

Endbericht zu den Untersuchungen über die

**Infektionsgefahr durch Austrag von Krankheitserregern aus Einsteigschächten von Kanalisationen durch Aerosole**

**Auftraggeber**

Ministerium für Umwelt und Naturschutz,  
Landwirtschaft und Verbraucherschutz  
des Landes Nordrhein-Westfalen

**Auftragnehmer**

Institut für Kanalisationstechnik  
Exterbruch 1  
45809 Gelsenkirchen

**Wissenschaftliche Leitung**

Dr.-Ing. Bert Bosseler

**Wissenschaftliche Bearbeitung**

Dipl.-Ing. Andreas Redmann

**Bearbeitungszeitraum**

04.11.1999 – 31.12.2000

## Danksagung

Das Institut für Kanalisationstechnik (IKT) bedankt sich an dieser Stelle bei dem Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz NRW für das entgegengebrachte Vertrauen.

Für die fachliche Begleitung, technische Mitwirkung und die weit reichende Unterstützung des Projekts gebührt dem Hygiene-Institut des Ruhrgebietes und hier insbesondere Frau Dr. Birgit Grohs besonderer Dank.

<b>1</b>	<b>VERANLASSUNG UND PROBLEMSTELLUNG.....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>ZIELSTELLUNG.....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>KENNTNISSTAND ZUM INFEKTIONSRISSIKO DURCH DEN AUSTRAG VON AEROSOLEN.....</b>	<b>5</b>
3.1	KRANKHEITSBESCHWERDEN IN ZUSAMMENHANG MIT MIKROBIELL BELASTETEN AEROSOLEN.....	6
3.2	NACHWEIS VON MIKROORGANISMEN UND TOXINEN.....	6
3.3	MIKROBIELLE BELASTUNG VON AEROSOLEN AUS ABWASSER (KLÄRANLAGEN UND ABWASSERVERREGNUNG).....	7
3.4	MIKROBIELLE BELASTUNG VON AEROSOLEN AUS MÜLLBEHANDLUNGSANLAGEN.....	8
3.5	TOXINGEHALT VON AEROSOLEN.....	9
3.6	ZUSAMMENFASSUNG.....	9
<b>4</b>	<b>KONKRETE DARSTELLUNG DER UNTERSUCHUNGEN.....</b>	<b>9</b>
4.1	AUSGANGSSITUATION.....	9
4.2	UNTERSUCHUNGSSTRATEGIE.....	10
4.3	VORGEHENSWEISE.....	11
4.3.1	Allgemeines.....	11
4.3.2	Luftsammelgerät.....	11
4.3.3	Filter und Agarmedien.....	11
4.3.4	Aufnahme der Proben.....	12
4.3.5	Aufarbeitung der mikroorganismenhaltigen Proben und Bestimmung der Mikroorganismenkonzentration.....	12
4.3.6	Bestimmung des Endotoxingehalts der Luft.....	13
4.4	UNTERSUCHUNGSUMFANG.....	13
4.4.1	Allgemeines.....	13
4.4.2	Messpunkt Nr. 1: Am Stadtwald, Gelsenkirchen Buer.....	14
4.4.3	Messpunkt Nr. 2: Lothringer Straße, Gelsenkirchen Rotthausen.....	15
4.4.4	Messpunkt Nr. 3: Belforter Straße, Gelsenkirchen Rotthausen.....	16
4.4.5	Messpunkt Nr. 4: Am Achternberg, Gelsenkirchen Rotthausen.....	16
4.4.6	Messpunkt Nr. 5: Am Maibusch, Gelsenkirchen Schalke.....	17
<b>5</b>	<b>ERGEBNISSE UND DISKUSSION.....</b>	<b>18</b>
5.1	MIKROBIELLE BELASTUNG DES ABWASSERS.....	18
5.2	BELASTUNG DER LUFT MIT MIKROORGANISMEN UND ENDOTOXINEN IM EINWIRKUNGSBEREICH VON EINSTEIGSCHÄCHTEN ZUR KANALISATION.....	19
5.2.1	Messpunkt Nr. 1: Am Stadtwald, Gelsenkirchen Buer.....	19
5.2.2	Messpunkt Nr. 2: Lothringer Straße, Gelsenkirchen Rotthausen.....	20
5.2.3	Messpunkt Nr. 3: Belforter Straße, Gelsenkirchen Rotthausen.....	24
5.2.4	Messpunkt Nr. 4: Am Achternberg, Gelsenkirchen Rotthausen.....	27
5.2.5	Messpunkt Nr. 5: Am Maibusch, Gelsenkirchen Schalke.....	30
5.3	BEWERTUNG DER MEßERGEBNISSE.....	33
5.3.1	Messpunkt Nr. 1: Am Stadtwald, Gelsenkirchen Buer.....	33
5.3.2	Messpunkt Nr. 2: Lothringer Straße, Gelsenkirchen Rotthausen.....	34
5.3.3	Messpunkt Nr. 3: Belforter Straße, Gelsenkirchen Rotthausen.....	34
5.3.4	Messpunkt Nr. 4: Am Achternberg, Gelsenkirchen Rotthausen.....	35
5.3.5	Messpunkt Nr. 5: Am Maibusch, Gelsenkirchen Schalke.....	35
5.3.6	Vergleich mit bestehenden Grenzwertempfehlungen für die Höchstgrenzen mikrobieller Belastung am Arbeitsplatz.....	36
<b>6</b>	<b>ZUSAMMENFASSENDE BEWERTUNG DER MIKROBIELLEN BELASTUNG DER LUFT IM EINZUGSBEREICH VON EINSTEIGSCHÄCHTEN.....</b>	<b>37</b>
<b>7</b>	<b>LITERATUR.....</b>	<b>39</b>
<b>8</b>	<b>ANHANG: MESSERGEBNISSE.....</b>	<b>47</b>

## 1 Veranlassung und Problemstellung

Um möglichen Anfragen besorgter Bürger vorzugreifen, regte das Ministerium für Umwelt, und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein Westfalen (MUNLV) ein Forschungsvorhaben an, in dem die Frage der Infektionsgefahr durch Austrag von Krankheitserregern aus Einsteigschächten von Kanalisationen durch Aerosole untersucht werden sollte.

Der Gasraum in Kanalisationen unterliegt durch die Schubkräfte an der Grenzfläche zum Abwasser und durch Wärmehauftrieb einer ständigen Konvektion. Hinzu kommen noch Diffusionsvorgänge, die Moleküle und kleine Partikel im Gasraum ungerichtet bewegen. Abhängig von den jeweiligen Verhältnissen können Anteile der Kanalatmosphäre durch die Diffusions- und Strömungsvorgänge auch über die Einsteigschächte die Umwelt erreichen. Erhöhte Konzentrationen an Kleinstpartikeln, zu denen neben Mikrotröpfchen auch Bakterien und Viren gehören, können vor allen Dingen im bodennahen Bereich auftreten und so möglicherweise speziell Kinder gefährden, die ihre Atemluft auf wesentlich niedrigerem Niveau aufnehmen als Erwachsene.

Bisher liegen hauptsächlich Untersuchungen zur Auswirkung von pathogenen Keimen im Bereich der Kanalisation vor, die sich auf den Arbeitsschutz von Beschäftigten im Kanalisationsbereich konzentrieren. Die Exposition von Kanalarbeitern, die mit der Reinigung und Wartung von Kanälen beschäftigt sind, ist der Situation von Passanten, die bei der Straßenpassage Aerosolen ausgesetzt werden, hinsichtlich der Aerosolbildung und Belastungsdauer nicht vergleichbar. Die Ergebnisse derartiger arbeitsmedizinischer Studien [1], [2] und [3] sind also nicht übertragbar.

Daneben liegen noch Ergebnisse von Untersuchungen vor, die den Austrag von pathogenen Keimen aus Nachklärbecken von Kläranlagen in benachbarte Wohngebiete beschreiben. Diese Untersuchungen ähneln vom Ansatz der hier aufgeworfenen Fragestellungen, lassen aber keine Aussagen zu den speziellen Bedingungen von Rohabwasser in der Kanalisation zu.

**Gegenstand dieses Forschungsvorhabens war es, zu untersuchen, ob und in welchen Konzentrationen Aerosole im normalen Kanalbetrieb aus Einsteigschächten austreten.**

## 2 Zielstellung

Das Abwasser in der Kanalisation enthält eine Vielzahl von Mikroorganismen, zu denen auch pathogene Bakterien, Viren, Schimmelpilze und Protozoen zählen. Ein großer Teil dieser Mikroorganismen ist fäkaler Natur. Weiterhin können im Abwasser die von Mikroorganismen produzierten und freigesetzten Toxine bzw. Stoffwechselprodukte wie MVOC (microbial volatile organic compounds) enthalten sein. Häufig dient das Abwasser dabei nur als Transportmittel, ohne daß sich die Mikroorganismen in ihm vermehren, es stellt jedoch potentiell eine Infektionsquelle für den Menschen dar. In diesem Zusammenhang sei nur kurz auf einige Mikroorganismen und Toxine verwiesen, die über das Abwasser verbreitet werden können (*siehe Tabelle 1*).

Über die Einsteigschächte steht das Abwasser der Kanalisation mit der Umwelt in Verbindung, so dass unter bestimmten Bedingungen im Abwasser enthaltene Mikroorganismen, Toxine und Stoffwechselprodukte über Aerosole ein Infektionsrisiko für Menschen im Einwirkungsbereich der Einsteigschächte darstellen können. Dabei beeinflussen die jeweiligen örtlichen und klimatischen Gegebenheiten den Gasaustausch zwischen Kanalisation und Luft. Inwieweit die im Zuge des Gasaustausches ebenfalls ausgetragenen organischen Verbindungen, die eher zu einer geruchlichen Beeinträchtigung führen und als erste Indikatoren für Aerosole dienen, ein gesundheitliches Risiko darstellen, wird in der hier vorliegenden Untersuchung nicht berücksichtigt. Die Studie beschränkt sich auf eine Bewertung des Infektions-

risikos durch Aerosole aus der Kanalisation durch Bakterien, Schimmelpilze, Viren und Toxine.

Vor Beginn der messtechnischen Untersuchungen wurde der Stand von Wissenschaft und Technik bezüglich der Infektionsgefahr durch Austrag von Krankheitserregern aus Einsteigschächten von Kanalisationen durch Aerosole zusammengefaßt.

Mikroorganismen bzw. Toxine	Mikroorganismus	Beispiel
Bakterien	<i>Salmonella</i>	<i>S. enteritidis</i> , <i>S. typhi</i> , <i>S. paratyphi</i>
	<i>Vibrio</i>	<i>V. cholerae</i> , <i>V. eltor</i>
	<i>Clostridium</i>	<i>C. perfringens</i> , <i>C. botulinum</i>
	<i>Escherichia coli</i>	Enteroinvasive <i>E. coli</i> , enterotoxische <i>E. coli</i> , enteropathogene <i>E. coli</i> , enteroaggragative <i>E. coli</i>
	<i>Campylobacter</i>	<i>C. jejuni</i>
Schimmelpilze	<i>Aspergillus</i>	<i>A. flavus</i> , <i>A. niger</i> , <i>A. parasiticus</i> , <i>A. clavatus</i> , <i>A. ochraceus</i>
	<i>Penicillium</i>	<i>P. expansum</i> , <i>P. urticae</i> , <i>P. patulum</i>
	<i>Fusarium</i>	<i>F. graminearum</i> , <i>F. poae</i> , <i>F. sporotrichoides</i> , <i>F. culmorum</i> , <i>F. moniliforme</i>
Viren	Picorna-Viren	Herpes-Viren
	Reo-Viren	
	Rota-Viren	
	Adeno-Viren	
	ECHO-Viren	
	Parvo-Viren	
	Calici-Viren	
	Coxsackie-Viren	
	Astro-Viren	
Toxine	Mycotoxine (von Schimmelpilzen produziert)	Aflatoxine (z.B. <i>A. flavus</i> ), Patulin (z.B. <i>A. clavatus</i> , <i>P. expansum</i> ), Ochratoxin (z.B. <i>A. ochraceus</i> ), Zearalenon (z.B. <i>F. graminearum</i> )
	von Bakterien produzierte Toxine	Choleratoxin ( <i>V. cholerae</i> ), Enterotoxine verschiedener Bakterien, Botulismustoxin ( <i>C. botulinum</i> )
	Endotoxine	Von gramnegativen Bakterien nach deren Zelltod freigesetzte Teile der äußeren Zellmembran

Tabelle 1: Beispiele für den Menschen relevanter Mikroorganismen bzw. Toxine, die im Abwasser vorkommen können (in Anlehnung an [4], [5])

### 3 Kenntnisstand zum Infektionsrisiko durch den Austrag von Aerosolen

Obwohl wie oben beschrieben der Austrag von Mikroorganismen und Toxinen aus der Kanalisation über die Einsteigschächte potentiell ein Infektionsrisiko darstellt, konnte zu exakt dieser Thematik keine wissenschaftliche Literatur gefunden werden. Die gesichteten Veröffentlichungen befassen sich mit dem gesundheitlichen Risiko durch eine Aerosolbelastung in der Kanalisation selbst oder in Wasseraufbereitungs-, Abfallbeseitigungs- sowie Bewässerungsanlagen, also Anlagen, in denen in großem Umfang zum Teil hochbelastete Aerosole entstehen. Da sich zu der eigentlichen Thematik keine Literatur finden lässt, wurde bislang offensichtlich bei Normalbetrieb kein Infektionsrisiko für den Menschen durch Austrag von Aerosolen aus der Kanalisation gesehen.

### 3.1 Krankheitsbeschwerden in Zusammenhang mit mikrobiell belasteten Aerosolen

Während frühere Studien [6] die Belastung der Luft durch Mikroorganismen in der Umgebung von Kläranlagen als unbedeutend für die menschliche Gesundheit einschätzten, gehen neuere Studien in der Regel davon aus, daß mikrobiell belastete Aerosole unabhängig von ihrer Herkunft grundsätzlich zu Krankheitsbeschwerden führen können. Verschiedene Studien berichten über körperliche Beschwerden, die in Zusammenhang mit Mikroorganismen in Aerosolen gebracht werden. Eine zusammenfassende Darstellung zur Wirkung mikrobieller Aerosole auf den Menschen im Zusammenhang mit Betrieben der Abfallwirtschaft, in denen häufig eine erhöhte Belastung mit Schimmelpilzen anzutreffen ist, findet sich in der Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene [7]. In einigen Teilen einer Kompostierungsanlage konnten hohe Konzentrationen gramnegativer Bakterien gemessen werden, wobei bei den Arbeitern eine erhöhte Tendenz zu Übelkeit, Kopfschmerzen und Diarrhöe im Vergleich zu einer Kontrollgruppe ermittelt wurde [8]. Ebenfalls wurde in der Nähe von drei Kompostierungsanlagen eine Häufung atemwegsbezogener Beschwerden nachgewiesen, während Asthma oder Infektionskrankheiten nicht in erhöhtem Umfang auftraten. In der Nähe der Anlagen ließen sich darüber hinaus erhöhte Belastungen mit Bakterien und Schimmelpilzen nachweisen [9]. Weiterhin traten bei Müllentsorgern Atemwegsbeschwerden auf, und es fanden sich bei ihnen erhöhte Antikörperkonzentrationen gegen Schimmelpilze und Actinomyceten, die an diesen Arbeitsplätzen isoliert wurden [10]. Ähnliches ergibt sich für Arbeiter einer Wertstoffsortieranlage. Bei ihnen wurde eine Erhöhung des IgE-Level gegen mycotische Antigene sowie eine Einschränkung der Lungenfunktion festgestellt [11]. Weiterhin wurden Diarrhö und Übelkeit mit der Tätigkeit in der Müllbearbeitung in Verbindung gebracht [12]. Bei Arbeitern einer Wiederverwertungsanlage für Abfall ließ sich ein erhöhtes Risiko für Magen-, Darm-, Haut- und Atemwegserkrankungen nachweisen [13].

In einer Abwasseraufbereitungsanlage wurde ein Zusammenhang zwischen der Belastung der Arbeiter mit Bakterien allgemein sowie stäbchenförmigen Bakterien und dem Auftreten von Symptomen im Bereich der Luftwege, Kopfschmerzen, Müdigkeit und Übelkeit nachgewiesen [14]. In einer anderen Anlage wurden Kopfschmerz, Müdigkeit und Diarrhö mit dem verstärkten Auftreten von Endotoxinen in Verbindung gebracht [15]. In einer weiteren betrachteten Abwasseraufbereitungsanlage wies ein Teil der Arbeiter Symptome wie Hautirritation, Atemwegsbeschwerden und Bindehautentzündung auf, die auf mit Bakterien belastete Aerosole zurückgeführt werden konnten. Eine Überschreitung der Grenzwerte für gramnegative Bakterien und Endotoxine konnte hier jedoch nicht festgestellt werden [16].

In anderen Studien wurden im Vergleich zu unbelasteten Kontrollgruppen keine signifikante Erhöhung des Antikörpertiters gegen Rotaviren und Norwalk-Viren bei Arbeitern einer Abwasserbehandlungsanlage [17] sowie keine signifikante Erhöhung der Zahl der Erkrankungen (Atemwege, Lunge, Haut, Allergien) bei Arbeitern einer Kompostierungsanlage [18] nachgewiesen.

Im Bereich der Toxine wurde über einen Zusammenhang zwischen einer Belastung mit Endotoxinen und  $\beta$ -(1- $\rightarrow$ 3)-Glucan aus Schimmelpilzen und dem Auftreten von Entzündungen der oberen Atemwege berichtet [19].

