

Wirkweise und Effizienz von Dosierstrategien in Freispiegelkanälen zur Verhinderung von Geruchsbelästigungen

Rainer Feldhaus (Köln), Franz-Bernd Frechen (Kassel), Michaela Frey (Kassel), Viktor Mertsch (Düsseldorf), Andrea Poppe (Köln)

Zusammenfassung

Seit einigen Jahren kommt es im Stadtgebiet von Köln durch Freispiegelkanäle insbesondere in den Sommermonaten zu Geruchsbelästigungen. Nach eingehender Analyse möglicher Maßnahmen wird seit 1997 eine flächenbezogene Dosierlösung erfolgreich angewendet. Der mit dieser Vorgehensweise verbundene erhebliche Aufwand impliziert eine ständige Weiterentwicklung und Bewertung der Geruchsvermeidungsstrategie.

Mittlerweile haben auch andere Städte und Gemeinden zunehmend dasselbe Problem und suchen, wie in Köln, nach effektiven und kostengünstigen Lösungen. Das Ministerium für Umwelt, Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MUNLV NRW) hat deshalb ein Forschungsvorhaben gefördert, um die Wirkung verschiedener Dosiermittel an einer ausgewählten Kanalstrecke in Köln unter vergleichbaren Bedingungen wissenschaftlich durch die Fachhochschule Köln und die Universität Kassel beleuchten zu lassen. Die Forschungsergebnisse dienen als Entscheidungshilfe zur systematischen Maßnahmenwahl zur Beseitigung von Geruchsemissionen aus der Kanalisation unter der Berücksichtigung möglicher Gewässerbelastungen.

Das Projekt gliederte sich in einen grundlagen- und einen verfahrensorientierten Arbeitsbereich. Im Arbeitsbereich „*Grundlagen der Geruchsstoffentstehung*“ ging es um die Ursachenforschung zur Geruchsentstehung und um die Beeinflussung der Geruchsentstehung durch verschiedene Faktoren. Der Arbeitsbereich „*Verfahren der Geruchsminderung*“ befasste sich insbesondere mit der sachgerechten Dosierung der geruchsreduzierenden bzw. –vermeidenden Substanzen KRONOFLOC und NUTRIOX in den Abwasserstrom sowie ihrem Verhalten beim Transport in der Kanalisation und ihrer Auswirkung auf Kläranlage und Gewässer.

Im Zentrum der Arbeiten stand ein umfangreiches Abwasser- und Geruchsmessprogramm entlang der Kölner Kanalteststrecke. Erstmals konnten anhand von Geruchsemissionspotential (GEP) – Messungen die Effizienz der untersuchten Substanzen hinsichtlich ihrer geruchsminimierenden Wirkung objektiv aufgezeigt werden. Der Geruch an der Teststrecke konnte durch die Zugabe von NUTRIOX deutlich reduziert werden. KRONOFLOC zeigte eine wesentlich geringere Wirkung bedingt durch die Zusammensetzung der Geruchskomponenten im Abwasser (wenig Sulfid bzw. Schwefelwasserstoff).

Sowohl für die Anwendung von KRONOFLOC als auch von NUTRIOX ist zu empfehlen, dass sie im Hinblick auf den Grundwasserschutz nicht in baulich sanierungsbedürftige Kanalstrecken dosiert werden sollten. Entscheidend sind dabei der beträchtliche Chloridgehalt von KRONOFLOC sowie die hohe Nitrat-Stickstoffkonzentration von NUTRIOX.

Abstract

Effectiveness and Efficiency of Dosing Strategies in Gravity Sewers to Avoid Odorous Nuisances

Since a number of years especially during the summer months odorous nuisances from gravity sewers have been registered in Cologne. After extensive analysis of possible countermeasures since 1997 a surface-related dosing solution is being applied successfully. The considerable effort related to this procedure implies a continuous development and evaluation of this smell avoiding strategy. Meanwhile more and more other local communities have got the same problem and, like Cologne, are looking for effective and cost-saving solutions. Therefore the Ministry of Environment of Northrhine-Westfalia has promoted a research project in order to scientifically examine the effects of different dosing agents under comparable conditions within a selected sewer section in Cologne by University of Applied Sciences Cologne und University of Kassel. The research results will help as a decision aid for the systematic selection of measures for the avoidance of odorous emissions from the sewer system under consideration of possible water pollution.

The project was structured into a principle- and a process-orientated part. The part „*Principles of the formation of odorous substances*“ dealt with the examination of the causes for the formation of odours as well as with the influence of individual factors of odour formation. The area „*Procedures of odour minimization*“ in particular examined the necessary dosing of the odour reducing and/or avoiding substances KRONOFLOC and NUTRIOX into the waste water flow as well as their behaviour during transport within the sewer system and their effects on treatment plant and waters.

The work concentrated on a comprehensive wastewater and odour measuring programme along a sewer testing section in Cologne. By utilizing the method of measuring the odour emission capacity (OEC), the odour abatement efficiency of the dosed chemical substances could be determined objectively. The odours along the testing section were considerably reduced by adding NUTRIOX. KRONOFLOC showed a much lesser efficiency due to the composition of the odour components (small amount of hydrogen sulphide). It is recommended for KRONOFLOC as well as for NUTRIOX that, regarding the protection of the groundwater, both substances should not be dosed into sewer sections in need of renovation. The decisive factors here are the considerable content of chloride of KRONOFLOC as well as the high concentration of nitrate of NUTRIOX.

1 Einleitung

Nach mehr als 100 Jahren ohne bemerkenswerte Geruchsprobleme ist im Kölner Kanalnetz seit Anfang der 1990er Jahre die Tendenz zu verstärkter Geruchsbildung, insbesondere in den Sommermonaten, zu verzeichnen. Dies hat die Stadtentwässerungsbetriebe (StEB) Köln, AöR, dazu veranlasst, sich frühzeitig mit den Ursachen auseinander zu setzen und innovative Gegenmaßnahmen zu entwickeln [1-3]. Zu diesem Zeitpunkt stellten Geruchsemissionen aus Freispiegelkanälen noch kein überregionales Problem dar, so dass die StEB Köln hier eine Vorreiterrolle eingenommen haben.

