermittelt werden.

Vermeidung von Geruchsbelastungen durch Indirekteinleitung am Beispiel der Abluftbehandlung von Schiffsabwässern vor Einleitung in lokale Entwässerungssysteme

Große Kreuzfahrtschiffe geben regelmäßig ihr gesammeltes Grauwasser während der Liegezeiten in den Häfen ab. Bedingt durch das Inkrafttreten der Entschärfung MEPC.200(62) [3] ist die Ostsee seit dem 01.01.2013 das erste Sondergebiet nach

Anlage IV des MARPOL-Übereinkommens [4] für die Einleitung von Schiffsabwässern. Deshalb ist in naher Zukunft eine deutliche Zunahme der Schiffswasserabgaben in den anliegenden Häfen zu erwarten, wie beispielsweise Kiel.

Im Hafen geben die Schiffe das Grauwasser als Indirekteinleiter in das Entwässerungsnetz der Stadt ab. Dort war eine weitreichende Änderung der Leitungsführung und Anpassung der Abwasseranlagen nötig. Voruntersuchungen ergaben, dass sich bei ausgewählten Abwasserqualitäten der Kreuzfahrtschiffe Geruchsprobleme im Bereich der Einleitung ergeben können. Mit einer gezielt auf die Geruchsproblematik abgestimmten Abwasserbehandlungsanlage muss dieser entgegengewirkt werden.

Bei der Einleitung von Schiffsabwässern in das Entwässerungssystem der Stadt Kiel bereiten vor allem die Parameter pH-Wert und Sulfid (**Tabelle 1**) Probleme. Da bereits Sulfidkonzentrationen von deutlich weniger als 2 mg/l zu Belastungen in der Abluft im deutlich wahrnehmbaren Bereich führen können, wurde eine Reduktion der Sulfidbelastungen deutlich unter dem genannten Grenzwert durch die Abwasserbehandlung angestrebt.

Nach Vorlage der Berechnungen und Analysen war klar, dass klassische Ansätze zur Bekämpfung von Problemen durch