**Zusammenfassend läßt sich sagen, daß die Studien einen Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Krankheitssymptomen und der Exposition mit mikrobiell belasteten Aerosolen nahelegen.**

### 3.2 Nachweis von Mikroorganismen und Toxinen

Generell kann die Konzentration von Mikroorganismen mit verschiedenen Methoden erfaßt werden. Die Kultur auf Selektivmedien wird häufig für Bakterien und Schimmelpilze angewendet. Neuere Studien befassen sich intensiv mit der Nutzung molekularbiologischer M-

thoden zum Nachweis von Mikroorganismen, speziell von Viren, die mit Hilfe der Zellkultur nur schwer oder gar nicht nachgewiesen werden können. Übersichtsartikel zum Nachweis verschiedener Mikroorganismen sind bei [20] (Pilze und Bakterien), [21] (Viren) sowie [22], [23], [24], [25] und [26] (Nachweis luftgetragener Mikroorganismen) verfaßt worden.

Im Zusammenhang mit dem Nachweis verschiedener Mikroorganismen in Wasser, Abwasser, Abfallbehandlungsanlagen und entsprechenden Aerosolen ist zu erwähnen, daß Bakterien und Schimmelpilze in der Regel durch Kultur nachgewiesen werden. Beispiele entsprechender Untersuchungen finden sich bei [6], [7], [9], [27], [28], [29], [30], [31], [32], [33], [34], [35], [36], [37], [38], [39], [40] und [41]. Auch konnte nach Zusatz von *E. coli* das Bakterium in Aerosolen nachgewiesen werden [42].

Vor der Verbreitung molekularbiologischer Nachweismethoden wurden auch Viren mit Hilfe der Zellkultur nachgewiesen, so dass zugleich der Beweis für ihre potentielle Infektiösität vorlag. Entsprechende Darstellungen sind bei [30] (Tierviren, Coliphagen), [31] (Coliphagen), [32] (Enteroviren), [34] (Enteroviren und Coliphagen), [29] (Coliphagen), [39] (Enteroviren), [43] (Enteroviren) sowie [40] (Enteroviren) zu finden. In neueren Untersuchungen kommen bevorzugt molekularbiologische Methoden für den Nachweis von Viren zum Einsatz, d.h. PCR, gegebenenfalls in Kombination mit Southern- oder Northernblot-Analyse. Auf diese Weise wurden in Abwasser Norwalk-like Caliciviren [44], Rotaviren [45], verschiedene Polyomaviren [46], HIV-1 und Polioviren [47] sowie Entero- und Reoviren in der Luft oberhalb von Belebungsbecken sowie im Belebungsbecken selbst nachgewiesen [31]. Zusätzlich konnten nach entsprechendem Zusatz Hepatitis-A-Viren in Ästuarproben [48] und HIV-1-Viren in Abwasser [49] detektiert werden. In wenigen dieser Studien wurde zugleich die Infektiösität der Viren in Zellkultur nachgewiesen [49] (HIV-1), [42] (*E. coli*) und [31] (Coliphagen, cytopathogene Viren).

Mikrobielle Toxine können ebenfalls in der Umwelt nachgewiesen werden. So hat sich für die Bestimmung des Endotoxingehalts der LAL-Test (Limulus amoebocyte lysate assay: Gelbildung im Blut des Pfeilschwanzkrebse) durchgesetzt, als weitere Möglichkeiten zur Bestimmung des Endotoxingehalts sind Gaschromatographie, FPLC und HPLC zu nennen. Ebenfalls ist zu erwähnen, daß der LAL-Test nicht spezifisch für Endotoxine ist, er reagiert ebenfalls auf Lektine und  $\beta$ -1-3-Glucane, also Zellwandbestandteilen von Pilzen [50]. Somit stellt das Ergebnis des LAL-Tests einen Summenparameter dar. Mycotoxine sind vom chemischen Standpunkt aus eine sehr heterogene Gruppe. Sie werden in der Regel mit Hilfe der HPLC unter Verwendung von Dioden Array Detektion oder Fluoreszenzdetektion nachgewiesen [50]. Für einige Mycotoxine sind ELISA-Tests entwickelt worden [50].

### **3.3 Mikrobielle Belastung von Aerosolen aus Abwasser (Kläranlagen und Abwasserverregnung)**

Von besonderer Bedeutung für die hier durchgeführten Untersuchungen sind Studien, die sich mit dem Nachweis lebender und damit potentiell infektiöser Bakterien und Pilze in Aerosolen aus Abwasser befassen, da diese wahrscheinlich in der Abluft der Kanalisation zu finden sind. Daneben ist im Bereich der Viren der Nachweis der Infektiösität für Zellen von Interesse, jedoch lassen sich nicht alle Viren auf diese Weise erfassen, so dass sich häufig nur das Genom oder dessen Teile nachweisen lassen.

In diesem Zusammenhang ist zu erwähnen, daß in Aerosolen aus Belebungsbecken von Kläranlagen bzw. Wasseraufbereitungsanlagen fäkale Streptokokken und coliforme Bakterien, Coliphagen, Reoviren und Enteroviren [31], [34] und [36], in Aerosolen einer Kläranlage neben Bakterien im allgemeinen coliforme Bakterien [27], in Aerosolen in der Umgebung einer Kläranlage neben Bakterien im allgemeinen Enterobacteriaceen [6] sowie in Aerosolen eines Belebtschlammbeckens neben Bakterien im allgemeinen *E. coli* und Enterokokken nachgewiesen worden sind. In diesen Fällen liegen mit infektiösem Material belastete Aerosole vor, so dass ein Infektionsrisiko besteht.

Neben dem Vorkommen verschiedener Mikroorganismen in Aerosolen aus Abwasserbehandlungsanlagen ist auch der Faktor der Keimverdriftung durch den Wind von Interesse. Hierbei hängt die Fähigkeit, im Aerosol zu überleben, von der Art der Mikroorganismen sowie den Faktoren Lichteinfall, Luftfeuchtigkeit etc. ab [6], [27], [34] und [41].

Neben der Aerosolbildung im Bereich der Kläranlagen bzw. Wasseraufbereitungsanlagen ist die Aerosolbildung durch Abwasserverregnung von besonderer Bedeutung, da hier gezielt mit Mikroorganismen belastete Aerosole ausgebracht werden. Dabei sind grundsätzlich solche Mikroorganismen in den Aerosolen zu erwarten, wie sie auch im Abwasser gefunden werden, also auch potentiell pathogene Keime. Ein Artikel von Sorber und Guter [51] liefert eine Übersicht zu den hygienischen Aspekten der Abwasserverregnung und weist auch auf die Tatsache hin, daß die Wahrscheinlichkeit, pathogene Aerosole in der Nähe einer Abwasserverregnungsanlage einzuatmen, relativ groß ist.

In entsprechenden Aerosolen konnten in verschiedenen Untersuchungen teils gleiche, teils unterschiedliche Mikroorganismen nachgewiesen werden. So fanden sich Pseudomonaden, Enterobacteriaceen, Vibrionaceen, und Enterokokken [28], infektiöse Enteroviren, Salmonellen und coliforme Bakterien [39], Bakterien im allgemeinen, coliforme Bakterien und Bakterien der Gattung Klebsiella [38], Bakterien im allgemeinen, coliforme Bakterien, fäkale coliforme Bakterien und Streptokokken [29], Bakterien im allgemeinen und Coliphagen, jedoch keine Tierviren [30] sowie infektiöse Enteroviren und coliforme Bakterien [40].

Eine Keimverdriftung trat sowohl bei der Verregnung von Abwasser als auch bei der Wasseraufbereitung auf [28], [29], [38] und [39]. An den Orten, über die der Wind von der Verregnungsanlage aus strich, fand sich eine erhöhte Zahl von Mikroorganismen [28], [29] und [38]. In Abhängigkeit von den klimatischen Gegebenheiten und den betroffenen Bakterienarten nahm deren Zahl ab [28], und es kam zu einer Verschiebung des Bakterienspektrums [28]. Mathematische Modelle zur Erfassung der Verbreitung von Bakterien über die Luft bzw. zur Beschreibung ihres Absterbens wurden vorgestellt bzw. angewandt [29], [38] und [52]. Weiterhin ist anzumerken, daß verschiedene Autoren [39] die Konzentration der coliformen Bakterien als nicht relevant im Zusammenhang mit der Belastung durch andere Mikroorganismen wie Enteroviren und Salmonellen betrachten, da diese ein anderes Resistenzverhalten gegenüber den Umweltgegebenheiten zeigten.

Weiterhin zu erwähnen ist, dass bei der Ausbringung von Schlamm aus der Wasseraufbereitung auf Waldboden Aerosole nachgewiesen werden konnten, die u.a. coliforme Bakterien enthielten. Dabei wurde die Aerosolbildung durch trockenes und warmes Wetter gefördert [33].

### 3.4 Mikrobielle Belastung von Aerosolen aus Müllbehandlungsanlagen

Neben Aerosolen aus dem Bereich der Abwasserbehandlung bzw. -verregnung sind noch solche aus dem Bereich der Müllbehandlung bzw. -kompostierung zu erwähnen. Auch bei diesen Aerosolen ist mit einer hohen mikrobiellen Belastung zu rechnen, da Mikroorganismen an der Umsetzung des mehr oder weniger trockenen Abfalls beteiligt sind. Dabei ist im Vergleich zu der Situation im Abwasserbereich mit einer erhöhten Belastung durch Schimmelpilze zu rechnen, da diese besser als Bakterien an das Wachstum bei niedrigem Wassergehalt angepaßt sind.

So fanden sich in Aerosolen, die bei der Müllentsorgung entstanden, Actinomyceten und Schimmelpilze [10] und [37], Bakterien und Schimmelpilze [12], Schimmelpilze [53] und [54] sowie Bakterien, Schimmelpilze und Actinomyceten [55]. In Aerosolen von Kompostierungsanlagen wurden Schimmelpilze [35], Bakterien, Schimmelpilze und Actinomyceten [9] bzw. unter Freisetzungsbedingungen erhöhte Konzentrationen von Bakterien, Schimmelpilzen und Actinomyceten [56] nachgewiesen. In fünf biologischen Abfallbehandlungsanlagen inklusive vorhandener Biofilter und bei zeitlich begrenzten freisetzungsrelevanten Tätigkeiten ließen sich erhöhte Konzentrationen von Bakterien insgesamt, Actinomyceten und Schimmelpilzen [57] sowie im Bereich von Biofiltern in Kompostierungsanlagen Actinomyceten und Schim-



melpilze [58] nachweisen. Auf Mülldeponien fand sich eine erhöhte Keimbelastung der Luft mit Schimmelpilzen, Bakterien und Actinomyceten [59]. Auch waren in Aerosolen von Abfallbeseitigungs- und –verwertungsanlagen Enteroviren nachzuweisen [43].

### 3.5 Toxingehalt von Aerosolen

Von vielen Mikroorganismen werden Toxine gebildet und teilweise auch ausgeschieden. Insbesondere sind die von Schimmelpilzen gebildeten Mycotoxine zu nennen, die in Abhängigkeit von den Kulturbedingungen gebildet und ausgeschieden werden. Neben den Mycotoxinen sind die Endotoxine gramnegativer Bakterien von Bedeutung. Hierbei handelt es sich um Bestandteile der äußeren Zellmembran, der Begriff Lipopolysaccharide wird häufig synonym mit dem Begriff Endotoxin verwendet.

In Aerosolen einer Abwasserbehandlungsanlage wurden bereits Endotoxine [16], in Bioaerosolen von Kompostierungsanlagen Mycotoxine [35], in Aerosolen von Kompostierungsanlagen [9] bzw. bei der Einsammlung von Siedlungsabfällen [12] und [55] Endotoxine sowie in Aerosolen bei der Müllbearbeitung Endotoxine und Mycotoxine [19] nachgewiesen.

### 3.6 Zusammenfassung

Zusammenfassend läßt sich zu der gesichteten Literatur sagen, daß mikrobiell belastete Aerosole im Zusammenhang mit einer Belüftung von Abwasser oder bei dessen Versprühung zwecks Bewässerung sowie bei der Müllbehandlung, -beseitigung bzw. -kompostierung nachgewiesen worden sind. Unter diesen Bedingungen entstehen teilweise in erheblichem Umfang mikrobiell belastete Aerosole. In Abhängigkeit von den Umgebungsverhältnissen (Windstärke, Temperatur, Lichteinfall, Luftfeuchtigkeit) ist mit einer Verdriftung der Mikroorganismen zu rechnen, und belastete Aerosole können auch entfernt von ihrem Entstehungsort nachgewiesen werden. Frühere Studien stuften eine mikrobielle Belastung der Luft als unbedeutend für die menschliche Gesundheit ein, neuere Studien hingegen ziehen diese als Ursache für gesundheitliche Beeinträchtigung exponierter Menschen durchaus in Erwägung.

Die im Zusammenhang mit Aerosolen aus Abwasseraufbereitungs- und Müllbehandlungsanlagen gewonnenen Daten sind jedoch nur von eingeschränkter Bedeutung für eine Bewertung des Infektionsrisikos durch den Austrag von Aerosolen aus der Kanalisation, da die Verhältnisse nicht vergleichbar sind. So könnten theoretisch in der Luft, die der Kanalisation entweicht, die im Abwasser vorkommenden Mikroorganismen enthalten sein. Dies entspräche im wesentlichen einem Aerosol, wie es bei der Abwasseraufbereitung oder Abwasserverregnung entsteht, so daß neben anderen Bakterien Fäkalkontaminanten und Viren zu erwarten wären. Darüber hinaus bestände die Möglichkeit, daß Teile der Kanalisation und insbesondere Einsteigschächte zeitweise abtrocknen. Unter diesen Bedingungen lägen Verhältnisse ähnlich denen bei der Abfallbearbeitung bzw. –kompostierung vor, und es könnten sich verstärkt Schimmelpilze vermehren. Letztendlich ist anhand der Literatur nicht abzuklären, welche Effekte tatsächlich bei Aerosolen aus der Kanalisation vorliegen. Nur entsprechende Untersuchungen werden hierüber Auskunft geben.

## 4 Konkrete Darstellung der Untersuchungen

### 4.1 Ausgangssituation

Anhand der vorliegenden Literatur ist mit mikrobiell belasteten Aerosolen und somit einem Infektionsrisiko für den Menschen an den Orten zu rechnen, an denen Abwasser belüftet bzw. zur Bewässerung ausgebracht sowie Abfall bearbeitet bzw. kompostiert wird. Inwieweit jedoch mikrobiell belastete Aerosole über Einsteigschächte aus der Kanalisation austreten

und damit eine gesundheitliche Gefährdung für die Menschen im Einwirkungsbereich der Einsteigschächte darstellen, ist anhand der vorliegenden Literatur nicht zu klären.

Im Abwasser der Kanalisation findet sich eine Vielzahl von Mikroorganismen, zu denen auch pathogene Bakterien, Viren, Schimmelpilze und Protozoen zählen und die zum großen Teil fäkaler Herkunft sind. Für den Menschen bedeutende Krankheitserreger aus Warmblütern vermehren sich überwiegend nicht unter „Kanalbedingungen“, das Abwasser dient in diesem Fall lediglich als Transportmittel. Jedoch stellt Abwasser aufgrund seiner mikrobiellen Belastung grundsätzlich eine Infektionsquelle für den Menschen dar.

Abhängig von den jeweiligen örtlichen und witterungsbedingten Gegebenheiten kann es zu einem mehr oder weniger starken Austausch zwischen der Luft in der Kanalisation und der Außenluft kommen.

**Ziel dieser Untersuchungen war es, zu überprüfen, ob es im Normalbetrieb mit aufgelegtem Deckel zu einem Austrag von Bioaerosolen aus Einsteigschächten von Kanalisationen kommt.** In das Öffentliche Interesse gelangen derartige Luftaustritte aus der Kanalisation durch die im allgemeinen damit verbundenen geruchlichen Belästigungen.

Gemäß Definition versteht man unter Abwasser das in eine Abwasserleitung oder einen Abwasserkanal eingeleitete Schmutzwasser. Das Schmutzwasser stellt ein durch seinen Gebrauch verunreinigtes Wasser dar. Bedingt durch die Einleitungen aus dem häuslichen Bereich z.B. Waschräume, Badezimmer, Toiletten usw. weist das Abwasser eine nicht unerhebliche fäkale Belastung auf. Das Vorhandensein von Krankheitserregern insbesondere klassischer Seuchenerreger wie z.B. Salmonellen steht dabei außer Frage.

Als Aerosole bezeichnet man kolloidal dispergierte Systeme, wobei das Dispersionsmedium in der Regel Luft ist. Entsprechend der Definition von Kolloiden liegt die Partikelgröße zwischen 0,1 und 0,001  $\mu\text{m}$  Durchmesser. Im Unterschied zu Stäuben enthalten Aerosole nicht nur Feststoffe sondern auch Flüssigkeitströpfchen, die aus kondensierten Dämpfen gebildet werden, oder aus Reaktionsprodukten von Gasen hervorgehen. Solche Tröpfchen können auch gelöste Substanzen enthalten. Aus physikalischer Sicht kommt den Partikelgrößen  $< 5 \mu\text{m}$  eine besondere Bedeutung zu, denn mit kleiner werdendem Durchmesser tendieren die Teilchen dazu, sich gasähnlich auszubreiten.

## 4.2 Untersuchungsstrategie

Grundsätzlich kann man in Aerosolen aus der Kanalisation das Vorkommen von Bakterien, Schimmelpilze, Viren und Toxine erwarten, da einige Mikroorganismen sich in der Kanalisation bzw. den Einsteigschächten vermehren und Toxine produzieren können. Inwieweit die Mikroorganismen und Toxine in Aerosole übertreten, hängt auch von ihrer Größe und ihrer Fähigkeit zur Bildung von Aggregaten oder zur Adsorption an Oberflächen ab. Weiterhin ist die Überlebensfähigkeit der verschiedenen Organismen in den Aerosolen von entscheidender Bedeutung für ihre Infektiosität.