Nach eingehender Analyse möglicher Maßnahmen kristallisierte sich 1997 eine flächenbezogene Dosierlösung heraus, die seitdem während der warmen Jahreszeit erfolgreich angewendet und ständig optimiert wird.

Der mit dieser Vorgehensweise verbundene erhebliche Aufwand impliziert eine ständige Weiterentwicklung und Bewertung der Geruchsvermeidungsstrategie insbesondere unter den Aspekten Arbeitsschutz, Umwelteffekte, Wirkung und Effizienz. So entstand die Idee, die weitgehenden Erfahrungen der StEB Köln in ein Forschungsvorhaben einfließen und wissenschaftlich beleuchten zu lassen. Da sich indessen ein Markt mit verschiedenen Anbietern von Dosiermitteln zur Geruchsbekämpfung entwickelt hatte, sollten die aussichtsreichsten Varianten an einer ausgewählten Kanalstrecke unter vergleichbaren Bedingungen getestet werden.

Auch andere Städte und Gemeinden haben inzwischen zunehmend Probleme mit Geruchsemissionen aus Freispiegelkanälen und suchen nach effektiven und kostengünstigen Lösungen. Aufgabe des vom Ministerium für Umwelt, Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen geförderten Forschungsvorhabens war die Erstellung einer Entscheidungshilfe für die Auswahl geeigneter Maßnahmen zur Beseitigung von Geruchsemissionen aus der Kanalisation unter Berücksichtigung möglicher Gewässerbelastungen. Die wissenschaftliche Betreuung des Vorhabens oblag der Fachhochschule Köln und der Universität Kassel.

2 Das Projekt

Das Projekt gliederte sich in einen grundlagen- und einen verfahrensorientierten Arbeitsbereich. Im Arbeitsbereich „*Grundlagen der Geruchsstoffentstehung*“ ging es um die Beantwortung der beiden Fragen

- Wodurch entsteht Geruch in Freispiegelkanälen?
- Inwieweit beeinflussen verschiedene Faktoren (Änderung der Zusammensetzung von Haushaltschemikalien, Indirekteinleiter, Wassersparmaßnahmen, Abwassertemperatur, Ablagerungen etc.) die Geruchsstoffentstehung?

Neben Literaturlauswertungen und der Analyse verfügbarer Daten wurden zur Beantwortung der Fragen Laboruntersuchungen an der Universität Kassel durchgeführt [4].

Der Arbeitsbereich „*Verfahren der Geruchsminderung*“ befasste sich mit der Dosierung geruchsreduzierender bzw. –vermeidender Substanzen in den Abwasserstrom. Für die beiden gebräuchlichen, in ihrer Wirkungsweise grundsätzlich unterschiedlichen Substanzen KRONOFLOC (Eisen(II)chlorid-Lösung), Fa. Kronos International Inc., und NUTRIOX (Calciumnitrat-Lösung), Fa. Yara Industrial GmbH, sollten folgende Fragen geklärt werden:

- Wie verhalten sich die dosierten Substanzen beim Transport in der Kanalisation?
- Welche Dosierung ist sachgerecht, d. h. effizient in Bezug auf ihr Ziel der Geruchsminimierung, und sparsam in der Dosierung?
- Welche Auswirkungen haben die Substanzen bei sachgerechter Dosierung auf Kläranlage und Gewässer?

Der Arbeitsschwerpunkt des Projekts zur Beantwortung dieser Fragen lag im Einsatz von KRONOFLOC und NUTRIOX in einer Kanal-Teststrecke im Kölner Stadtteil Ensen.

Die Substanz KRONOFLOC ist eine grünfarbige Eisen(II)chlorid-Lösung. Die geruchsreduzierende Wirkung von KRONOFLOC ist im Wesentlichen auf das gelöst vorliegende Eisen(II) zurückzuführen, das eine Fällung von Sulfid (S^{2-}) bewirkt, wodurch die Bildung von gasförmigem Schwefelwasserstoff (H_2S) verhindert wird.

NUTRIOX wird als farblose Calciumnitrat-Lösung geliefert. Geruchsreduzierend wirkt NUTRIOX in erster Linie aufgrund des im Nitrat gebundenen Sauerstoffs. Das Nitrat diffundiert in Sichelhaut und Ablagerungen und soll hier, aber auch im Abwasser, ein anoxisches Milieu stabilisieren und anaerobe Verhältnisse abwenden. Ziel ist es, durch ausreichende Nitrat-Zugabe die Sulfid- bzw. Geruchsstoffbildung durch anaerobe Organismen zu vermeiden und die Bakterien-Population in Richtung der Denitrifikanten zu verschieben.

Durchgeführt wurde ein miteinander verzahntes Abwasser- und Geruchsmessprogramm. Die beiden Messprogramme und ihre Ergebnisse werden nachfolgend in ihren Grundzügen erläutert.

3 Abwasseruntersuchungen an der Kanal-Teststrecke Köln-Ensen

Die Kanal-Teststrecke Köln-Ensen (Abbildung 1) ist ein ca. 3,3 km langer Schmutzwasserkanal (2Q_f-Kanal) im Gebiet der rechtsrheinischen Kölner Stadtteile Ensen, Gremberghoven und Ostheim. Das Einzugsgebiet hat eine Größe von 8,77 km² und ist sowohl wohnbaulich als auch gewerblich und industriell genutzt. Die Teststrecke beginnt am Drosselbauwerk eines Stauraumkanals (SK) und endet nach mehreren Zuflüssen an einem Pumpwerks (PW).

Die Dosierung der Substanzen KRONOFLOC und NUTRIOX erfolgte auf dem Gelände einer ehemaligen Kläranlage. Das Gelände ist umzäunt und bietet neben ausreichenden Lagerflächen auch die nötige Infrastruktur (Strom, Wasser). Die Lage der Dosierstelle wurde im Versuchsprogramm variiert: phasenweise wurden die Substanzen oberhalb eines Kaskadenbauwerks zugegeben (Nutzung der Turbulenz zur Mischung im Abwasserstrom), phasenweise unterhalb.