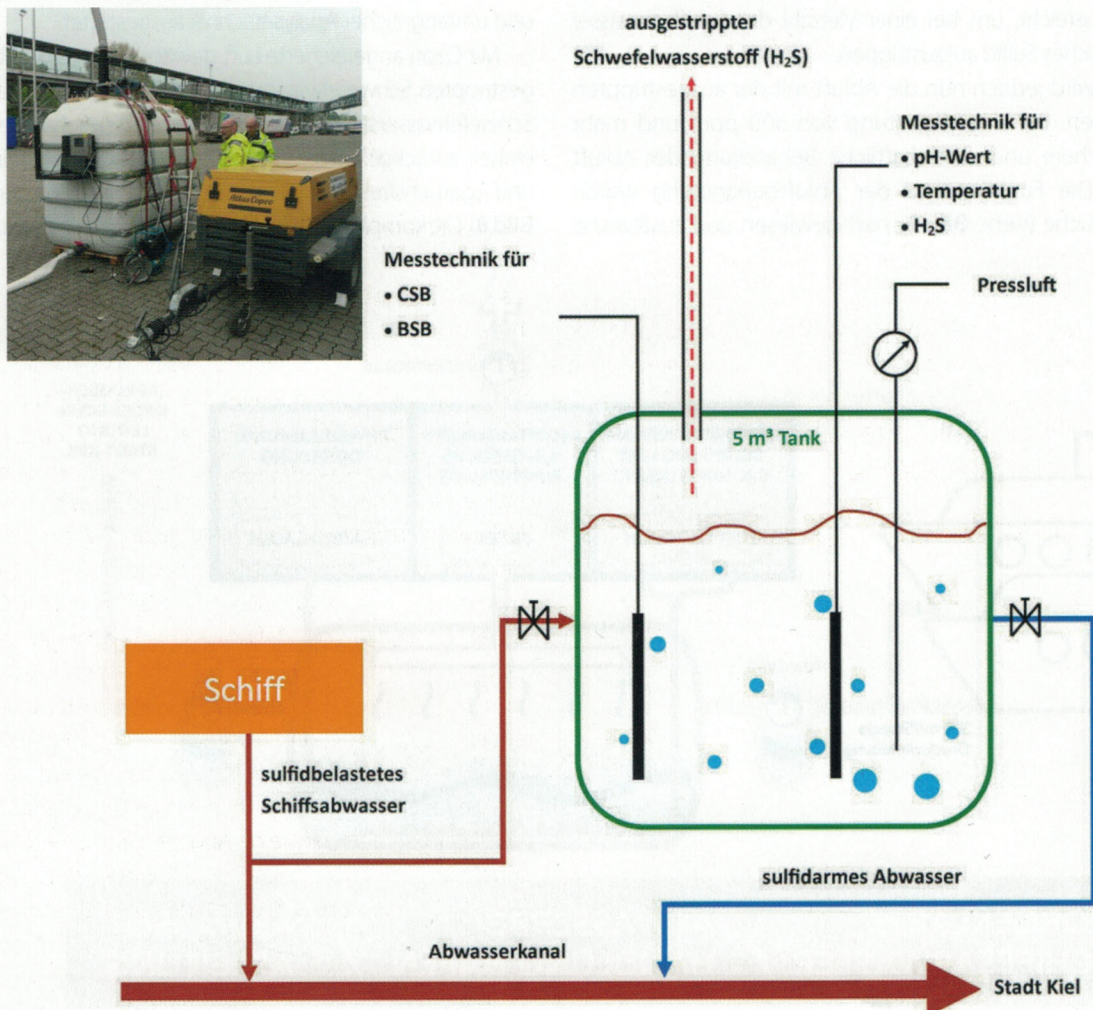


Bild 6: Vorversuche am 5 m³-Tank, durch chargenweise Abwasserentnahme von Grauwässern direkt bei der Abwasserabgabe mit umfangreicher Analytik

Tabelle 1: Zusammenstellung der wichtigsten Parameter pH-Wert, Sulfidkonzentration und Temperatur im Vergleich zu den einzuhaltenden Grenzwerten und dem dadurch angezeigten Handlungsbedarf

Parameter	Grenzwerte	Schiffsabwässer	Handlungsbedarf
pH-Wert	6,5-10	4,7-6,3	Erhöhung des pH-Wertes
Sulfid	max. 2,0 mg/l	0,3-3,7 mg/l	Sulfidreduzierung
Temperatur	max. 35 °C	max. 27 °C	kein Handlungsbedarf



Bild 7: Vorversuche zur Abluftbehandlung am Seehafen Kiel

Schwefelwasserstoff hier nicht funktionieren oder unwirtschaftlich sind. Deshalb wurde ein Konzept entwickelt, das sich den Fakt zunutze macht, dass bei sehr niederen pH-Werten nahezu das gesamte Sulfid als leicht emittierbarer Schwefelwasserstoff vorliegt (vgl. **Bild 5**).

Durch Belüftung der Schiffsabwässer kann der vorhandene Schwefelwasserstoff schnell ausgestrippt werden. Vorversuche an einem 5 m³-Behälter (siehe **Bild 6**) haben dies nachgewiesen. Es konnte gezeigt werden, dass bereits eine Belüftungsdauer von 7 Minuten ausreicht, um bei einer Vielzahl der Schiffsabwässer nahezu sämtliches Sulfid auszustrippen.

Dadurch wird jedoch nun die Abluft mit der ausgestrippten Fracht beladen. Bei einer Belastung von 500 ppm und mehr wird eine sichere und wirtschaftliche Behandlung der Abluft notwendig. Die Funktionalität der Abluftbehandlung wurde über Vorversuche (siehe **Bild 7**) nachgewiesen und zusätzliche

Parameter für die Bemessung der Abluftbehandlungsanlage konnten generiert werden.