Bei dem Nachweis fäkaler Belastungen bzw. dem Vorkommen von Krankheitserregern ist es nicht sinnvoll, einzelne pathogene Mikroorganismen wie z.B. Salmonellen oder Viren zu bestimmen, da diese in der Regel nur in geringen Konzentrationen vorkommen und ihr Nachweis mit einem nicht unerheblichen labortechnischen Aufwand verbunden ist. Ein Nachweis fäkaler Verunreinigungen wird daher über den **Nachweis von Leitorganismen** geführt.

Der Leitorganismus für fäkale Verunreinigungen ist ***Escherichia coli***, ein Bakterium, das mit dem Stuhl von Warmblütern in hoher Anzahl ausgeschieden wird. Der Nachweis dieses Leitorganismusses ist mit einfachen labortechnischen Untersuchungen durchzuführen.

Im Abwasserbereich hat man es daneben mit einer Vielzahl verschiedener weiterer Mikroorganismen zu tun. Um eine Aussage über den Mikroorganismen- und Toxingehalt der Aerosole aus der Kanalisation sowie deren Infektiosität treffen zu können, wurden neben dem oben genannten Leitorganismus weitere Gruppenparameter und Gesamtkeimzahlen von

Bakterien und Pilzen herangezogen. Im einzelnen wurden die Konzentrationen folgender Mikroorganismen bzw. Toxine ermittelt:

- *Escherichia coli* als klassischer Indikatororganismus für fäkale Verunreinigungen
- Schimmelpilze (allgemein) als Vertreter für lebende Zellen mit einem Durchmesser > 2  $\mu\text{m}$
- Bakterien (allgemein) als Vertreter für lebende Zellen mit einem Durchmesser von ungefähr 1  $\mu\text{m}$
- Endotoxine als Vertreter für Mikroorganismen und Substanzen mit einem Durchmesser < 1  $\mu\text{m}$ , deren krankheitsauslösender Effekt nicht an ihre Lebensfähigkeit gebunden ist

Die genannten Mikroorganismen bzw. Gruppen wurden mittels der hierfür üblichen kulturellen Bestimmungsmethoden analysiert. Die Lebens- bzw. Teilungsfähigkeit der Organismen wird dabei vorausgesetzt. Gramnegative Bakterien gelten als besonders empfindlich gegenüber einem Austrocknen, was zu einem relativ schnellen Absterben der Organismen in der Luft führen kann. Zellbestandteile dieser nicht mehr lebenden Bakterien können jedoch noch biologisch aktiv sein. Ein hoher Gehalt der als Endotoxine bezeichneten hitzestabilen Zellbestandteile gramnegativer Bakterien in der Luft kann zur Abnahme der Lungenfunktion exponierter Personen führen.

## 4.3 Vorgehensweise

### 4.3.1 Allgemeines

Bei der Erfassung von Bioaerosolen wird, methodisch nach den vom Arbeitskreis „Meßverfahren, Meßstrategien“ des Beratungsgremiums „Biologische Arbeitsstoffe“ im Rahmen der Umsetzung der EU-Richtlinie 90/679/EWG (Schutz der Arbeitnehmer gegen Gefährdung durch biologische Arbeitsstoffe bei der Arbeit) erstellten Verfahren bzw. den in der BIA-Arbeitsmappe (BIA Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit) dokumentierten Meßverfahren für biologische Agenzien vorgegangen.

### 4.3.2 Luftsammelgerät

Die Luftproben wurden mit dem Gerät „Sartorius Collectron“ von Sartorius, Göttingen, genommen.

### 4.3.3 Filter und Agarmedien

Die in der Luft enthaltenen Mikroorganismen und Endotoxine wurden auf Filtern gesammelt. Die Anzucht der Mikroorganismen erfolgte auf Agarmedien. Es kamen die folgenden Filter und Agarmedien zu Verwendung:

- *Filter für die Sammlung von Mikroorganismen*  
 Gelatine Filter, Artikelnummer 12602-50-ALK, Porengröße 3,0  $\mu\text{m}$ , Durchmesser 5,0 cm, Sartorius, Göttingen.
- *Filter für die Sammlung von Endotoxinen*  
 Filter aus bindemittelfreiem Borosilikatglas, Artikelnummer MN 85/90 BF, Durchmesser 5,0 cm, Macherey und Nagel, Düren.

- *Endo-Agar zur Bestimmung von coliformen Keimen bzw. E. coli (Difco)*

12,0 g Hefeextrakt, 3,7 g Casiton, 3,7 g Thiopepton, 7,5 g Tryptose, 9,4 g Lactose, 3,3 g di-Kaliumhydrogenphosphat, 1,0 g Kaliumdihydrogenphosphat, 3,6 g Natriumchlorid, 0,1 g Natriumdesoxycholat, 0,05 g Natriumlaurylsulfat, 1,6 g Natriumsulfit, 0,8 g basisches Fuchsin, 15,0 g Agar, 1000 ml Aqua dest. mit 20 ml Ethanol (Merck), kurzfristige Erhitzung auf 100 °C. Auf Endo-Agar bilden coliforme Keime bzw. E. coli flache Kolonien mit einem charakteristischen grünen Metallglanz. Daher wurden auf Endo-Agar alle Kolonien dieses Typs gezählt und als coliforme Keime bzw. E. coli gewertet.
- *Dichloran-Glycerin-Agar zur Bestimmung der Konzentration von Schimmelpilzen und Hefen (Oxoid)*

5,0 g Pepton, 10,0 g Glucose, 1,0 g Kaliumdihydrogenphosphat, 0,5 g Magnesiumsulfat, 0,002 g Dichloran, 15,0 g Agar, 220,0 g Glycerin (Merck), 0,1 g Chloramphenicol (Oxoid) gelöst in 6 ml Ethanol (Merck), 1000 ml Aqua dest., pH 5,6 ± 0,2, sterilisiert für 15 Minuten bei 121 °C. Auf Dichloran-Glycerin-Agar wachsen aufgrund des niedrigen Gehalts nicht gebundenen Wassers und der Zugabe von Dichloran als ein gegen Bakterien gerichtetes Antibiotikum Schimmelpilze und Hefen.
- *Plate-Count-Agar zur Bestimmung der Gesamtkeimzahl (Oxoid)*

5,0 g Caseinpepton, 2,5 g Hefeextrakt, 1,0 g Glucose, 9,0 g Agar, 1000 ml Aqua dest., pH 7,0 ± 0,2, sterilisiert für 15 Minuten bei 121 °C. Auf Plate-Count-Agar wachsen bevorzugt Bakterien, jedoch ermöglicht der Agar eingeschränkt auch die Koloniebildung bei Schimmelpilzen.

#### 4.3.4 Aufnahme der Proben

Im Rahmen der Untersuchung wurden fünf Einsteigschächte beprobt. Beprobungen der Luft fanden unmittelbar oberhalb des Abwassers, 1,0 m unterhalb des geöffneten Kanaldeckels, 0,2 m oberhalb des geschlossenen Kanaldeckels, in 2,0 m Entfernung zum geschlossenen Kanaldeckel im Verdrift des vorherrschenden Windes sowie als Kontrolle in einiger Entfernung zum geschlossenen Kanaldeckel in Gegenwindrichtung statt. Die entsprechenden Entfernungen und Tiefen sind im Kapitel 7.4 zu entnehmen. Zwei der in die Untersuchung aufgenommenen Schächte sind mit gasdichten Schachtabdeckungen versehen, so dass ein Gasaustausch mit der Umgebung unterbleibt. Für den Zeitraum der Probenahme wurden die gasdichten Schachtabdeckungen gegen Schachtabdeckungen mit Lüftungsöffnungen nach DIN EN 124 ausgetauscht. Zur Aufnahme der Luftprobe wurden die sterilen bzw. endotoxinfreien Filter in die sterilen Kartuschen des Luftsammelgeräts eingelegt. Sodann wurde innerhalb von 5 Minuten 180 l Luft mit einer Rate von 2000 l/h gesammelt. Abwasserproben von ca. 5 ml wurden mit Hilfe einer sterilen Pipette genommen und in sterile Flaschen überführt.

#### 4.3.5 Aufarbeitung der mikroorganismenhaltigen Proben und Bestimmung der Mikroorganismenkonzentration

Die mit Mikroorganismen beaufschlagten Gelatinefilter wurden auf die Agarmedien transferiert. Die Agarplatten mit Plate-Count-Agar wurden 2 Tage bei 30 °C, die Agarplatten mit Endo-Agar 2 Tage bei 36 °C und die Agarplatten mit Dichloran-Glycerin-Agar 4 Tage bei 25 °C inkubiert. Nach der angegebenen Inkubationszeit wurden die koloniebildenden Einheiten durch Auszählen bestimmt. In die Bestimmung der Gesamtkeimzahl wurden alle Kolonien auf Plate-Count-Agar einbezogen, in die Bestimmung des Gehalts an Schimmelpilzen und Hefen alle Kolonien auf Dichloran-Glycerin-Agar.

Auf Endo-Agar wurden alle Kolonien gezählt, deren makroskopisches Bild dem von coliformen Keimen bzw. E. coli entsprach. Die ermittelte Koloniezahl wurde mit der beprobten Luftmenge korreliert und als Keimzahl pro Kubikmeter Luft angegeben. Die geringste erfassbare Keimzahl lag in allen Fällen bei 6 KBE/m<sup>3</sup> Luft.

Die Abwasserproben wurden in dekadischen Schritten mit steriler 0,9 prozentiger Natriumchloridlösung verdünnt. Pro Verdünnungsstufe und Agarplatte wurden 100 µl auf Plate-Count-Agar, Dichloran-Glycerin-Agar und Endo-Agar ausgebracht. Die Inkubation der Agarplatten sowie die Ermittlung der Keimzahlen erfolgte wie für die mit Gelatinefiltern belegten Agarplatten beschrieben. Die ermittelte Koloniezahl wurde mit der ausgebrachten Abwassermenge umgerechnet und als Keimzahl pro ml Abwasser angegeben. Die geringste erfassbare Keimzahl lag in allen Fällen bei 10 KBE / ml Abwasser.

#### 4.3.6 Bestimmung des Endotoxingehalts der Luft

Die mit Endotoxin beaufschlagten Filter wurden an die Firma Mediagnost, Tübingen, zur Bestimmung des Endotoxingehalts in Anlehnung an das in der BIA-Arbeitsmappe, 19.Lfg, XI/97 festgelegte Verfahren (Verfahren zur Bestimmung der Endotoxinkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz) versandt. Im Test wurden die Endotoxine in Lösung überführt und ihre Konzentration mit Hilfe des LAL-Tests (Limulus amoebocyte lysate assay: Gelbildung im Blut des Pfeilschwanzkrebses) bestimmt. Zu erwähnen ist, dass der LAL-Test nicht spezifisch für Endotoxine gramnegativer Bakterien ist, er reagiert ebenfalls eingeschränkt auf Lektine und  $\beta$ -1-3-Glucane (Zellwandbestandteilen von Pilzen). Somit stellt das Ergebnis des LAL-Tests einen Summenparameter dar. Die untere Nachweisgrenze des Tests lag nach Angaben von Mediagnost bei 1,8 IU/m<sup>3</sup> Luft bei einem gefilterten Luftvolumen von 180 l, der Meßwert war mit einer Genauigkeit von  $\pm 25\%$  zu ermitteln.

Vorversuche ergaben, dass eine Luftprobe aus Erde einen Endotoxingehalt von 77,8 IU/m<sup>3</sup> Luft aufweist; darüber hinaus entsprechen ca. 105 E. coli-Zellen einer Endotoxinmenge von 22 IU.

### 4.4 Untersuchungsumfang

#### 4.4.1 Allgemeines

Das Ziel dieser Studie besteht darin, den Mikroorganismengehalt der Luft in verschiedenen Tiefen des Einsteigschachtes sowie verschiedenen Entfernungen zum Einsteigschacht zu bestimmen und anhand der Daten das Gesundheitsrisiko durch einen Austrag von Mikroorganismen und Toxinen über Aerosole aus der Kanalisation zu bewerten. Zur Erfassung dieses Sachverhaltes werden zu verschiedenen Witterungsbedingungen Untersuchungen an fünf Einsteigschächten im Gelsenkirchener Stadtgebiet durchgeführt. Die Einsteigschächte wurden in Absprache mit dem Betreiber des Kanalnetzes, Gelsenkanal ausgewählt. In die Untersuchung wurden zwei Einsteigschächte eingeschlossen, bei denen eine Geruchsproblematik bekannt ist. Im folgenden werden die Charakteristika der untersuchten Einsteigschächte dargestellt.

Begleitend zu den Messungen wurden die Klimawerte Temperatur, Luftdruck, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit und Windrichtung erfasst. Auf den folgenden Seiten sind die Örtlichkeiten detailliert dargestellt.

#### 4.4.2 Messpunkt Nr. 1: Am Stadtwald, Gelsenkirchen Buer

Der untersuchte Einsteigschacht, der im folgende die Bezeichnung „Gelsenkirchen Buer“ trägt, ist in der Straße „Am Stadtwald“ gelegen. Die Straße „Am Stadtwald“ liegt in einer Einfamilienhaussiedlung mit geringer Verkehrsbelastung. Das ausgewählte Schachtbauwerk aus Beton hat eine Tiefe von 3,38 m bis zum Gerinne. Angeschlossen ist ein Abwasserkanal DN 400. Im Rahmen der Untersuchung wurden die folgenden Messpunkte beprobt:

belastete Kanalisation	3,05 m Tiefe im Einsteigschacht.
Kanalisation	1,0 m Tiefe im Einsteigschacht.
Kanaldeckel	0,2 m oberhalb der aufgelegten Schachtabdeckung.
Verdrift	2,0 m Entfernung zum Einsteigschacht in Windrichtung, Windrichtung vorgegeben durch die Anordnung der Bebauung.
Kontrolle	8,0 m Entfernung zum Einsteigschacht in Gegenwindrichtung, Windrichtung und Ausrichtung der Messeinrichtung vorgegeben durch die Anordnung der Bebauung sowie weiterer Kanaldeckel.



Bild 1: Messeinrichtung

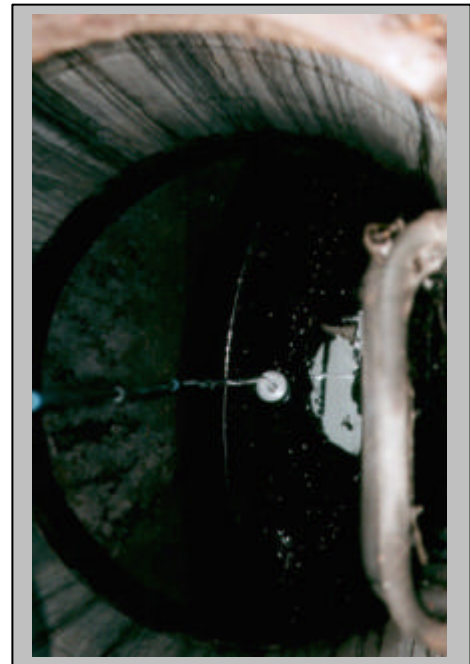


Bild 2: Messung im Schacht

#### 4.4.3 Messpunkt Nr. 2: Lothringer Straße, Gelsenkirchen Rotthausen

Der Einsteigschacht, der im folgenden die Bezeichnung „Gelsenkirchen Rotthausen, Lothringer Straße“ trägt, ist an der Kreuzung der Straßen „Lothringer Straße“ und „Belforter Straße“ in einem städtischen Wohngebiet mit mehrstöckigen Wohnbebauung gelegen. An der Kreuzung herrscht in der Regel reger Kraftfahrzeugverkehr. Das ausgewählte Schachtbauwerk aus Mauerwerk hat eine Tiefe von 2,97 m bis zum Gerinne. Angeschlossen ist ein Abwasserkanal DN 300. Im Rahmen der Untersuchung wurden die folgenden Messpunkte beprobt:

belastete Kanalisation	2,70 m Tiefe im Einsteigschacht.
Kanalisation	1,0 m Tiefe im Einsteigschacht.
Kanaldeckel	0,2 m oberhalb der aufgelegten Schachtabdeckung.
Verdrift	2,0 m Entfernung zum Einsteigschacht in Windrichtung, Windrichtung vorgegeben durch die Anordnung der Bebauung.
Kontrolle	11,0 m Entfernung zum Einsteigschacht in Gegenwindrichtung, Windrichtung und Ausrichtung der Messrichtung vorgegeben durch die Anordnung der Bebauung sowie weiterer Kanaldeckel.



*Bild 3: Messung über dem geschlossenen Einsteigschacht*

#### 4.4.4 Messpunkt Nr. 3: Belforter Straße, Gelsenkirchen Rotthausen

Der Einsteigschacht, der im folgenden die Bezeichnung „Gelsenkirchen *Rotthausen, Belforter Straße*“ trägt, ist an der Kreuzung der Straßen „*Belforter Straße*“ und „*Steeler Straße*“ in einem städtischen Wohn- und Industriegebiet gelegen. Sowohl in der „*Steeler Straße*“ als auch in der Einmündung in die „*Belforter Straße*“ herrscht reger Kraftfahrzeugverkehr. Das ausgewählte Schachtbauwerk aus Beton hat eine Tiefe von 4,15 m bis zum Gerinne. Angeschlossen ist ein Abwasserkanal DN 700. Im Rahmen der Untersuchung wurden die folgenden Messpunkte beprobt:

belastete Kanalisation	4,05 m Tiefe im Einsteigschacht.
Kanalisation	1,0 m Tiefe im Einsteigschacht.
Kanaldeckel	0,2 m oberhalb der aufgelegten Schachtabdeckung.
Verdrift	2,0 m Entfernung zum Einsteigschacht in Windrichtung, Windrichtung vorgegeben durch die Anordnung der Bebauung.
Kontrolle	13,0 m Entfernung zum Kanaldeckel in Gegenwindrichtung, Windrichtung und Ausrichtung der Messeinrichtung vorgegeben durch die Anordnung der Bebauung sowie weiterer Einsteigschächte.