Das Versuchsprogramm in der Kanal-Teststrecke Köln-Ensen fand statt von Mitte Mai bis Anfang November 2004, da in dieser Jahresphase aufgrund erhöhter Temperaturen grundsätzlich mit einer verstärkten Geruchsentwicklung in der Kanalisation zu rechnen ist. In dem Versuchsprogramm wurden folgende Einflussgrößen verändert:

- Variation der geruchsreduzierenden Substanz (NUTRIOX, KRONOFLOC)
- Variation des Dosierortes zur Veränderung der Mischungsintensität bei der Dosierung
- Variation der Dosierstärke

Neben einer kontinuierlichen Durchflussmessung erfolgte zum einen die Beprobung des Abwasserstroms in der Teststrecke und ihren Zuläufen, zum anderen die Untersuchung der Kanalatmosphäre; mit Hilfe mehrerer, entlang der Teststrecke auf der Kanalsohle angebrachter Sedimentfallen wurden Feststoffproben gewonnen. Die auf Trockenwetterabflussphasen beschränkte Entnahme der Abwasserstichproben wurde nach einem fest definierten Zeitmuster vollzogen, das die Fließzeiten zwischen den Probenahmestellen berücksichtigte. Hierdurch wurde gewährleistet, dass die Probenahme innerhalb eines so eng wie möglich begrenzten Abwasservolumens erfolgte, um den Einfluss zeitlicher Änderungen des Abflusses und der Abwasserzusammensetzung zu minimieren.

Das Analysenprogramm für die Abwasser- und Sedimentproben war ausgerichtet auf die Hauptinhaltsstoffe der zudosierten Substanzen sowie die vermuteten Umsetzungsprozesse. Von besonderer Bedeutung waren die Analyseergebnisse zweier „Bilanzstellen“ (vgl. Abbildung 1): die erste (Schacht 0557), ca. 1,4 km unterhalb der Dosierstelle gelegen (Fließzeit ca. 40 min), die zweite (Schacht 0079) am Ende der Teststrecke nach einem Fließweg von ca. 3,3 km (Fließzeit ca. 80 min). An diesen Bilanzstellen wurde geprüft, in wieweit Auswirkungen der jeweiligen Stoffdosierung erkennbar waren.

Was die Veränderung der Abwassereigenschaften infolge Stoffdosierung anbelangt, sind für die Teststrecke Köln-Ensen folgende Ergebnisse festzuhalten:

Die Wirkung von KRONOFLOC als Fällmittel war durch die für eine Eisensulfidfällung typische Grau- bis Schwarzfärbung des Abwassers deutlich erkennbar. Die Fällungsprodukte wurden unter den versuchstechnischen Randbedingungen ablagerungsfrei abgeführt (Sohlneigung i. M. 1 ‰; Sohl Schubspannung bei mittlerem Trockenwetterabfluss $> 1,07 \text{ N/m}^2$); im allgemeinen Anwendungsfall wird bei ablagerungsbehafteten Kanalstrecken und in strömungsberuhigten Bereichen (z. B. vor Pump- und Hebewerken) eine Überprüfung empfohlen.

KRONOFLOC kann im Kanal neben der Sulfid- u. a. auch eine Phosphat-Fällung bewirken. Beide Prozesse stehen in Konkurrenz. Beobachtet wurde, dass bei geringem Sulfidgehalt des Abwassers bereits bei relativ geringer KRONOFLOC-Dosierung eine Fällung des gelösten Phosphors in größerem Umfang stattfand.

KRONOFLOC bewirkt eine deutliche Aufsatzung des Abwassers. In der Teststrecke Köln-Ensen bewegte sich die Erhöhung der Chlorid-Konzentration allerdings in der Größenordnung der Chlorid-Belastungsschwankungen des Abwasserstroms.

Die mit der KRONOFLOC-Dosierung verbundene Senkung der Säurekapazität wird für die untersuchten Dosierstärken von 0,022 bis 0,085 l KRONOFLOC pro m^3 behandlungsbedürftigen Abwassers mit Werten zwischen etwa 0,1 und 0,4 mmol/l abgeschätzt und ist damit gering.

Der mit der Substanz NUTRIOX zugeführte Nitrat-Stickstoff wurde bei einer Dosierung von i. M. 0,055 l NUTRIOX pro m³ behandlungsbedürftigen Abwassers auf einer Strecke von ca. 3,3 km (Fließzeit ca. 80 min) nahezu vollständig durch Denitrifikanten in elementaren Stickstoff umgewandelt, der ausgast. Im Gegensatz zu den sulfatreduzierenden Mikroorganismen bevorzugen die Denitrifikanten die leichter abbaubaren Kohlenstoffverbindungen. Daher ist bei Nitratdosierung grundsätzlich von einer Reduzierung des BSB_{5gelöst} und einer Erhöhung des CSB/BSB₅-Verhältnisses auszugehen. In der Kanal-Teststrecke Köln-Ensen wurde keine Reduzierung des BSB_{5gelöst} gemessen; eine Erhöhung des CSB/BSB_{5ges}-Verhältnisses war schwach zu erkennen, konnte aber zahlenmäßig nicht konkretisiert werden, da es dem Einfluss größerer, aber nicht untypischer Werteschwankungen von CSB und BSB_{5ges} unterlag.

Die Calciumkonzentration im behandlungsbedürftigen Abwasserstrom erhöhte sich um 9 %; für die Verhältnisse an der Teststrecke Köln-Ensen liegt diese Konzentrationserhöhung im Bereich der ohne Dosierung auftretenden Schwankungen des Calcium-Gehaltes.

Ein Einfluss der Mischungsintensität am Dosierpunkt auf die Abwassereigenschaften war weder für KRONOFLOC noch für NUTRIOX erkennbar.

Sowohl für die Anwendung von KRONOFLOC als auch von NUTRIOX ist zu empfehlen, dass sie im Hinblick auf den Grundwasserschutz nicht in baulich sanierungsbedürftige Kanalstrecken dosiert werden sollten. Entscheidend sind dabei der beträchtliche Chloridgehalt von KRONOFLOC sowie die hohe Nitrat-Stickstoff-Konzentration von NUTRIOX.

Mit den in der Teststrecke Köln-Ensen gewonnenen Erkenntnissen wurden auf Grundlage bedarfsgerecht definierter Dosiermengen für die Substanzen KRONOFLOC und NUTRIOX anhand von Modellrechnungen mögliche Auswirkungen auf Kläranlagen und Gewässer analysiert [4].