Auf Basis der Berechnungen und der Vorversuche wurde ein 75 m³ großer Stauraumkanal aus Steinzeugrohren errichtet, der über ein Druckleitungssystem direkt durch die Kreuzfahrtschiffe beschickt wird. Dieser ist mit grobblasigen Belüftungselementen und umfangreicher Analysetechnik ausgestattet.

Mit Ozon angereicherte Luft gewährleistet den Abbau des ausgestrippten Schwefelwasserstoffs im Reaktor. Restbelastungen an Schwefelwasserstoff werden in einer nachgeschalteten Adsorber-einheit zurückgehalten, sodass über einen Schornstein gereinigte und „geruchsfreie“ Luft abgeführt wird (vgl. Verfahrensschema **Bild 8**). Die komplette Anlagentechnik ist in einem 40 Fuß Container

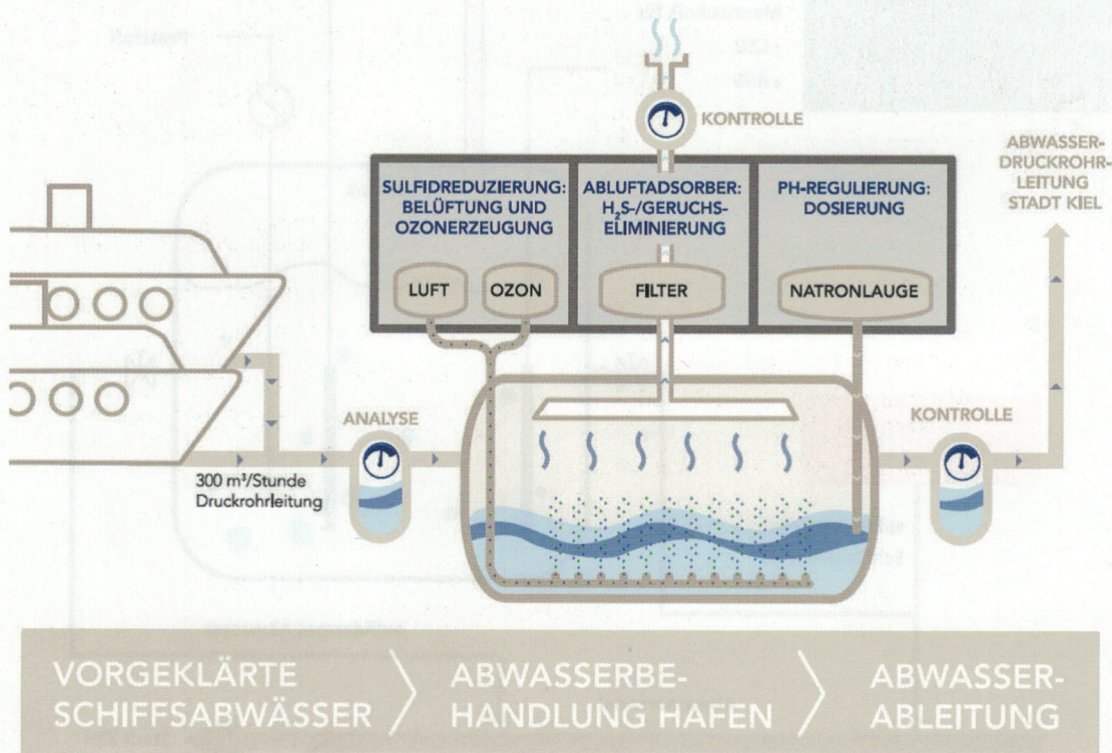


Bild 8: Verfahrensschema zur Behandlung von Grauwasser der Kreuzfahrtschiffe inkl. Abluftbehandlung

untergebracht. Das behandelte Grauwasser wird anschließend über eine Druckrohrleitung zum kommunalen Übergabepunkt gepumpt und dem städtischen Klärwerk zugeführt.