#### 4.4.5 Messpunkt Nr. 4: Am Achternberg, Gelsenkirchen Rotthausen

Der Einsteigschacht, der im folgenden die Bezeichnung „*Am Achternberg*“ trägt, liegt in der Straße „*Am Achternberg*“ innerhalb einer Kleingartenkolonie. Die Straße wird überwiegend von Fußgängern frequentiert. Das ausgewählte Schachtbauwerk aus Beton hat eine Tiefe von 2,35 m bis zum Gerinne. Angeschlossen ist ein Abwasserkanal DN 1500. Aufgrund der Tatsache, dass dem Einsteigschacht bekanntermaßen ein unangenehmer Geruch entweicht, ist der Schacht mit einer gasdichten Schachtabdeckung versehen. Für den Zeitraum der Messungen wurde diese Schachtabdeckung durch eine Schachtabdeckung mit Lüftungsöffnungen gemäß DIN EN 124 ersetzt, so dass ein Gasaustausch zwischen Kanalisation und Umgebung gewährleistet war. Im Rahmen der Untersuchung wurden die folgenden Messpunkte beprobt:

belastete Kanalisation	2,10 m Tiefe im Einsteigschacht.
Kanalisation	1,0 m Tiefe im Einsteigschacht.
Kanaldeckel	0,2 m oberhalb der aufgelegten Schachtabdeckung.
Verdrift	2,0 m Entfernung zum Einsteigschacht in Windrichtung, Windrichtung vorgegeben durch die Anordnung der Bebauung.
Kontrolle	10,0 m Entfernung zum Einsteigschacht in Gegenwindrichtung, Windrichtung und Ausrichtung der Messeinrichtung vorgegeben durch die Anordnung der Bebauung sowie weiterer Einsteigschächte.



#### 4.4.6 Messpunkt Nr. 5: Am Maibusch, Gelsenkirchen Schalke

Der Einsteigschacht, der im folgenden die Bezeichnung „*Gelsenkirchen Schalke*“ trägt, liegt in der Straße „*Am Maibusch*“. Die Straße bildet die Zufahrt zum Gelsenkirchener Schlachthof und wird daher von einer Vielzahl in der Regel offener Viehtransporter befahren. Das ausgewählte Schachtbauwerk aus Mauerwerk hat eine Tiefe von 3,84 m bis zum Gerinne. Angeschlossen ist ein Abwasserkanal mit einem Eiprofil DN 700/1050. Aufgrund der Tatsache, dass dem Einsteigschacht bekanntermaßen ein unangenehmer Geruch entweicht, ist der Schacht mit einer gasdichten Schachtabdeckung versehen. Für den Zeitraum der Messungen wurde diese Schachtabdeckung durch eine Schachtabdeckung mit Lüftungsöffnungen gemäß DIN EN 124 ersetzt, so dass ein Gasaustausch zwischen Kanalisation und Umgebung gewährleistet war. Im Rahmen der Untersuchung wurden die folgenden Messpunkte beprobt:

belastete Kanalisation	3,65 m Tiefe im Einsteigschacht.
Kanalisation	1,0 m Tiefe im Einsteigschacht.
Kanaldeckel	0,2 m oberhalb der aufgelegten Schachtabdeckung.
Verdrift	2,0 m Entfernung zum Einsteigschacht in Windrichtung, Windrichtung vorgegeben durch die Anordnung der Bebauung.
Kontrolle	13,0 m Entfernung zum Einsteigschacht in Gegenwindrichtung, Windrichtung und Ausrichtung der Messeinrichtung vorgegeben durch die Anordnung der Bebauung sowie weiterer Einsteigschächte.

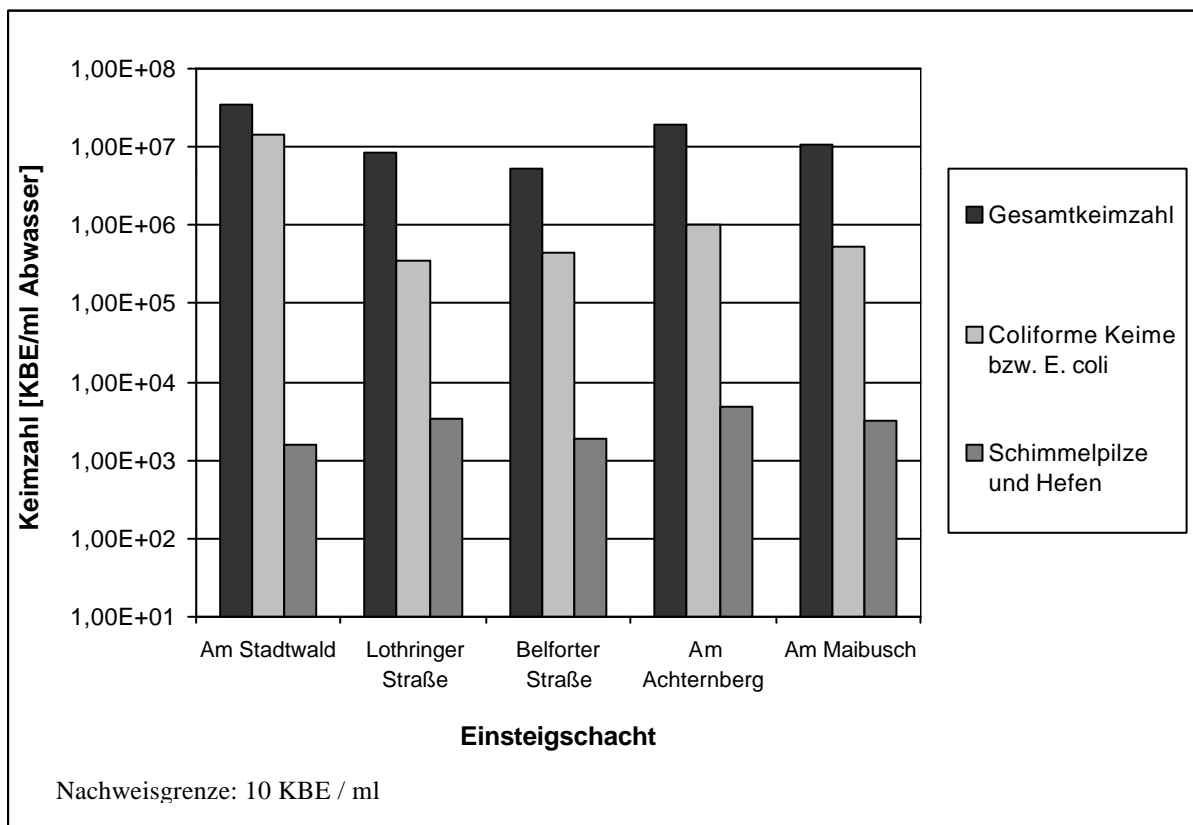
## 5 Ergebnisse und Diskussion

### 5.1 Mikrobielle Belastung des Abwassers

Das Ziel dieser Studie besteht darin, den Austrag von Mikroorganismen und den von Mikroorganismen freigesetzten Endotoxinen aus der Kanalisation über Einsteigschächte in Form von Aerosolen zu messen und das eventuelle Gesundheitsrisiko durch diese Aerosole zu bewerten.

Im Zusammenhang mit diesen Untersuchungen ist es sinnvoll, die Anwesenheit der Mikroorganismen im Abwasser selbst grundsätzlich nachzuweisen und das Verhältnis der zu testenden Mikroorganismengruppen zueinander abzuschätzen. Daher wurde stichprobenhaft die Gesamtkeimzahl des Abwassers sowie die Konzentration der Schimmelpilze und Hefen sowie der coliformen Keime bzw. E. coli als Indikatormikroorganismen für Fäkalkontaminationen bei den Beprobungen der Einsteigschächte Anfang August 2000 erfaßt. Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in Abbildung 1 zusammengestellt. Die entsprechenden Meßwerte sind im Anhang verzeichnet.

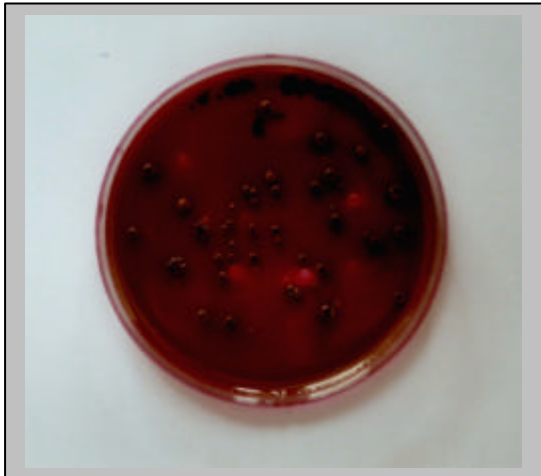
**Abbildung 1: Keimgehalt des Abwassers (Beprobung der Einsteigschächte: 07.08.2000 – 11.08.2000)**



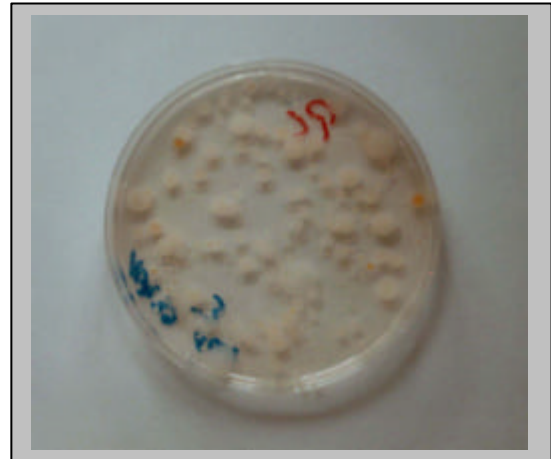
Wie aus Abbildung 1 ersichtlich, ist das an den verschiedenen Einsteigschächten entnommene Abwasser stark mikrobiell belastet. So lag die Gesamtkeimzahl bei ca. 10 Milliarden pro ml Abwasser. Einen wesentlichen Teil der Gesamtbakterienbelastung stellten die coliformen Bakterien dar.

Ihre Zahl lag bei zwischen 100 Millionen und 10 Milliarden pro ml Abwasser. Im Gegensatz hierzu waren Schimmelpilze und Hefen lediglich mit einer Keimzahl von rund 1000 pro ml Abwasser vertreten. Dabei stellten zumeist die Hefen den Schwerpunkt der mikrobiellen Belastung des Abwassers mit Schimmelpilzen und Hefen dar.

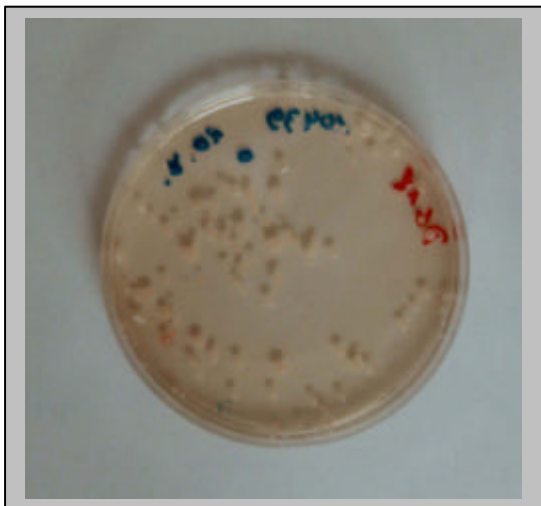
Somit ist das untersuchte Abwasser mikrobiell im wesentlichen mit Bakterien belastet, von denen coliforme Bakterien einen wesentlichen Teil ausmachen. Schimmelpilze und Hefen spielen hingegen eine untergeordnete Rolle, wobei Hefen in der Regel häufiger als sonstige Pilze nachweisbar waren.



*Bild 4: Abwasserprobe Belforter Straße,  
10.08.2000  
- Coliforme*



*Bild 5: Abwasserprobe Belforter Straße,  
10.08.2000  
- Bakterien*



*Bild 6: Abwasserprobe Belforter Straße,  
10.08.2000  
- Hefen*

## 5.2 Belastung der Luft mit Mikroorganismen und Endotoxinen im Einwirkungsbereich von Einsteigschächten zur Kanalisation

Nachdem gezeigt werden konnte, dass im Abwasser Bakterien und Schimmelpilze sowie coliforme Keime bzw. *E. coli* als typische Indikatorbakterien für Fäkalkontaminationen vorliegen, wird im folgenden auf den Mikroorganismengehalt der Luft an den verschiedenen Meßpunkten eingegangen.

### 5.2.1 Messpunkt Nr. 1: Am Stadtwald, Gelsenkirchen Buer

Der Einsteigschacht mit der Bezeichnung „*Gelsenkirchen Buer*“, wurde am 03.07.2000, 07.08.2000 und 08.11.2000 beprobt. Die Ergebnisse der einzelnen Messungen sind im Anhang tabellarisch und graphisch zusammengestellt.

Am 03.07.2000 herrschte ein warm-feuchtes Klima mit sehr geringem Wind; generell handelte es sich um eine Periode sehr feuchten Wetters. Unter diesen Bedingungen war die Gesamtkeimzahl in einer Tiefe von 3,05 m im Vergleich zu den übrigen Meßpunkten mit einem Wert von 306 KBE/m<sup>3</sup> erhöht, die übrigen Werte lagen zwischen 17 KBE/m<sup>3</sup> (Kontrolle) und 78 KBE/m<sup>3</sup> (Kanaldeckel). Im Vergleich hierzu war die Schimmelpilzkonzentration um ein Vielfaches erhöht. Sie lag zwischen 278 KBE/m<sup>3</sup> (Kontrolle) und 623 KBE/m<sup>3</sup> (Verdrift). Coliforme Keime bzw. *E. coli* waren an keinem Meßpunkt nachzuweisen. Bezüglich des Endotoxingehalts der Luft läßt sich sagen, dass an allen Meßpunkten die ermittelten Endotoxinkonzentrationen an der Nachweisgrenze des LAL-Tests lagen.

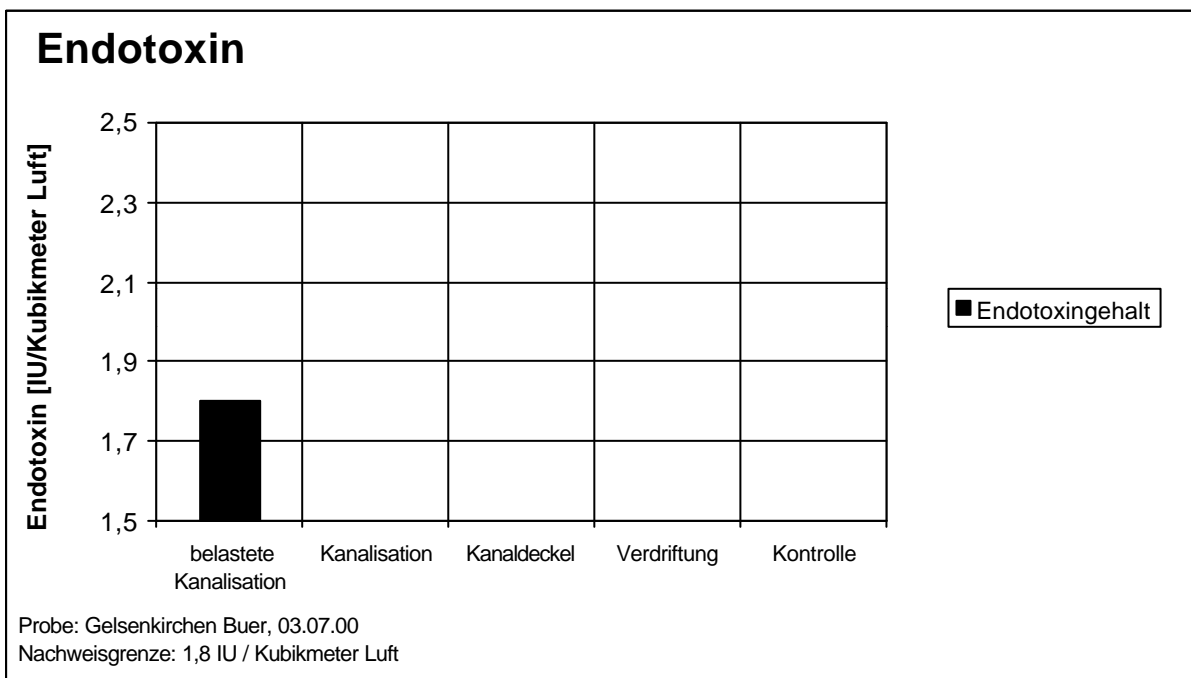
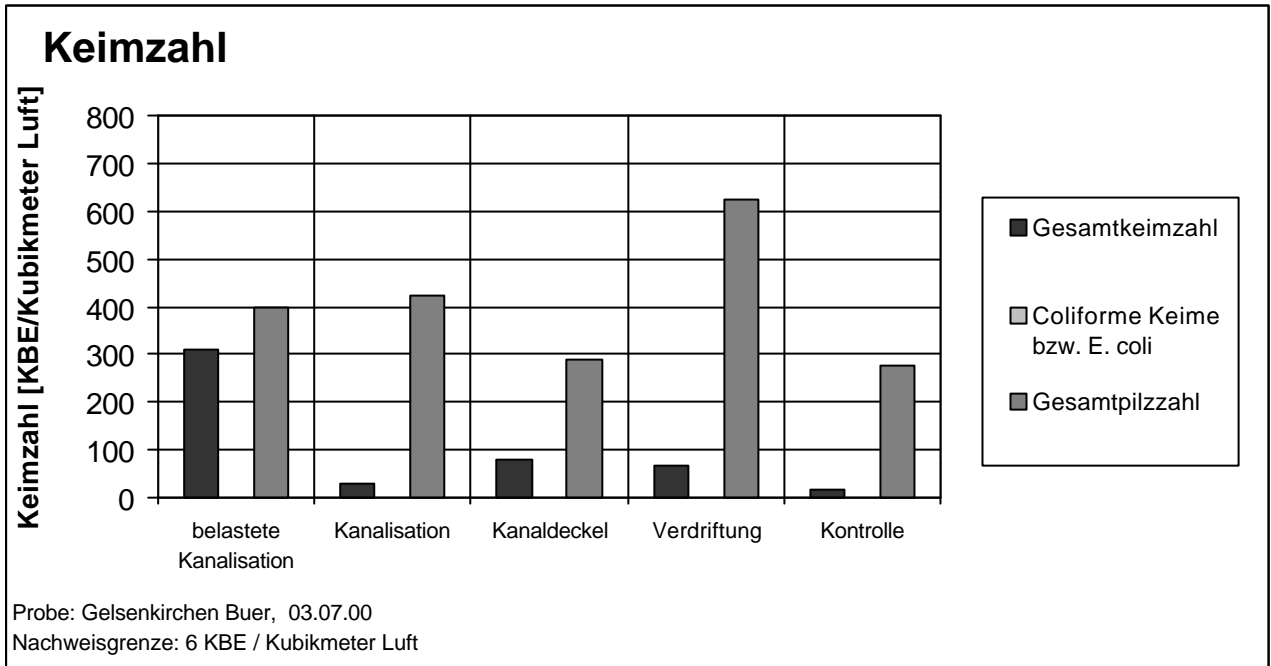
Am 07.08.2000 herrschte ein gemäßigt feuchtes Klima; tendenziell war die Witterung jedoch trockener als bei der Messung am 03.07.2000. Unter diesen Bedingungen war in der Tiefe des Einsteigschachtes eine im Vergleich zu den Werten an den übrigen Messpunkten erhöhte Gesamtkeimzahl von 306 KBE/m<sup>3</sup> zu verzeichnen. Die übrigen Werte lagen zwischen 44 KBE/m<sup>3</sup> (Verdrift und Kanalisation) und 111 KBE/m<sup>3</sup> (Kanaldeckel). Im Vergleich hierzu waren die Schimmelpilzkonzentrationen an allen Meßpunkten stark erhöht. Insbesondere in der Tiefe der Kanalisation betrug der entsprechende Wert 3781 KBE/m<sup>3</sup>, die übrigen Werte lagen zwischen 139 KBE/m<sup>3</sup> (Kanaldeckel) und 345 KBE/m<sup>3</sup> (Kanalisation). Tendenziell war die Belastung der Luft mit Hefen und Schimmelpilzen außerhalb der Kanalisation niedriger als innerhalb. Weiterhin ließen sich coliforme Bakterien bzw. *E. coli* an keinem Meßpunkt nachweisen. Endotoxine wurden in der Tiefe der Kanalisation, auf dem Kanaldeckel und im Verdrift in gleicher Konzentration (10,9 IU/m<sup>3</sup>) nachgewiesen. Der Endotoxingehalt der Luft in der Kanalisation betrug 6,2 IU/m<sup>3</sup>, der der Umgebungsluft 3,7 IU/m<sup>3</sup>. Entsprechend war die Endotoxinbelastung der Luft innerhalb und außerhalb der Kanalisation vergleichbar.