4 Geruchsuntersuchungen

4.1 Messen von Geruch

Geruchsprobleme im Abwasserbereich gehen oft mit Fäulnisprozessen und somit mit hohen Schwefelwasserstoff-Konzentrationen in der Luft über dem Abwasser einher. Da Schwefelwasserstoff (H₂S) in Luft eine niedrige Geruchsschwelle und einen unangenehmen Geruch aufweist sowie verhältnismäßig einfach und auch online messbar ist, wird bislang in der abwassertechnischen Praxis der Schwefelwasserstoff-Gehalt in der Kanalatmosphäre als Leitparameter für die Geruchsrelevanz verwendet.

Allerdings bringt dies zwei Probleme mit sich. Zum einen kann ein Geruch vorhanden sein, obwohl kein Schwefelwasserstoff gemessen wird – dann reicht die Methode nicht aus. Zum anderen ist die Messung von Schwefelwasserstoff in Luft ungeeignet, wenn es, so in diesem Projekt, um die Beantwortung der Frage geht, ob durch Zugabe von Chemikalien eine objektive Verbesserung der Abwassereigenschaften in Bezug auf die enthaltenen Geruchsstoffe eintritt oder nicht, denn diese Frage hat mit dem Abwasser selbst zu tun, nicht aber mit der Luft oberhalb des Abwassers. Im Rahmen dieses Projektes wurde daher zur Geruchstoffmessung die Methode der „Geruchs-Emissions-Potentialmessung“ (GEP-Messung, s. Abbildung 2) nach [5] erstmals mit dem Ziel angewendet, die Effizienz der Zugabe von Chemikalien hinsichtlich einer Verbesserung der Abwassereigenschaften in Bezug auf die enthaltenen Geruchsstoffe objektiv nachzuweisen. Daneben wurden mittels Olfaktometrie [6],

gasanalytischen Messverfahren und handelsüblicher Online-Messtechnik die Geruchsstoffkonzentration in der Kanalluft, die Schwefelwasserstoffkonzentration sowie weitere analytisch messbare Parameter erfasst.

4.2 Geruchsbelastung des Abwassers und der Kanalluft an der Teststrecke Köln-Ensen

Das Messprogramm hat sehr deutlich belegt, dass trotz äußerst geringer Schwefelwasserstoffkonzentrationen in der Kanalluft bedenklich hohe GEP-Werte des Abwassers festzustellen waren (s. Abbildung 3 und Abbildung 4).

Am Messschacht 0628, also im zufließenden Abwasser vor der Dosierstelle, wurden während des gesamten Untersuchungszeitraumes Messungen durchgeführt, um die Belastung, wie sie am Anfang der Teststrecke gegeben ist, festzustellen.

In der Kanalluft wurde bezogen auf das 85-Perzentil (Unterschreitungshäufigkeit) über die gesamte Versuchsphase höchstens 1,3 ppm H₂S festgestellt, wie aus Abbildung 3 ersichtlich. Selbst die maximale H₂S-Konzentration lag nur in zwei der Dosierphasen über 10 ppm (MAK-Wert). In den übrigen Dosierphasen lagen die Maximalwerte bei 0,8 ppm bis 5,6 ppm H₂S.

Im Abwasser wurden Sulfidkonzentrationen im Mittel von 1 mg S²⁻/l festgestellt. Das 85-Perzentil (Unterschreitungshäufigkeit) wurde in Höhe von 1,6 mg S²⁻/l ermittelt. Die maximal analysierte Sulfidkonzentration lag am Messschacht 0628 bei 3,4 mg S²⁻/l sowie am Messschacht 0079 bei 3,2 mg S²⁻/l.

Die GEP-Werte des Abwassers lagen im Mittel bei 195.400 GE_E/m³_{Abwasser} mit einem 85-Perzentil (Unterschreitungshäufigkeit) von 637.700 GE_E/m³_{Abwasser}. Oberhalb einer Abwassertemperatur von 17 °C zeigte sich ein signifikanter Anstieg der GEP-Werte. Das maximal ermittelte GEP am Messschacht 0628 lag bei 674.000 GE_E/m³_{Abwasser}. Am Messschacht 0079 konnten bis zu 1.060.000 GE_E/m³_{Abwasser} gemessen werden.

Die Erkenntnisse aus den an der Teststrecke Köln-Ensen durchgeführten Abwasser- und Geruchsuntersuchungen verdeutlichten, dass die vorherrschenden Geruchsbelastungen nicht auf ein alleiniges Sulfidproblem zurückzuführen waren.

In der gesamten Untersuchungsphase konnten über die kontinuierlichen Messungen in der Kanalatmosphäre nur geringe H₂S-Konzentrationen festgestellt werden, so dass eine Beurteilung der Effektivität der Chemikaliengabe durch die kontinuierlich gemessenen H₂S-Konzentrationen in der Kanalatmosphäre als schwierig bis unmöglich erachtet wurde. Auch wenn insbesondere die H₂S-Meßergebnisse während der Phasen, in denen NUTRIOX dosiert wurde, siehe Abbildung 3, interpretierfähig erscheinen, so muss doch bedacht werden, dass die Messergebnisse sich im Bereich der Genauigkeit des H₂S-Sensors bewegen, so dass eine Interpretation bei Messergebnissen in dem hier festgestellten Größenbereich unzulässig ist.

Die Wirkung einer Chemikaliendosierung konnte somit nur durch Geruchs-Emissions-Potential-Messungen (GEP-Messungen) objektiv quantifiziert werden. Als Bewertungsmaßstab wurde somit das GEP herangezogen.

Zudem haben die Messergebnisse deutlich gezeigt: Auch wenn es kein Sulfid-/H₂S-Problem gibt, so kann es trotzdem ein – durch andere Geruchsstoffe verursachtes – Geruchsproblem geben.

4.3 Effizienz der untersuchten Dosierstoffe und Dosierstrategien

Die von den Lieferanten der Dosierchemikalien bezogen auf die Belastungen der Teststrecke Köln-Ensen jeweils als optimal definierte Dosiermenge wurde als 100%-Dosiermenge bezeichnet. Diese und davon abweichende Dosiermengen wurden systematisch untersucht.

Zusätzlich wurde untersucht, ob eine Dosierung mit oder ohne verstärkte Turbulenz, hier gegeben durch eine ca. 1 m hohe Kaskade, einen Effekt bringt. Daher wurde sowohl nach der Kaskade (nK), als auch vor der Kaskade (vK) untersucht.