Fazit

Die Bildung von Schwefelwasserstoff in Entwässerungssystemen ist nahezu unvermeidlich. Dies führt zu Schwefelwasserstoffbelastungen in Abwasserbehandlungsanlagen und Entwässerungsnetzen.

Als Indirekteinleiter steht man häufig vor der Herausforderung, die eingeleiteten Sulfidbelastungen reduzieren zu müssen. Dabei machen spezielle Abwasserzusammensetzungen den Einsatz klassischer Lösungen technisch schwierig und wirtschaftlich uninteressant.

Auf der Basis von „SULFIDUS“ sind wirtschaftliche und technische Lösungen modellier- und skalierbar (von einzelnen Leitungen bis zu ganzen städtischen Entwässerungsnetzen). Damit können zum einen flächendeckende Aussagen zu Belastungen getroffen werden und ganzheitliche Geruchminimierungskonzepte entwickelt werden.

Modellierungen machen es möglich, moderne Abluftbehandlungsanlagen sicher zu bemessen und auch spezifischen Anforderungen, wie z. B. für die Abwässer und die Abluft der Grauwasserabgabe von Kreuzfahrtschiffen in Häfen, gerecht zu werden.

Literatur:

- [1] Schmidt, Bohatsch, 2014 Erfolgsstrategie gegen Geruch und Korrosion im Kanalnetz der Städtischen Betriebe Minden, KA 04/2014.
- [2] Matsché et al. Korrosions- und Geruchsprobleme in Abwasserdruckleitungen (KUGPIA), Herausgeber Lebensministerium Wien, http://www.publicconsulting.at/uploads/korrosions_und_geruchsprobleme_in_abwasserdruckleitungen.pdf
- [3] Anonym, RESOLUTION MEPC.200(62) – ANNEX 12; AMENDMENTS TO THE ANNEX OF THE PROTOCOL OF 1978 RELATING TO THE INTERNATIONAL CONVENTION FOR THE PREVENTION OF POLLUTION FROM SHIPS, 1973 (Special Area Provisions and the Designation of the Baltic Sea as a Special Area under MARPOL Annex IV).
- [4] Anonym, MARPOL 73/78, International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973 as modified by the Protocol of 1978.
- [5] Weismann, Lohse, 2007 Sulfid.Praxishandbuch der Abwassertechnik, Vulkan Verlag 2007, ISBN 978-3-8027-2845-7.

Autoren:

Dipl.-Ing. (Univ.), Dipl. Umweltwiss. Andreas Obermayer

a.obermayer@unitechnics.de

Tel. 0385 343371-20

Dipl.-Ing. Frank Magdeburg

UNITECHNICS KG

Werkstrasse 717

19053 Schwerin

Anzeige

19. KÖLNER KANAL UND KLÄRANLAGEN KOLLOQUIUM

11. und 12. September 2018
im Maternushaus, Köln



Stadtentwässerungsbetriebe Köln, AöR

**Technology
Arts Sciences
TH Köln**

In Abstimmung mit dem
Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft,
Natur- und Verbraucherschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen

Dienstag 11.09.2018

- Wasser in der Stadt I - III
- Innovative Verfahren zur Abwasserbehandlung
- Digitalisierung im Kanal- und Kläranlagenbetrieb
- Cybersicherheit auf Abwasseranlagen

Mittwoch 12.09.2018

- Kanalnetzsteuerung – Praxisbeispiele
- Innovativer Kanalbau
- Abwasser und Energie
- Klärschlamm / Phosphorrecycling

Weitere Informationen finden Sie im Internet unter
www.kanalkolloquium.de

Organisation und Auskünfte:
 Dr. Verena Kölling, Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft und Siedlungsabfallwirtschaft der RWTH Aachen,
 52056 Aachen, E-Mail: et@isa.rwth-aachen.de, Tel.: 0241 / 80-252 14, Fax: 0241 / 80-229 70