Am 08.11.2000 herrschte ein feuchtes und kühles Klima innerhalb einer Periode mit feuchtem und stürmischem Wetter; während der Beprobung des Einsteigschachtes trat gelegentlich leichter Nieselregen auf. Weiterhin ist als Besonderheit zu vermerken, dass das Abwasserabfluss innerhalb des Kanals nahezu stagnierte; weiterhin war bei geschlossener Schachtabdeckung ein für Abwasser typischer Geruch zu verzeichnen. Unter diesen Bedingungen lagen die für die Gesamtkeimzahl ermittelten Werte zwischen 22 KBE/m<sup>3</sup> (Kanaldeckel) und 145 KBE/m<sup>3</sup> (belastete Kanalisation), wobei die innerhalb der Kanalisation ermittelten Werte geringfügig höher waren als die außerhalb der Kanalisation ermittelten Werte. Die Konzentrationen der Schimmelpilze und Hefen betragen zwischen 78 KBE/m<sup>3</sup> (Kanaldeckel) und 534 KBE/m<sup>3</sup> (Kanalisation). Hierbei waren die Werte an den Messpunkten „Kontrolle“, „Verdrift“, „Kanaldeckel“ und „belastete Kanalisation“ vergleichbar; lediglich die Hefe- und Schimmelpilzkonzentration am Meßpunkt „Kanalisation“ war erhöht. Somit waren die innerhalb der Kanalisation ermittelten Konzentrationen erhöht im Vergleich zu den außerhalb der Kanalisation ermittelten Konzentrationen. Coliforme Keime und *E. coli* waren jedoch an keinem Messpunkt nachzuweisen. Endotoxine ließen sich lediglich in der Kanalisation sowie am

Kontrollmesspunkt detektieren; hierbei waren die ermittelten Konzentrationen mit 2,75 IU/m<sup>3</sup> (Kanalisation) und 3,85 IU/m<sup>3</sup> (Kontrolle) vergleichbar.

Ein Beispiel für eine Beprobung des Einsteigschachtes „Gelsenkirchen Buer“ ist in der Abbildung 2 dargestellt. Es handelt sich um die Messung vom 03.07.2000.

**Abbildung 2: Mikroorganismen- und Endotoxingehalt der Luft am Einsteigschacht „Gelsenkirchen Buer“, Probenahme: 03.07.2000**



## 5.2.2 Messpunkt Nr. 2: Lothringer Straße, Gelsenkirchen Rotthausen

Der Einsteigschacht, der die Bezeichnung „Gelsenkirchen Rotthausen, Lothringer Straße“ trägt, wurde am 05.07.2000, 09.08.2000 und 03.11.2000 beprobt. Die Ergebnisse der einzelnen Messungen sind im Anhang tabellarisch und graphisch zusammengestellt.

Am 05.07.2000 herrschte ein warm-feuchtes Klima mit gelegentlich auftretenden Windböen; generell handelte es sich um eine Periode sehr feuchten Wetters. Unter diesen Bedingungen lag die Gesamtkeimzahl zwischen 72 KBE/m<sup>3</sup> (belastete Kanalisation) und 200 KBE/m<sup>3</sup> (Verdrift), wobei die gemessenen Werte tendenziell von der belasteten Kanalisation zum Verdrift bzw. zur Kontrolle anstiegen. Die Schimmelpilzkonzentration war im Vergleich um ein Vielfaches erhöht und wies Werte zwischen 562 KBE/m<sup>3</sup> (belastete Kanalisation) und 1095 KBE/m<sup>3</sup> (Verdrift) auf. Hierbei waren die außerhalb der Kanalisation gemessenen Konzentrationen höher als die innerhalb der Kanalisation nachgewiesenen Konzentrationen. Weiterhin ließen sich coliforme Keime bzw. E. coli in der Kontrollprobe nachweisen. Die Endotoxinkonzentration der Luft lag in der Kanalisation sowie an den Meßpunkten „Verdrift“ und „Kontrolle“ nahe der Nachweisgrenze; lediglich auf dem Kanaldeckel war eine erhöhte Endotoxingehalt der Luft von 3,9 IU/m<sup>3</sup> zu verzeichnen.

Am 09.08.2000 herrschte ein feuchtes Klima mit gemäßigten Temperaturen mit gelegentlich auftretenden Windböen; tendenziell war die Witterung jedoch trockener als bei der Messung am 05.07.2000. Unter diesen Bedingungen war ein Anstieg der in der belasteten Kanalisation erfaßten Gesamtkeimzahl von 50 KBE/m<sup>3</sup> zur am Kontrollmesspunkt erfaßten Gesamtkeimzahl von 161 KBE/m<sup>3</sup> zu verzeichnen. Gegenüber diesen Werten war die Hefe- und Schimmelpilzkonzentration erhöht. Dabei traten an allen Messpunkten vergleichbare Werte auf. Tendenziell nahm jedoch die Konzentration von der belasteten Kanalisation (256 KBE/m<sup>3</sup>) zur Kanalisation in einer Tiefe von 1 m (167 KBE/m<sup>3</sup>) sowie von dem auf dem Kanaldeckel erfaßten Wert (311 KBE/m<sup>3</sup>) zu dem am Kontrollmesspunkt erfaßten Wert (217 KBE/m<sup>3</sup>) ab. Coliforme Keime bzw. E. coli ließen sich lediglich im Verdrift in geringer Konzentration nachweisen. Die Bestimmung der Endotoxinkonzentration konnte lediglich für die Meßpunkte „belastete Kanalisation“, „Verdrift“ und „Kontrolle“ durchgeführt werden, da die enzymatische Umsetzung des LAL-Tests bei den Proben der Messpunkte „Kanaldeckel“ und „Kanalisation“ gehemmt war. Möglicherweise sind bei der Probenahme Substanzen auf den Filter gelangt, die diese Hemmung verursachen. Die ermittelten Werte ergaben ähnliche Endotoxinkonzentrationen im Verdrift und in der Tiefe der Kanalisation (4,7 IU/m<sup>3</sup> bzw. 5,5 IU/m<sup>3</sup>); im Vergleich hierzu war der Endotoxingehalt der Kontrolle mit 10,1 IU/m<sup>3</sup> erhöht.

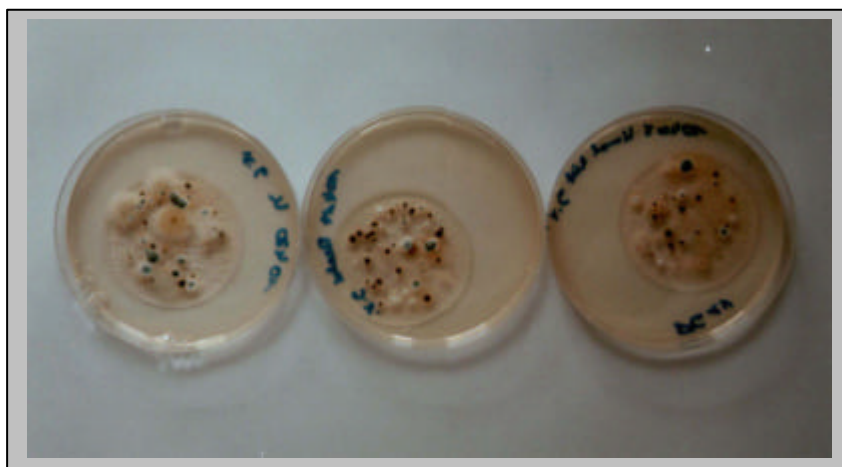


Bild 7: Proben Lothringer Straße, 09.08.2000



Bild 8: Probe Lothringer Straße, 09.08.2000

- Schimmel
- *Aspergillus niger*
- *Aspergillus ochraceus*
- *Penicillium*

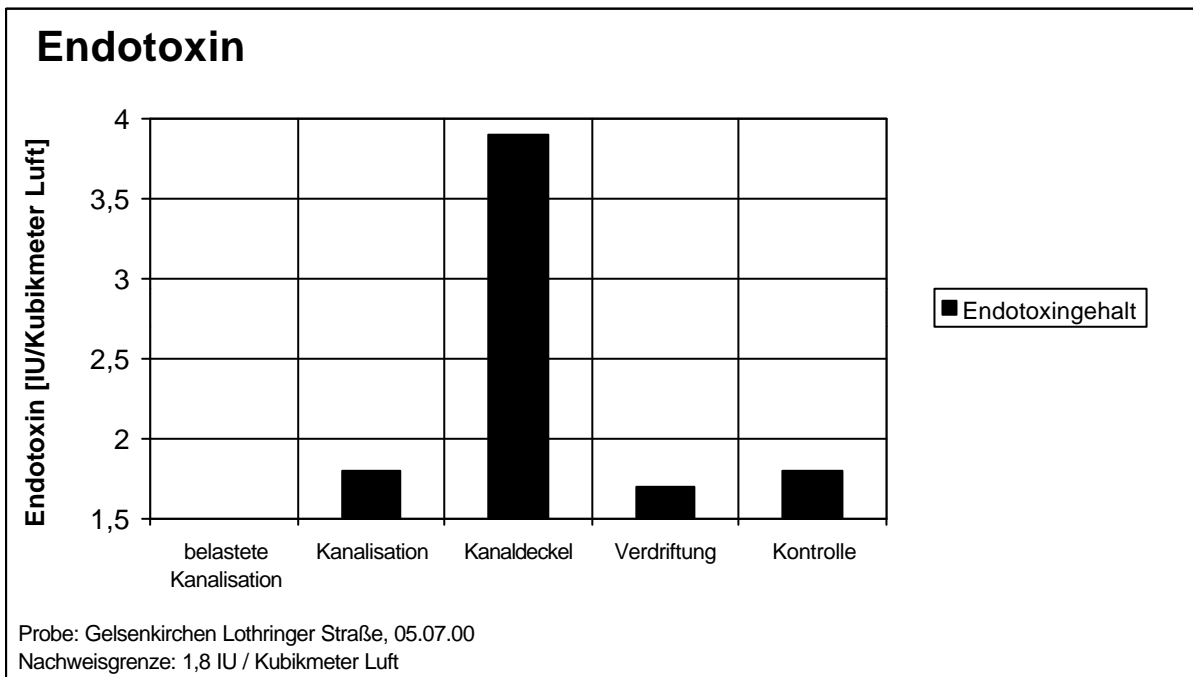
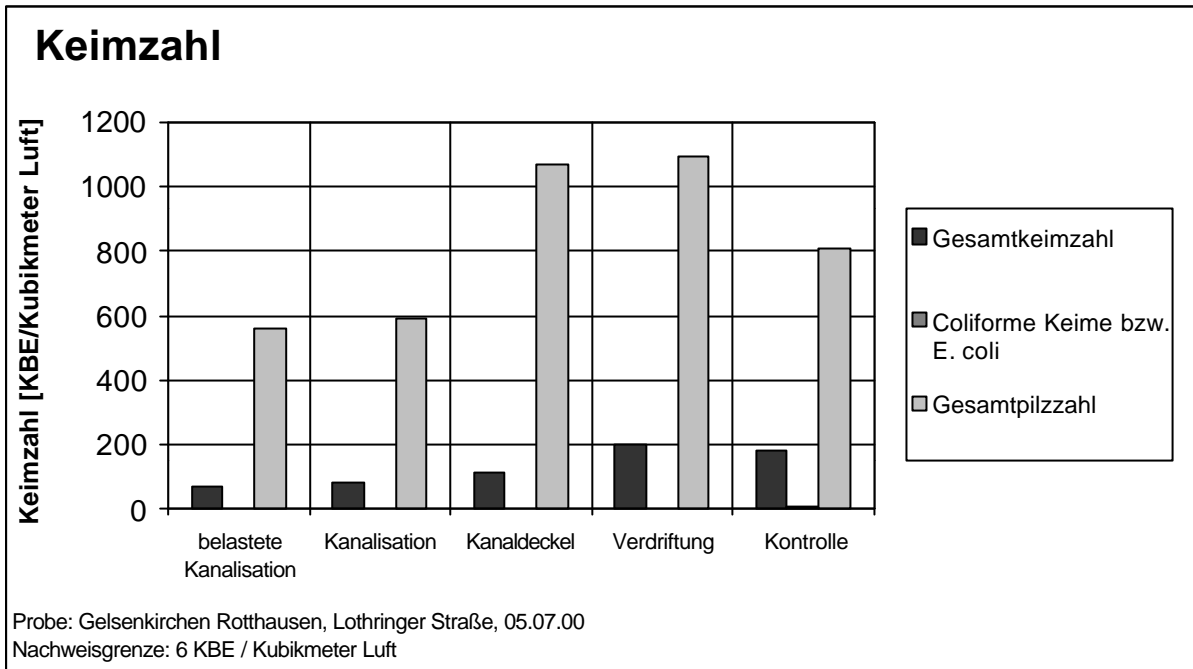
Aufgrund der fehlenden Endotoxinkonzentrationen an den Meßpunkten „Kanaldeckel“ und „Kanalisation“ ist diese Probenahme zur Bewertung des Austrags von Mikroorganismen und Toxinen aus der Kanalisation nur bedingt zu verwerten.

Am 03.11.2000 herrschte ein feuchtes Klima mit gemäßigten Temperaturen mit gelegentlichen Windböen; insgesamt handelte es sich um eine Periode feuchten Wetters. Unter diesen Bedingungen waren Gesamtkeimzahlen zwischen 33 KBE/m<sup>3</sup> (Kanalisation) und 133 KBE/m<sup>3</sup> (Kontrolle) zu verzeichnen, wobei es tendenziell zu einem Anstieg der Gesamtkeimzahl von den Meßpunkten innerhalb der Kanalisation zu der am Kontrollmesspunkt erfaßten Gesamtkeimzahl kam. Im Gegensatz hierzu zeigten die Konzentrationen der Schimmelpilze und Hefen einen entgegengesetzten Verlauf. In der Tiefe der Kanalisation lagen die Werte bei 445 KBE/m<sup>3</sup> (belastete Kan-

alisation) und 311 KBE/m<sup>3</sup> (Kanalisation) und nahmen zu den übrigen Messpunkten mit 183 KBE/m<sup>3</sup> (Kanaldeckel), 139 KBE/m<sup>3</sup> (Verdrift) und 178 KBE/m<sup>3</sup> (Kontrolle) ab. Coliforme Keime und *E. coli* ließen sich an keinem Messpunkt nachweisen. Die ermittelten Endotoxinkonzentrationen lagen zwischen 4,8 IU/m<sup>3</sup> (Kanaldeckel) und 30,8 IU/m<sup>3</sup> (belastete Kanalisation); tendenziell war die Luft innerhalb der Kanalisation stärker mit Endotoxinen belastet als die Luft außerhalb der Kanalisation.