Die Abbildungen 3 und 4 zeigen die über die Versuchsphasen als geometrische Mittelwerte abgebildeten GEP-Werte sowie die als 85-Perzentil (Unterschreitungshäufigkeit) online festgestellten H₂S-Konzentrationen in der Kanalatmosphäre.

Eine Dosierung der Substanzen vor dem Kaskadenbauwerk (vK) zeigte hinsichtlich einer optimierten Vermischung der Zugabestoffe mit dem Abwasserstrom keine begünstigende Wirkung im Vergleich zu einer Dosierung unterhalb des Kaskadenbauwerks (nK), wie die Abbildungen 3 und 4 zeigen.

Die Dosierung von NUTRIOX ergab folgende Ergebnisse:

Anhand der Ergebnisse der GEP-Messungen konnte festgestellt werden, dass infolge einer Dosierung von im Mittel 0,048 l NUTRIOX pro m³ behandlungsbedürftigen Abwassers das GEP entlang der Teststrecke Köln-Ensen deutlich und zufrieden stellend reduziert werden konnte.

Für eine bedarfsgerechte Dosierung kann eine gezielte Erhöhung der Dosiermenge erforderlich werden, um sich den im Laufe des Jahres ändernden Geruchsbelastungen anpassen zu können.

Die Übertragung der als optimal identifizierten Dosiermenge auf andere Kanalsysteme würde in der Praxis aus Gründen anderer Randbedingungen, wie einer stark wechselnden Zusammensetzung des Abwassers und insbesondere einer stark variierenden Fracht an im Abwasser enthaltenen Geruchsstoffen tendenziell zu einer Unter- bzw. Überdosierung führen. Zudem wurde das GEP-Messverfahren bisher noch kaum beschrieben und demzufolge an anderen Kanalabschnitten noch nicht verbreitet eingesetzt, so dass die Zahl der Messungen naturgemäß noch nicht sehr groß ist, um auf Erfahrungswerten basierend eine Quantifizierung der optimalen Dosiermenge vornehmen zu können.

Bezogen auf einen an der Teststrecke ermittelten mittleren werktäglichen Trockenwetterabfluss von $Q_{d,m,werktgl.} = 9.410 \text{ m}^3/\text{d}$ ergeben sich für eine NUTRIOX-Dosierung Kosten in Höhe von 0,012 €/pro m³ behandlungsbedürftigen Abwassers. Neben den Produktkosten beinhaltet die Kostenschätzung Kosten für das Personal, den Grunderwerb der Dosierstelle, die Dosiereinrichtung und Energiekosten.

Die Dosierung von KRONOFLOC ergab folgende Ergebnisse:

Da an der Teststrecke Köln-Ensen, wie in Abschnitt 4.2 beschrieben, Sulfid nicht der wesentliche Verursacher der Geruchsbelastung war, konnte in diesem speziellen Fall mit einer Dosierung von KRONOFLOC keine hinlängliche Geruchsbeseitigung erzielt werden.

Für eine Reduktion von Sulfid im Abwasser wird empfohlen, die zu dosierenden Mengen an KRONOFLOC anhand der im zu behandelnden Abwasser vorherrschenden Sulfidkonzentration stöchiometrisch unter Berücksichtigung von Nebenreaktionen wie der Phosphat-Fällung abzuschätzen.

Bezogen auf den Behandlungspunkt (Messschacht 0079) ergibt sich eine Dosiermenge von im Mittel 0,056 l KRONOFLOC pro m³ behandlungsbedürftigen Abwassers. Die Dosiermenge ist an die sich wechselnden spezifischen Sulfidbelastungen anzupassen.

Bezogen auf einen an der Teststrecke ermittelten mittleren werktäglichen Trockenwetterabfluss von $Q_{d,m,werktgl.} = 9.410 \text{ m}^3/\text{d}$ ergeben sich für eine KRONOFLOC-Dosierung Kosten in Höhe von 0,005 € pro m³ behandlungsbedürftigen Abwassers. Die Kostenschätzung beinhaltet neben den Produktkosten Kosten für das Personal, den Grunderwerb für die Dosierstelle, die Dosiereinrichtung und Energiekosten.

Eine zusammenfassende Bewertung der Verfahren, basierend auf den Ergebnissen und Erfahrungen an der Teststrecke Köln-Ensen unter Berücksichtigung der Aspekte Umsetzbarkeit, Wirksamkeit, Nebenwirkungen auf Kanal, Kläranlage und Gewässer sowie Funktionalität, ist in Tabelle 1 dargestellt. Die Tabelle zeigt, dass in diesem Projekt das Verfahren NUTRIOX unter Beachtung aller herangezogenen Kriterien die höhere Punktzahl erreichte. Die Dosierung von KRONOFLOC konnte in diesem speziellen Fall die Geruchsbelastungen bis zum Messschacht 0079 nicht effektiv beseitigen, offenbar da das in diesem Fall vorliegende Geruchsproblem nicht primär durch Sulfid verursacht ist.

4.4 Effizienz einer Wasserstoffperoxiddosierung

Zeitgleich zu den Untersuchungen an der Teststrecke in Köln-Ensen untersuchte die Universität Kassel stichprobenartig ein weiteres viel versprechendes Verfahren zur Geruchsbekämpfung, die Dosierung von Wasserstoffperoxid (H₂O₂) an einer Teststrecke in Mönchengladbach.

Da H₂O₂ nach Einmischung zu H₂O und O₂ umgesetzt wird, ist kein Einfluss auf Kläranlagen und Gewässer zu erwarten.

Bei der Kanal-Teststrecke Mönchengladbach-Genhodder handelt es sich um einen Schmutzwasserkanal, bestehend aus Druck- und Freispiegelleitung. Die Gesamtteststreckenlänge beträgt 6.357 m, die durchschnittliche Fließgeschwindigkeit etwa 0,5 m/s.

Wesentliche Ursachen für die sehr hohe Geruchsbelastung an der Kanalteststrecke sind hohe Sulfidbelastungen aus der Druckleitung sowie aus Einleitungen eines Hospitals in die Schmutzwasserkanalisation [7].