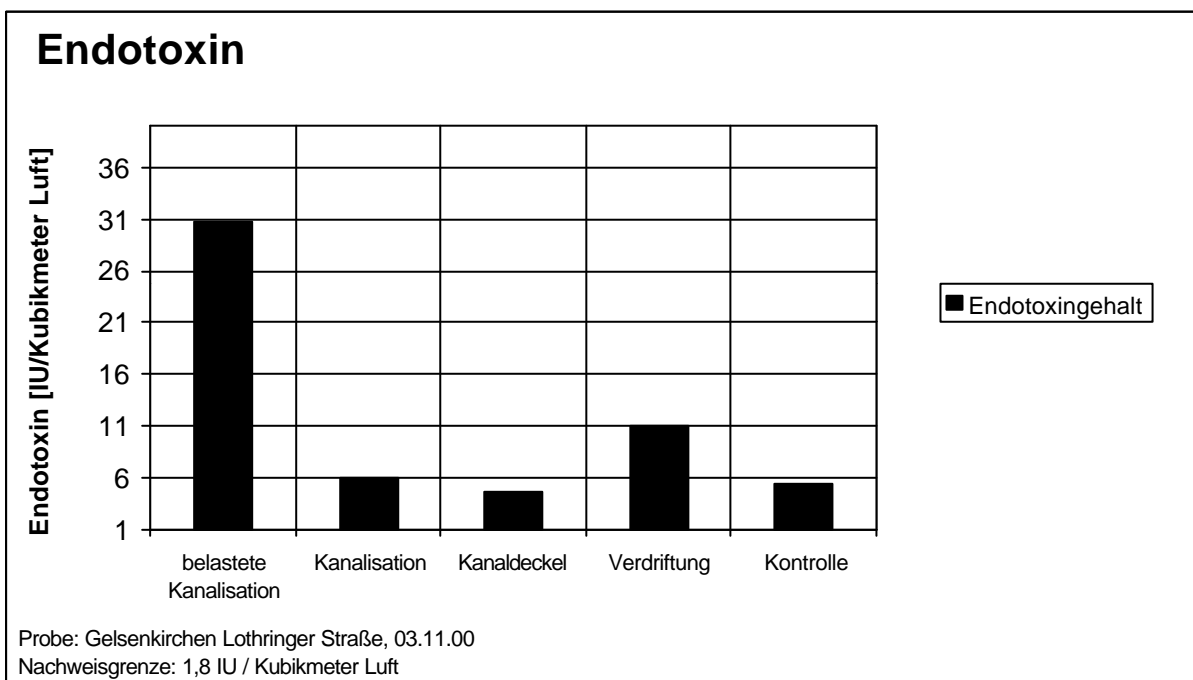
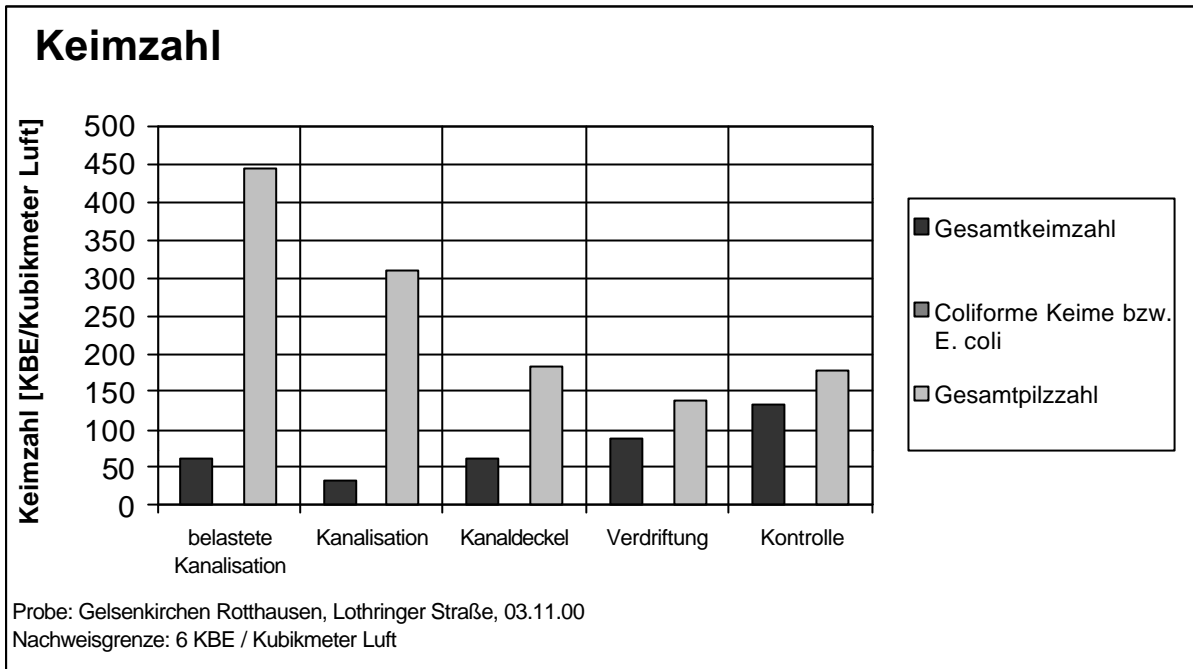
Beispiele für die Ergebnisse von Beprobung am Einsteigschacht „Gelsenkirchen Rotthausen, Lothringer Straße“ sind in den Abbildungen 3 und 4 dargestellt. Es handelt sich um die Messungen vom 05.07.2000 und 03.11.2000.

**Abbildung 3: Mikroorganismen- und Endotoxingehalt der Luft am Einsteigschacht „Gelsenkirchen Rotthausen, Lothringer Straße“, Probenahme: 05.07.2000**





**Abbildung 4: Mikroorganismen- und Endotoxingehalt der Luft am Einsteigschacht „Gelsenkirchen Rotthausen, Lothringer Straße“, Probenahme: 03.11.2000**



### 5.2.3 Messpunkt Nr. 3: Belforter Straße, Gelsenkirchen Rotthausen

Der Einsteigschacht, der die Bezeichnung „Gelsenkirchen Rotthausen, Belforter Straße“ trägt, wurde am 06.07.2000, 10.08.2000 und 02.11.2000 beprobt. Die Ergebnisse der einzelnen Meungen sind im Anhang tabellarisch und graphisch zusammengestellt.

Am 06.07.2000 herrschte ein feuchtes Klima mit gemäßigter Temperatur; generell handelte es sich um eine Periode sehr feuchten Wetters. Gelegentlich traten Windböen auf. Unter diesen Bedingungen lag die Gesamtkeimzahl zwischen 39 KBE/m<sup>3</sup> (Kontrolle) und 356 KBE/m<sup>3</sup> (belastete Kanalisation). Tendenziell stiegen die Werte von der Kontrolle zur belasteten Kanalisation an. Die Schimmelpilzkonzentration war im Vergleich erhöht und wies Werte zwischen 83 KBE/m<sup>3</sup> (Verdrift) und 1207 KBE/m<sup>3</sup> (belastete Kanalisation) auf. Hierbei waren die außerhalb der Kanalisation gemessenen Konzentrationen miteinander vergleichbar und wesentlich niedriger als die innerhalb der Kanalisation nachgewiesenen Konzentrationen. Weiterhin ließen sich coliforme Keime bzw. E. coli an keinem Messpunkt nachweisen. Die Endotoxinkonzentration lag in der Tiefe der Kanalisation bei 5 IU/m<sup>3</sup> Luft, an allen anderen Meßpunkten lag sie an der Nachweisgrenze des LAL-Tests.

Am 10.08.2000 war der Himmel bedeckt bei gemäßigten Temperaturen, zusätzlich traten Windböen auf; tendenziell war die Witterung jedoch trockener als bei der Messung am 06.07.2000. Unter diesen Bedingungen lag die Gesamtkeimzahl zwischen 89 KBE/m<sup>3</sup> (Kanaldeckel) und 350 KBE/m<sup>3</sup> (belastete Kanalisation), wobei tendenziell eine Abnahme der Gesamtkeimzahl von der Luft innerhalb der Kanalisation zur Luft außerhalb der Kanalisation zu verzeichnen war. Im Vergleich hierzu trat eine stärkere Belastung der Luft mit Schimmelpilzen und Hefen auf, die ermittelten Werte lagen zwischen 295 KBE/m<sup>3</sup> (Verdrift) und 862 KBE/m<sup>3</sup> (belastete Kanalisation). In Analogie zu den an den verschiedenen Messpunkten ermittelten Gesamtkeimzahlen war auch bei der Konzentration der Schimmelpilze und Hefen tendenziell eine Abnahme von der Luft innerhalb der Kanalisation zur Luft außerhalb der Kanalisation zu verzeichnen. Weiterhin ließen sich coliforme Keime bzw. E. coli lediglich in der Tiefe der Kanalisation in geringen Konzentrationen nachweisen. Die in der Tiefe der Kanalisation, auf dem Kanaldeckel sowie am Kontrollmesspunkt ermittelten Endotoxinkonzentrationen waren ähnlich (19,4 IU/m<sup>3</sup>, 27,2 IU/m<sup>3</sup> und 23,3 IU/m<sup>3</sup>), im Vergleich hierzu waren die Endotoxinkonzentrationen in der Kanalisation (50,5 IU/m<sup>3</sup>) und im Verdrift (38,3 IU/m<sup>3</sup>) erhöht. Somit ist generell von vergleichbaren Endotoxingehalten innerhalb und außerhalb der Kanalisation auszugehen.

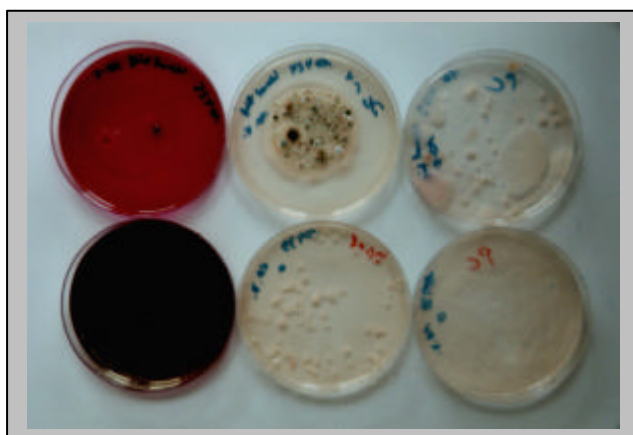


Bild 9: Proben Belforter Straße, 10.08.2000

- Beprobung der Luft (oben)
- Beprobung des Abwassers (unten)

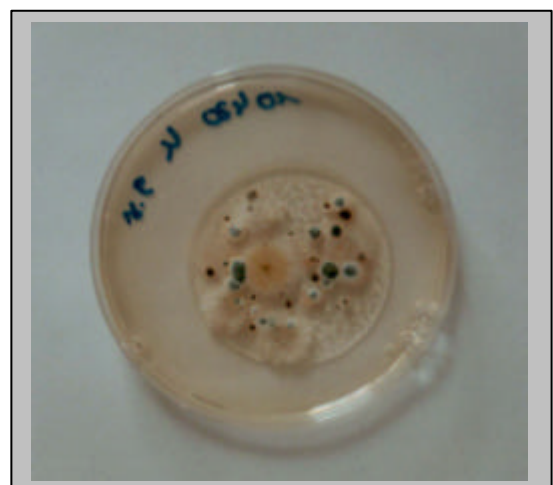


Bild 10: Probe Belforter Straße, 10.08.2000

- Schimmel
- *Aspergillus ochraceus*
- *Penicillium*

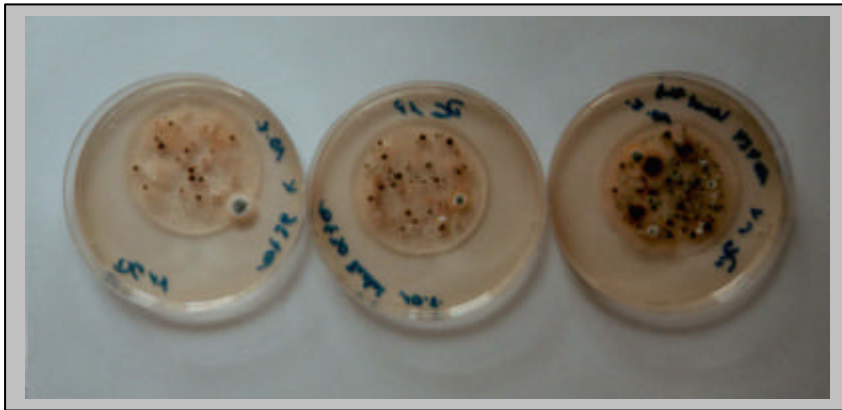


Bild 11: Proben Belforter Straße, 10.08.2000

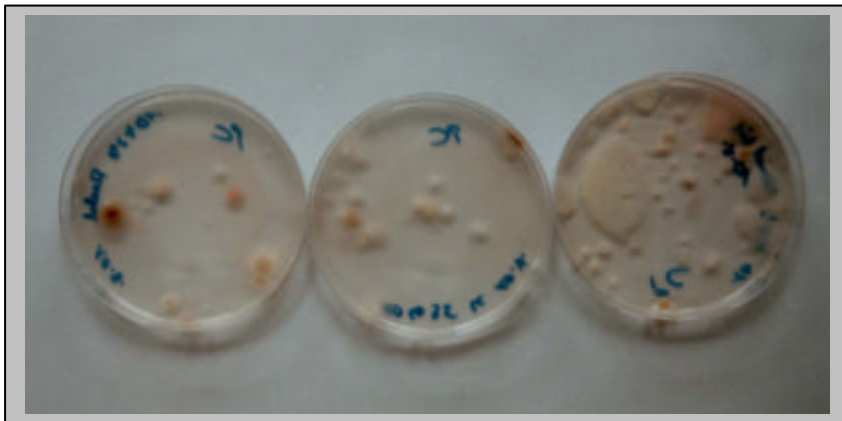
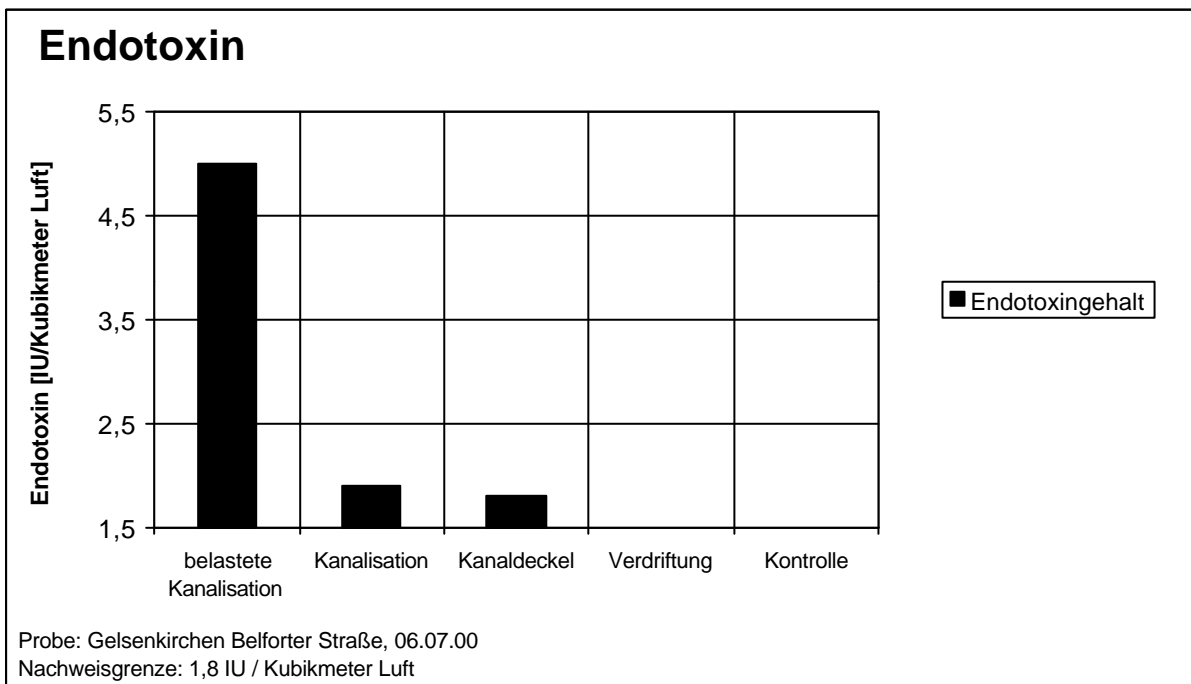
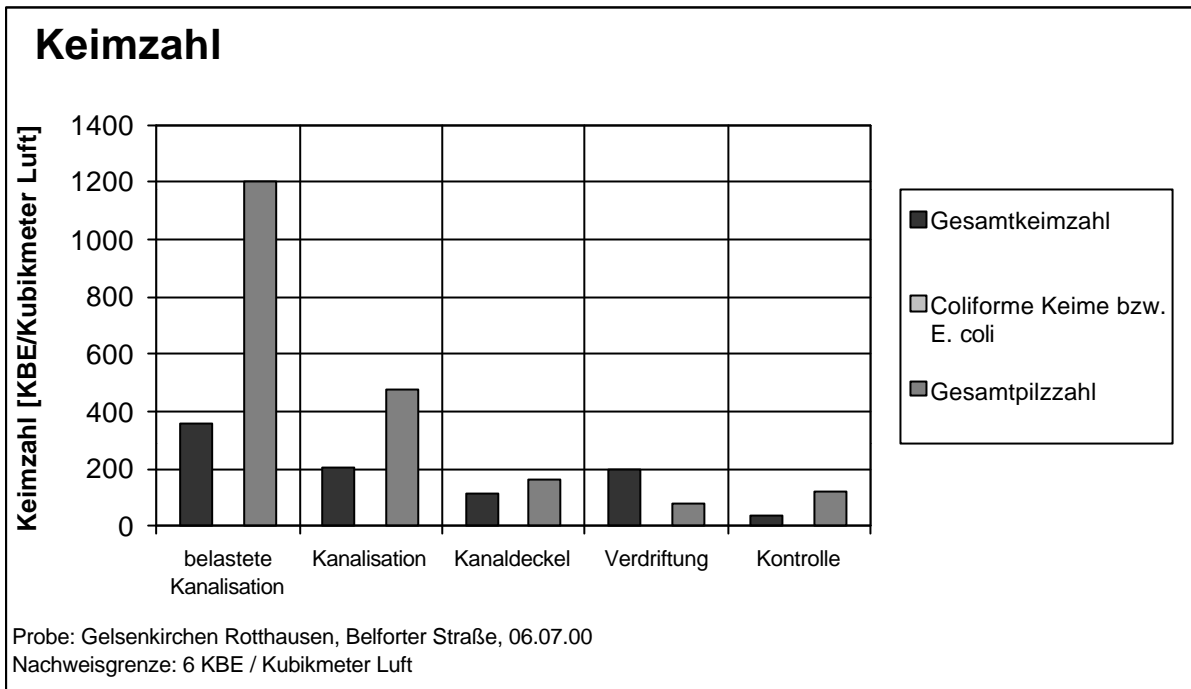


Bild 12: Proben Belforter Straße, 10.08.2000

Am 02.11.2000 herrschte sonniges und kühles Wetter; insgesamt jedoch handelte es sich um eine feuchte und stürmische Witterungsperiode. Unter diesen Bedingungen lagen die ermittelten Gesamtkeimzahlen zwischen 28 KBE/m<sup>3</sup> (Kanaldeckel) und 317 KBE/m<sup>3</sup> (belastete Kanalisation), wobei es tendenziell zu einer Abnahme der Gesamtkeimzahl mit abnehmender Tiefe des Einsteigschachtes kam. Weiterhin waren Schimmelpilze und Hefen in Konzentrationen zwischen 50 KBE/m<sup>3</sup> (Kontrolle) und 172 KBE/m<sup>3</sup> (Kanalisation) zu verzeichnen; hierbei war die Belastung der Luft mit Schimmelpilzen und Hefen innerhalb und außerhalb der Kanalisation generell vergleichbar. Im Gegensatz zu den früheren Messungen ließen sich in der Tiefe der Kanalisation erhöhte Konzentrationen von *E. coli* und coliformen Keimen mit einer Koloniezahl von 72 KBE/m<sup>3</sup> nachweisen, es kam jedoch zu einer Abnahme der mikrobiellen Belastung der Luft mit diesen Keimen mit abnehmender Tiefe des Einsteigschachtes, und auf dem Kanaldeckel waren diese Keime nicht nachweisbar. Die ermittelten Endotoxinkonzentrationen lagen zwischen 4,95 IU/m<sup>3</sup> (Kanaldeckel) und 38,5 IU/m<sup>3</sup> (Verdrift). Hierbei lagen die Werte innerhalb der Kanalisation bei ca. 20 IU/m<sup>3</sup>, außerhalb der Kanalisation bei ca. 5 IU/m<sup>3</sup> mit Ausnahme der Endotoxinkonzentration am Messpunkt „Verdrift“. An diesem Meßpunkt war die Endotoxinkonzentration mit ca. 38 IU/m<sup>3</sup> stark erhöht, eine Erklärung hierfür kann jedoch nicht gegeben werden.

Ein Beispiel für die Ergebnisse einer Beprobung am Einsteigschacht „Gelsenkirchen Rotthausen, Belforter Straße“ ist in Abbildung 5 dargestellt. Es handelt sich um die Messung vom 06.07.2000.

**Abbildung 5: Mikroorganismen- und Endotoxingehalt der Luft am Einsteigschacht „Gelsenkirchen Rotthausen, Belforter Straße“, Probenahme: 06.07.2000**



#### 5.2.4 Messpunkt Nr. 4: Am Achternberg, Gelsenkirchen Rotthausen

Der Einsteigschacht, der die Bezeichnung „Gelsenkirchen Rotthausen, Am Achternberg“ trägt, wurde am 04.07.2000, 08.08.2000 und 07.11.2000 beprobt. An allen Tagen war die Absonderung eines unangenehmen Geruchs nach Öffnung des Schachts zu verzeichnen. Die Ergebnisse der einzelnen Messungen sind im Anhang tabellarisch und graphisch zusammengestellt.

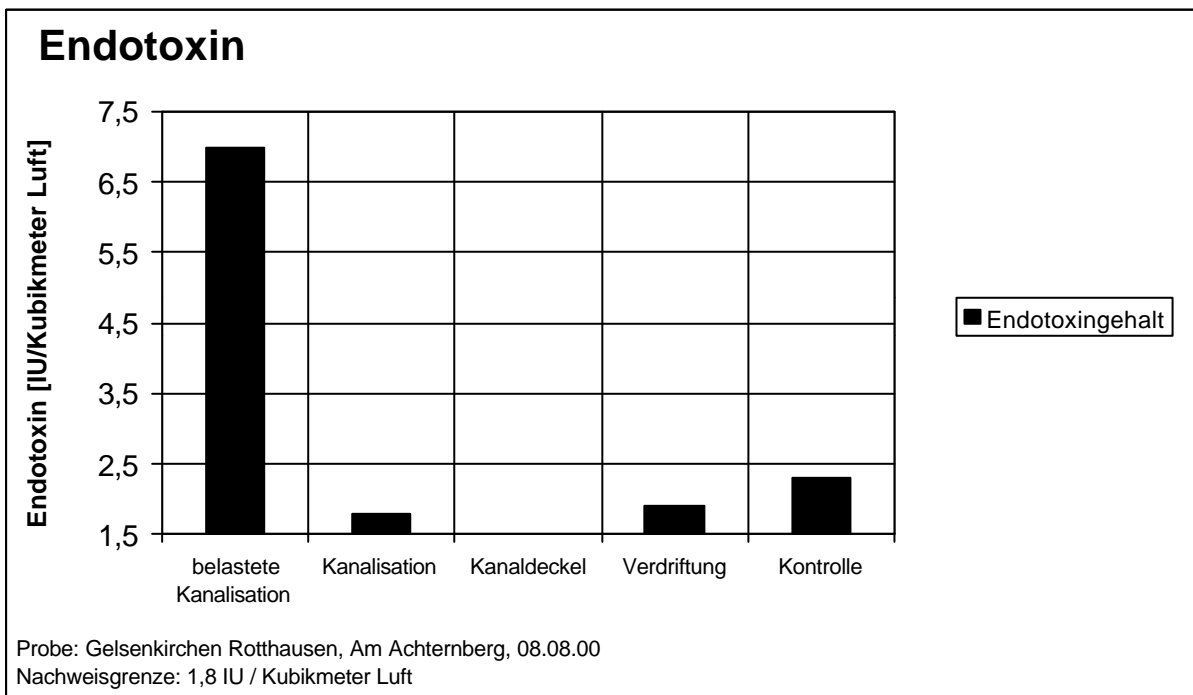
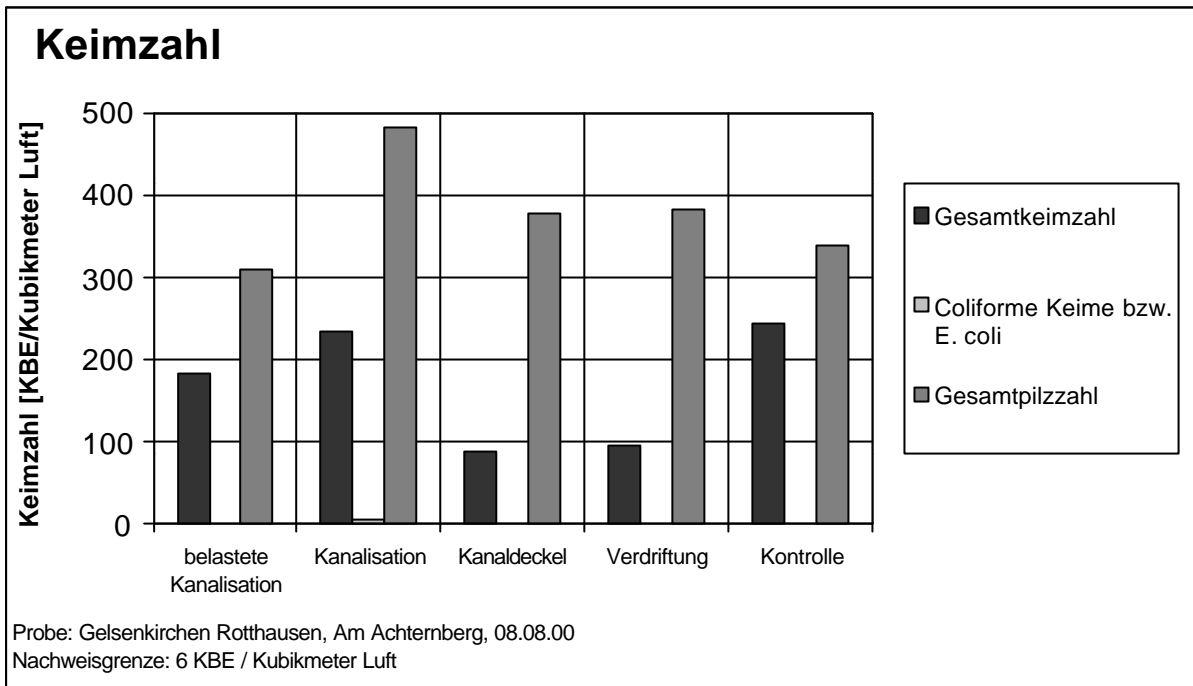
Am 04.07.2000 herrschte ein warm-feuchtes Klima mit sehr geringem Windaufkommen; generell handelte es sich um eine Periode sehr feuchten Wetters. Unter diesen Bedingungen lag die Gesamtkeimzahl zwischen 22 KBE/m<sup>3</sup> (belastete Kanalisation) und 172 KBE/m<sup>3</sup> (Kontrolle), wobei tendenziell ein Anstieg von der belasteten Kanalisation zur Kontrolle zu verzeichnen war. Die Schimmelpilzkonzentration war im Vergleich erhöht und wies Werte zwischen 284 KBE/m<sup>3</sup> (Kanalisation) und 567 KBE/m<sup>3</sup> (Kontrolle) auf. Hierbei war tendenziell ein Anstieg der Schimmelpilzkonzentration von der Kanalisation zur Kontrolle zu verzeichnen. Weiterhin ließen sich coliforme Keime bzw. E. coli an keinem Messpunkt nachweisen. Die ermittelten Endotoxinkonzentrationen lagen an allen Messpunkten an der Nachweisgrenze des LAL-Tests.

Am 08.08.2000 herrschte ein gemäßigtes jedoch feuchtes Klima mit geringem Windaufkommen; tendenziell war die Witterung trockener als bei der Messung am 04.07.2000. Unter diesen Bedingungen waren die ermittelten Gesamtkeimzahlen von 245 KBE/m<sup>3</sup> am Kontrollmesspunkt und von 234 KBE/m<sup>3</sup> in der Kanalisation vergleichbar, die übrigen Werte lagen zwischen 89 KBE/m<sup>3</sup> (Kanaldeckel) und 183 KBE/m<sup>3</sup> (belastete Kanalisation). Darüber hinaus war eine Zunahme der Gesamtkeimzahl von dem auf dem Kanaldeckel zu dem am Kontrollmesspunkt erfaßten Wert zu verzeichnen. Im Vergleich hierzu war der Gehalt an Schimmelpilzen und Hefen an allen Meßpunkten erhöht. Hierbei lag die höchste Konzentration mit 484 KBE/m<sup>3</sup> in der Kanalisation vor, die übrigen Konzentrationen wiesen Werte von ca. 350 KBE/m<sup>3</sup> auf. Coliforme Keime bzw. E. coli ließen sich in sehr geringer Konzentration in der Kanalisation nachweisen. Endotoxine waren in der Tiefe der Kanalisation in einer erhöhten Konzentration von 7,0 IU/m<sup>3</sup> nachzuweisen, die entsprechenden Werte an den übrigen Meßpunkten lagen zwischen < 1,8 IU/m<sup>3</sup> (Kanaldeckel) und 2,3 IU/m<sup>3</sup> (Kontrolle), so dass tendenziell eine Abnahme des Endotoxingehalts der Luft von der Kanalisation zur Umgebungsluft vorlag.

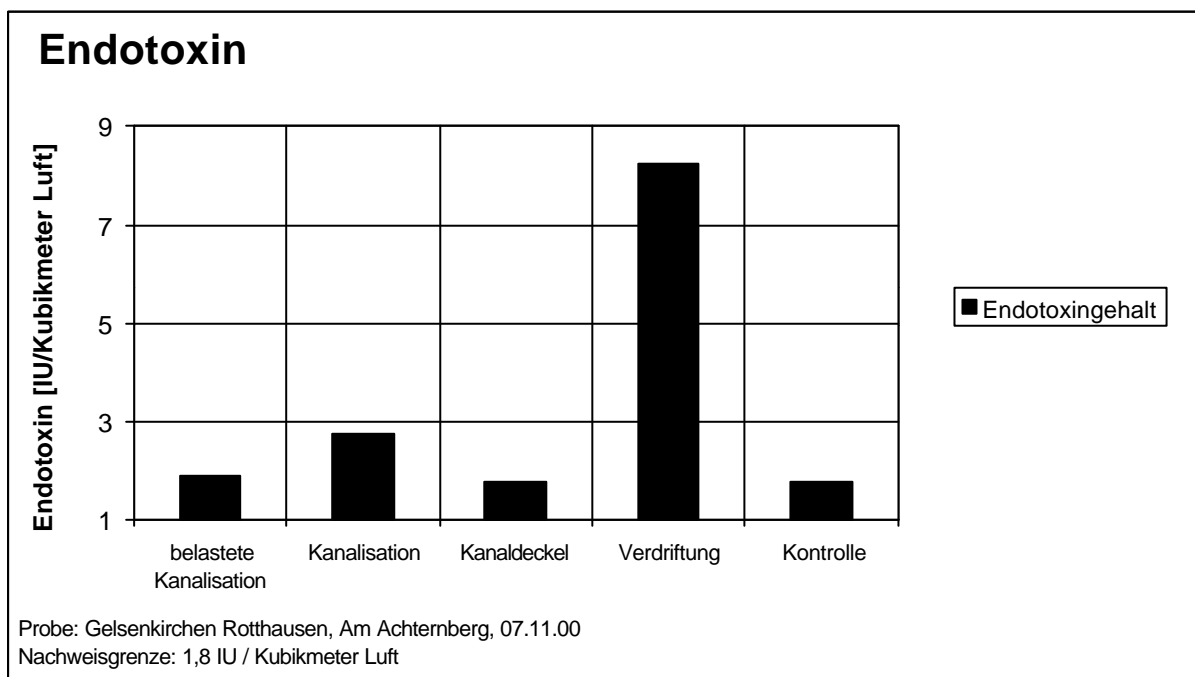
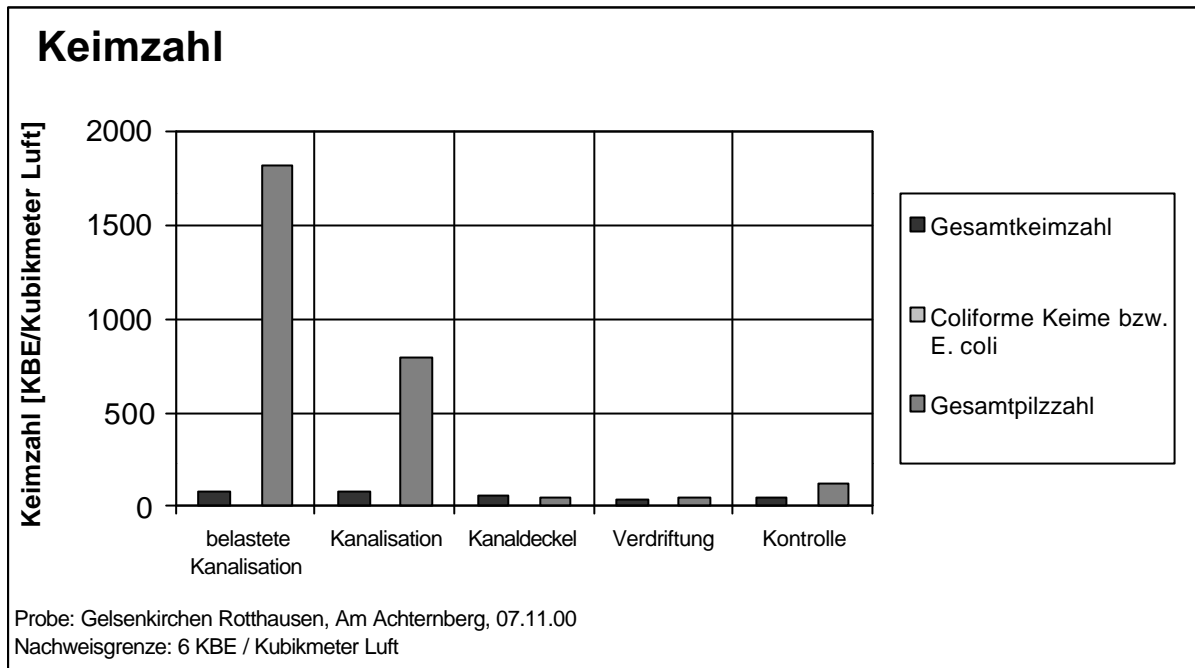
Am 07.11.2000 war es wolkig mit gelegentlichen Aufheiterungen und geringem Windaufkommen; generell jedoch handelte es sich um eine Periode sehr feuchten und stürmischen Wetters. Unter diesen Bedingungen lagen die ermittelten Gesamtkeimzahlen zwischen 33 KBE/m<sup>3</sup> (Verdrift) und 83 KBE/m<sup>3</sup> (belastete Kanalisation), wobei tendenziell eine Abnahme der Werte von dem in der Tiefe der Kanalisation erfaßten Wert zu dem am Kontrollmesspunkt ermittelten Wert auftrat. Bezüglich der Konzentration der Schimmelpilze und Hefen ist die gleiche Tendenz zu verzeichnen, die entsprechenden Keimzahlen liegen zwischen 1824 KBE/m<sup>3</sup> (belastete Kanalisation) und 50 KBE/m<sup>3</sup> (Verdrift und Kanaldeckel). Coliforme Keime und E. coli waren jedoch an keinem Messpunkt nachweisbar. Die ermittelten Endotoxinkonzentrationen lagen zwischen 1,8 IU/m<sup>3</sup> (Kanaldeckel und Kontrolle) und 8,25 IU/m<sup>3</sup> (Verdrift). Hierbei waren die Endotoxinkonzentrationen innerhalb und außerhalb der Kanalisation im wesentlichen vergleichbar. Lediglich am Messpunkt „Verdrift“ war der Endotoxingehalt der Luft mit einem Wert von ca. 8 IU/m<sup>3</sup> erhöht, eine Erklärung hierfür kann jedoch nicht gegeben werden.