Die Dosierung von H₂O₂ erfolgt in die der Druckleitung folgende Freispiegelleitung. Vor der Dosierstelle wurden z. B. an einem Messtag infolge der genannten Ursachen sehr hohe GEP-Werte von 1.300.000 GE_E/m³_{Abwasser} gemessen, die durch die Zugabe innerhalb einer Fließstrecke von 1.950 m auf 247.000 GE_E/m³_{Abwasser} gesenkt werden konnten.

Die Dosierung von H₂O₂ führte somit zu einer deutlichen Reduktion der Geruchsbelastung. Eine alleinige Dosierung von H₂O₂ wird nach diesen ersten Versuchen als nicht ganz ausreichend bewertet. Hier sind weitere Untersuchungen erforderlich und ergänzende Maßnahmen nötig.

5 Ausblick

Die vielfältigen Untersuchungen des Forschungsprojektes haben einen wichtigen Beitrag zum Verständnis der Mechanismen der Geruchsentstehung und –vermeidung geleistet. Darüber hinaus haben sie die in Köln bewährte Dosierstrategie wissenschaftlich bestätigt und ihr eine Umweltunbedenklichkeit bescheinigt. Sie ermöglichen es außerdem, eine praxisbezogene Handlungsanweisung abzuleiten. Hierdurch ist es möglich, die Wohn- und damit die Lebensqualität der Anwohner an geruchsbelasteten Kanalstrecken stets auf hohem Niveau zu halten.

Eine Anpassung der Vorgehensweise ist bei bestehenden Kanälen auf Grund der jeweiligen örtlichen Verhältnisse, der sich ändernden Abwassermengen und -temperaturen eine ständige Herausforderung an den Kanalnetzbetreiber. Eine notwendige und wichtige Ergänzung zu Dosierstrategien stellen zudem bauliche Maßnahmen dar, die durch Vermeidung von Verwirbelungen und Abstürzen etc. sowie z. B. mittels einer intelligenten Belüftungsstrategie das Austreten von Geruchsstoffen aus der Kanalisation wirksam verhindern helfen.

So ist in bestehenden Kanalsystemen bei Geruchsproblemen stets die Balance zwischen einer Zugabe von Stoffen zur Geruchsvermeidung und sinnvollen baulichen Änderungen zu halten. Bei der Planung neuer Kanäle und Kanalnetze ist von den Fachleuten zukünftig verstärkt auf eine mögliche Geruchsbildung zu achten und dies als eine wichtige zusätzliche Randbedingung in eine ganzheitliche Betrachtung einzubeziehen.

Die objektive Quantifizierbarkeit der Effizienz von Maßnahmen – bauliche, betriebliche oder auch Maßnahmen der Chemikaliendosierung – mit Hilfe der GEP-Messmethodik konnte in diesem Forschungsvorhaben erstmals eindeutig unter Beweis gestellt werden. Daher ist zusätzlich eine Implementierung dieser Messmethodik in ein online-Messgerät, welches dann zur Überwachung wie auch zur Nutzung für Dosierstrategien herangezogen werden kann, an der Universität Kassel in der Entwicklung.

Literatur

- [1] A. Poppe, *Untersuchungen zu den Ursachen von Geruchsbelästigungen im Kölner Norden*, Abwasserforum Köln, 6. Ausgabe, Köln 1997
- [2] O. Schaaf, *Kanalbetrieb zur Verhinderung von Geruchsbelästigungen*, Abwasserforum Köln, 9. Ausgabe, Köln 2000
- [3] A. Poppe, *Indirekteinleitungen und Geruchsemissionen aus der Kanalisation*, Abwasserforum Köln, 10. Ausgabe, Köln 2001
- [4] Ministerium für Umwelt, Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, *Beeinflussung von Gewässern und Abwasserreinigung durch die Zugabe von Stoffen in Freispiegelkanälen zur Geruchsminimierung*, Abschlussbericht, September 2005
- [5] F.-B. Frechen; W. Köster, *Odour Emission Capacity of Wastewaters – Standardization of Measurement Method and Application*, Water Science and Technology, Vol. 38, No. 3, IAWQ, Elsevier Science Ltd., Oxford, Great Britain, ISBN 0 08 043391 X, S. 61-69, 1998
- [6] DIN EN 13725:2003, Luftbeschaffenheit – Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration mit dynamischer Olfaktometrie, VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 1a, Juli 2003
- [7] Vieten: Persönliche Mitteilung. NVV AG Mönchengladbach, 2005

Abbildungen und Tabellen:

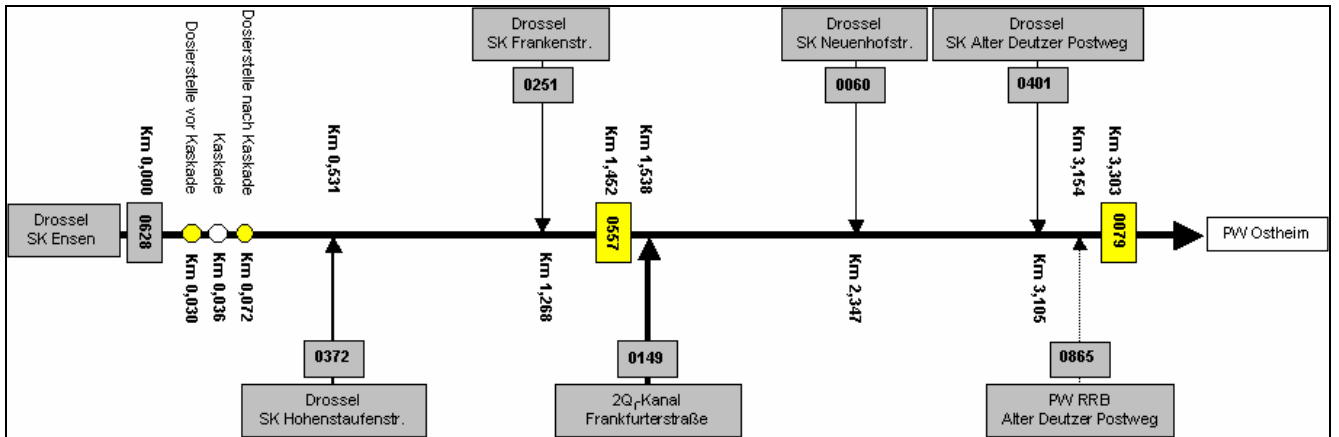
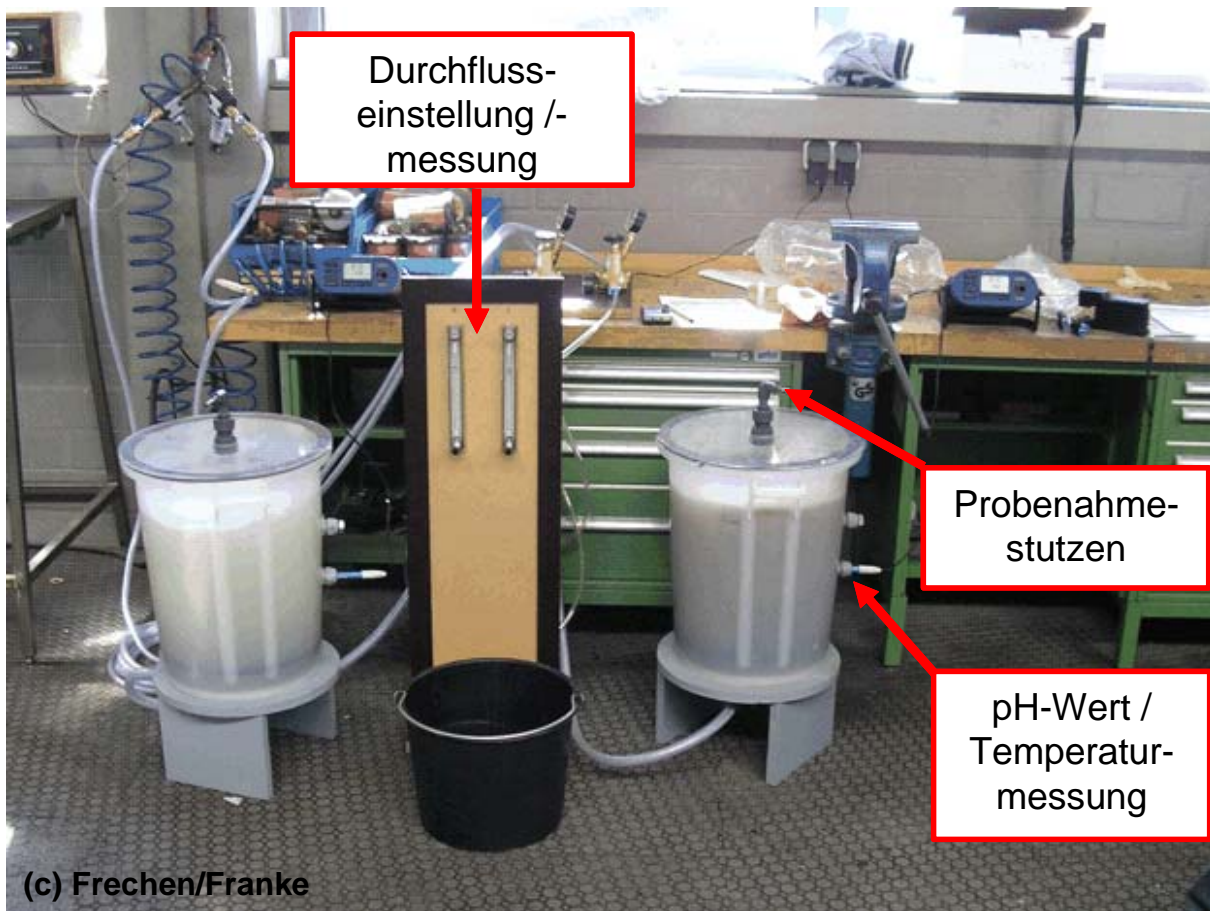
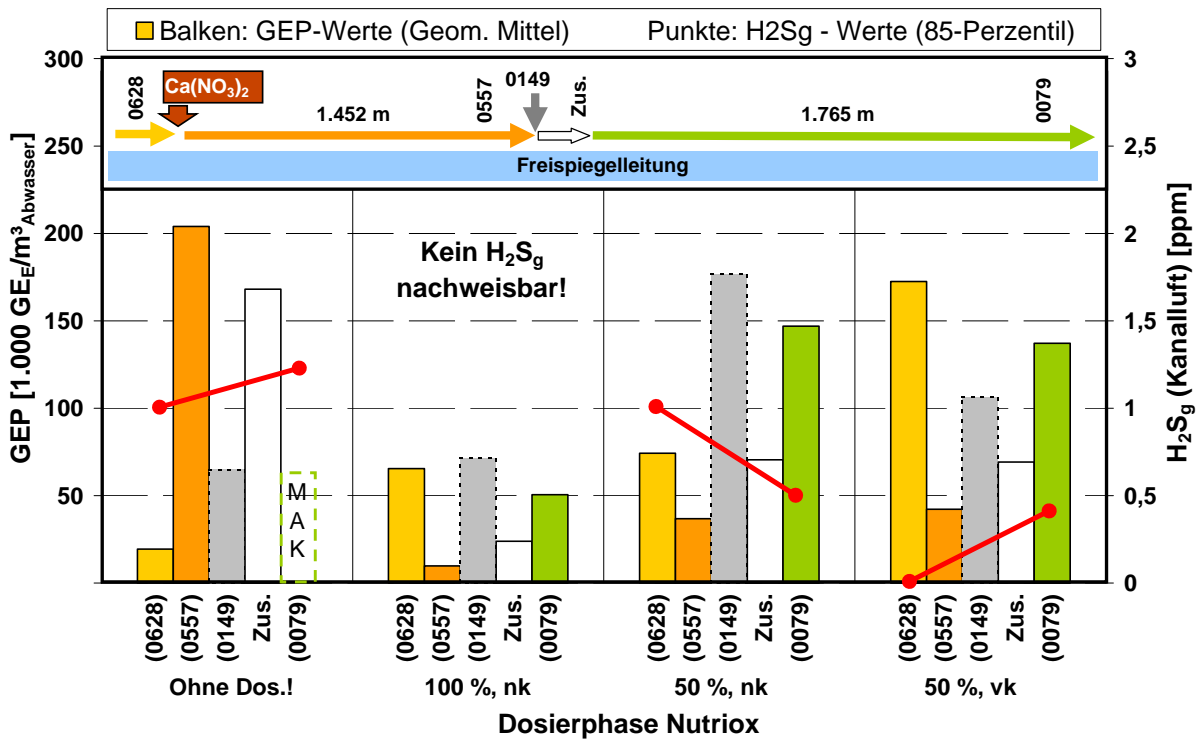


Abb. 1: Kanal-Teststrecke Köln Ensens: Stationierung, Zuläufe (grau) mit zugehörigen Schachtnummern, Dosierstellen, Bilanzstellen (gelb) mit zugehörigen Schachtnummern



(c) Frechen/Franke

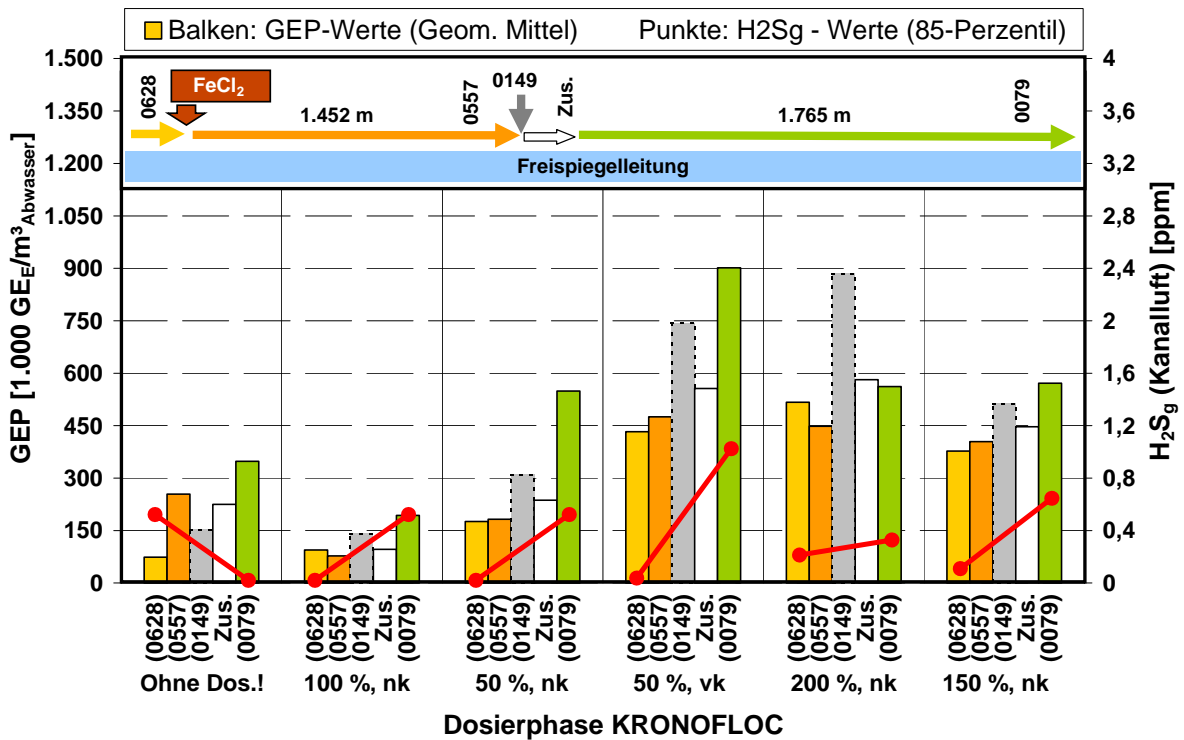
Abb. 2: GEP-Messung und Geräte



Zus. = Mischrechnung aus (0557) und (0149)

MAK = Probenahme unmöglich, da die maximale Arbeitsplatzkonzentration für H₂S (MAK = 10 ppm) überschritten wurde

Abb. 3: Übersicht über die Ergebnisse der Geruchsemissionspotential- und H₂S-Messungen in der Versuchsphase NUTRIOX



Zus. = Mischrechnung aus (0557) und (0149)

Abb. 4: Übersicht über die Ergebnisse der Geruchsemissionspotential- und H₂S-Messungen in der Versuchsphase KRONOFLOC

	NUTRIOX	KRONOFLOC
Kriterien		
Umsetzbarkeit	4	4
Wirksamkeit		
GEP-Reduktion	4	1
Nebenwirkungen		
Einfluss auf die Zusammensetzung von Abwasser und Kanalsediment	3	2
Einfluss auf Kläranlage	4	2
Einfluss auf Gewässer	3	2
Funktionalität		
Technischer Aufwand der Dosierung	3	3
Arbeitssicherheit	3	2
Gesamtpunktzahl	24	16
<u>Bewertungsskala</u> 0 = schlecht / keine Wirkung, 1 = mangelhaft / gering, 2 = befriedigend, 3 = gut, 4 = sehr gut		

Tab. 1: Bewertung nichtmonetärer Aspekte der untersuchten Dosiermittel

Autoren:

Prof. Dr.-Ing. Rainer Feldhaus
Fachhochschule Köln / Cologne University of Applied Sciences
Fakultät für Bauingenieurwesen und Umwelttechnik
Institut für Baustoffe, Geotechnik, Verkehr und Wasser
Betzdorfer Str. 2
D-50679 Köln (Cologne/Germany)
E-Mail: rainer.feldhaus@fh-koeln.de

Prof. Dr.-Ing. Franz-Bernd Frechen
Universität Kassel
Leiter des Fachgebietes Siedlungswasserwirtschaft
und des Instituts für Wasser, Abfall, Umwelt (IWAW)
Kurt-Wolters-Str. 3
D-34125 Kassel
E-Mail: frechen@uni-kassel.de

Dipl.-Ing. Michaela Frey
Universität Kassel
Institut für Wasser, Abfall, Umwelt (IWAW)
Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft
Kurt-Wolters-Str. 3
D-34125 Kassel
E-Mail: michaela.frey@online.de

Dr. -Ing. Viktor Mertsch
Ministerium für Umwelt, Naturschutz,
Landwirtschaft und Verbraucherschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen
Schwannstr. 3
D-40476 Düsseldorf
E-Mail: viktor.mertsch@munlv.nrw.de

Dr. rer. nat. Andrea Poppe
Stadtentwässerungsbetriebe Köln, AöR
Ostmerheimer Str. 555
D-51077 Köln
E-Mail: andrea.poppe@steb-koeln.de