Beispiele für die Ergebnisse von Beprobungen am Einsteigschacht „Gelsenkirchen Rotthausen, Am Achternberg“ sind in den Abbildung 6 und 7 dargestellt. Es handelt sich um die Messungen vom 08.08.2000 und 07.11.2000.

**Abbildung 6: Mikroorganismen- und Endotoxingehalt der Luft am Einsteigschacht „Gelsenkirchen Rotthausen, Am Achternberg“, Probenahme: 08.08.2000**



**Abbildung 7: Mikroorganismen- und Endotoxingehalt der Luft am Einsteigschacht „Gelsenkirchen Rotthausen, Am Achternberg“, Probenahme: 07.11.2000**



### 5.2.5 Messpunkt Nr. 5: Am Maibusch, Gelsenkirchen Schalke

Der Einsteigschacht, mit der Bezeichnung „Gelsenkirchen Schalke“, wurde am 07.07.2000, 11.08.2000 und 31.10.2000 beprobt. An allen Tagen war die Absonderung eines unangenehmen Geruchs nach Öffnung des Schachts zu verzeichnen. Weiterhin ist zu sagen, dass dem Einsteigschacht stoßweise oder ständig Wasserdampf aufgrund der Einleitung warmen Abwassers entwich. Dieser Wasserdampf bewirkte bei der Probenahme im Einsteigschacht ein Aufweichen der Filter, so dass diese möglicherweise verklebten und in Folge die gemessenen Mikroorganismen- und Toxinkonzentrationen als zu niedrig eingestuft wurden. Die Ergebnisse der einzelnen Messungen sind im Anhang tabellarisch und graphisch zusammengestellt.

Am 07.07.2000 herrschte ein feuchtes Klima mit gemäßigter Temperatur und geringem Wind; generell handelte es sich um eine Periode sehr feuchten Wetters. Unter diesen Bedingungen lag die Gesamtkeimzahl zwischen 128 KBE/m<sup>3</sup> (Kontrolle) und 272 KBE/m<sup>3</sup> (Kanalisation), wobei ein Anstieg der Konzentration von der Kontrolle zu den übrigen Messpunkten insgesamt zu verzeichnen war. Die Schimmelpilzkonzentration war im Vergleich wesentlich erhöht und wies Werte zwischen 1084 KBE/m<sup>3</sup> (belastete Kanalisation) und 1913 KBE/m<sup>3</sup> (Kontrolle) auf. Hierbei war tendenziell ein Anstieg der Konzentration von der belasteten Kanalisation zur Kontrolle zu verzeichnen. Weiterhin ließen sich coliforme Keime bzw. E. coli in der Kontrollprobe nachweisen. In der Kanalisation lagen die ermittelten Endotoxinkonzentrationen bei 5 IU/m<sup>3</sup> Luft (belastete Kanalisation) bzw. 3,3 IU/m<sup>3</sup> Luft (Kanalisation). An den übrigen Messpunkten waren Endotoxinkonzentrationen nahe der Nachweisgrenze des LAL-Tests zu verzeichnen.

Am 11.08.2000 herrschte ein feucht-warmes Klima ohne Windbewegung der Luft; tendenziell war die Witterung jedoch trockener als bei der Messung am 07.07.2000. Obwohl die klimatischen Bedingungen mit denen am 07.07.2000



*Bild 13: Dampfaustritt aus dem Einsteigschacht*

vergleichbar waren, entwich dem Einsteigschacht permanent Wasserdampf, der auf Straßenniveau eine Temperatur von ca. 30 °C aufwies. Unter diesen Bedingungen kam es zur Auflösung der Filter bei der Probenahme innerhalb der Kanalisation; entsprechend konnten die Messpunkte innerhalb der Kanalisation nicht beprobt werden. Außerhalb der Kanalisation lagen vergleichbare Gesamtkeimzahlen zwischen 183 KBE/m<sup>3</sup> (Kanaldeckel) und 345 KBE/m<sup>3</sup> (Verdrift) sowie vergleichbare Hefe- und Schimmelpilzkonzentrationen zwischen 211 KBE/m<sup>3</sup> (Kontrolle) und 289 KBE/m<sup>3</sup> (Kanaldeckel) vor. Coliforme Keime bzw. E. coli waren an keinem Messpunkt nachweisbar. Die Endotoxinkonzentrationen der beprobten Messpunkte schwankten erheblich und lagen zwischen 3,05 IU/m<sup>3</sup> (Kontrolle) und 110 IU/m<sup>3</sup> (Verdrift). Da die Endotoxinkonzentration auf dem Kanaldeckel jedoch nur bei 15,5 IU/m<sup>3</sup> lag, ist zu vermuten, dass der wesentlich erhöhte Endotoxingehalt im Verdrift auf nicht erkennbare Besonderheiten des Messpunktes zurückzuführen ist.

Aufgrund der fehlenden Keimzahlen und Endotoxinkonzentrationen der Luft innerhalb der Kanalisation ist diese Probenahme zur Bewertung des Austrags von Mikroorganismen und Toxinen aus der Kanalisation nicht zu nutzen.

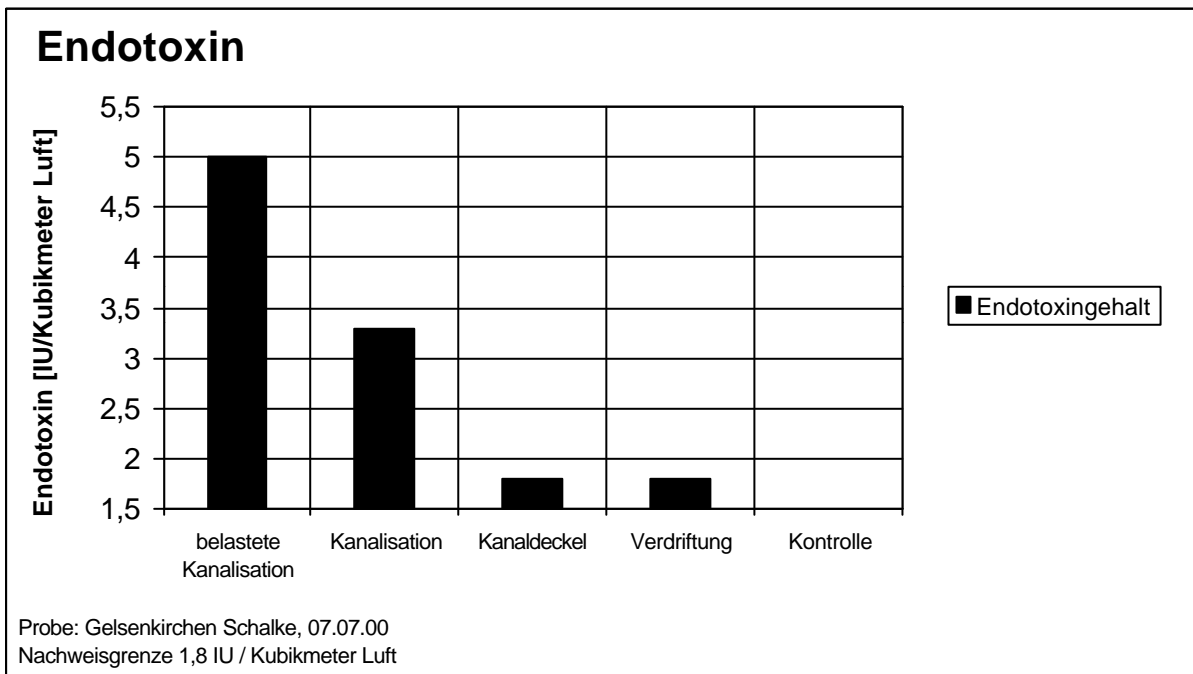
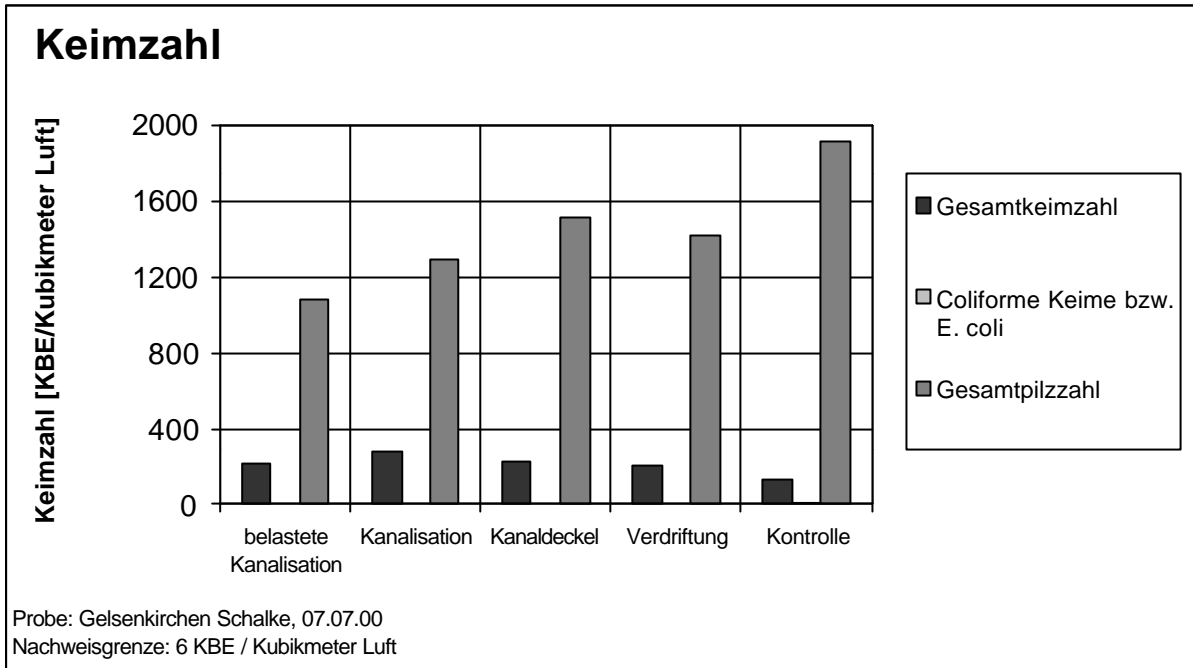


Am 31.10.2000 herrschte kühl-feuchtes Wetter; insgesamt zeichnete sich die vorherrschende Wetterlage durch Sturm, Regen und Kühle aus. Aufgrund der Wärme des Abwassers und der Kühle der Umgebungsluft entwich dem Einsteigschacht Wasserdampf. Weiterhin kondensierte dieser im Schlauch des Probenahmegeräts, so dass eine Beprobung der Messpunkte innerhalb der Kanalisation nicht möglich war. Unter diesen Bedingungen lag die Gesamtkeimzahl zwischen 50 KBE/m<sup>3</sup> (Kanaldeckel) und 267 KBE/m<sup>3</sup> (Verdrift), die Konzentration der Schimmelpilze und Hefen zwischen 72 KBE/m<sup>3</sup> (Verdrift) und 178 KBE/m<sup>3</sup> (Kontrolle), wohingegen coliforme Keime und E. coli nicht nachweisbar waren. Insgesamt war die mikrobielle Belastung an den Messpunkten „Kontrolle“ und „Kanaldeckel“ ähnlich, im Vergleich hierzu war sie am Meßpunkt „Verdrift“ leicht erhöht. Eine Ursache hierfür ist jedoch nicht auszumachen. Die ermittelten Endotoxinkonzentrationen lagen zwischen 4,95 IU/m<sup>3</sup> (Kanaldeckel) und 19,8 IU/m<sup>3</sup> (Kontrolle).

Aufgrund der fehlenden Keimzahlen und Endotoxinkonzentrationen der Luft innerhalb der Kanalisation ist diese Probenahme zur Bewertung des Austrags von Mikroorganismen und Toxinen aus der Kanalisation nicht zu nutzen.

Ein Beispiel für die Ergebnisse einer Beprobung am Einsteigschacht „Gelsenkirchen Schalke“ ist in Abbildung 8 dargestellt. Es handelt sich um die Messung vom 07.07.2000.

**Abbildung 8: Mikroorganismen- und Endotoxingehalt der Luft am Einsteigschacht „Gelsenkirchen Schalke“, Probenahme: 07.07.2000**



### 5.3 Bewertung der Meßergebnisse

Generell läßt sich sagen, dass sich das Spektrum der Mikroorganismen beim Übergang vom Abwasser in die Luft der Kanalisation verschob. Waren im Abwasser hauptsächlich Bakterien nachweisbar, so lag der Schwerpunkt der mikrobiellen Belastung der Luft in der Kanalisation bei den Schimmelpilzen. Auch waren an allen Einsteigschächten coliforme Keime bzw. E. coli im Abwasser zu finden, während diese Bakterien sich in der Luft nur selten nachweisen ließen. Lediglich bei einer Probenahme fanden sich in der Tiefe der Kanalisation erhöhte Konzentrationen von E. coli und coliformen Keimen. Für diese Verschiebung des Mikroorganismenspektrums gibt es verschiedene Gründe.

Zum einen ist für den Übergang der Mikroorganismen aus dem Abwasser in die Luft eine Aerosolbildung im Sinne einer Tröpfchenbildung notwendig. An den beprobten Einsteigschächten fehlen jedoch Einbauten, die die Entstehung eines solchen Aerosols fördern würden. Vielmehr fließt das Wasser mit relativ gleichmäßiger Strömung. Entsprechend liegt nur ein geringfügiger Übergang der Mikroorganismen in die Luft vor.

Weiterhin fallen die Wände der Einsteigschächte zeitweise trocken. Unter diesen Bedingungen vermehren sich bevorzugt Schimmelpilze an den Wänden der Kanalisation, da das Wachstum von Bakterien in der Regel an das Vorhandensein einer Wasserphase gebunden ist. Dies gilt insbesondere für gramnegative Bakterien, die sehr empfindlich gegen Austrocknung sind. Zu diesen Bakterien zählen auch viele Krankheitserreger wie Salmonellen (Krankheit: Salmonellose), Vibrionen (Krankheit: Cholera), Campylobacter (Krankheit: Durchfall), etc..

Weiterhin zeichnete sich die Messperiode durch eine relativ hohe Niederschlagsmenge aus, allgemein war der Sommer 2000 als feucht und relativ kühl zu bezeichnen. Unter diesen Bedingungen sowie bei zeitweiser Abtrocknung der Umgebung vermehren sich bevorzugt Schimmelpilze. So ließen sich in diesem Sommer generell bei allen Messungen zur mikrobiellen Belastung der Luft eine erhöhte Zahl von Schimmelpilzen nachweisen (persönliche Mitteilung der Abteilung „Lufthygiene“ des Instituts für Umwelthygiene des Hygiene-Instituts des Ruhrgebiets). Jedoch ist zu bemerken, dass einige Proben vom Oktober/November 2000 deutlich geringere Schimmelpilzkonzentrationen aufwiesen. Hierfür könnten die zu dieser Jahreszeit vorherrschenden niedrigen Temperaturen beitragen, die nur geringes Wachstum der Schimmelpilze erlaubt. Zu erwähnen ist, dass aufgrund des hohen Gehalts an Schimmelpilzsporen in der Luft die gemessene Gesamtkeimzahl zum großen Teil auf der Schimmelpilzkonzentration beruht.

Neben der Gesamtkeimzahl sowie dem Gehalt an Schimmelpilzen und Hefen sowie coliformen Keimen und E. coli wurde in der Studie die Endotoxinkonzentration erfaßt. Die im Verlauf der Untersuchung ermittelten Werte schwankten stark. Eine direkte Ursache hierfür läßt sich nicht feststellen, wahrscheinlich trägt die Kombination verschiedener Faktoren wie Feuchtigkeit, Temperatur, etc. zu den Schwankungen bei.

Neben diesen allgemeinen Gegebenheiten ist insbesondere die mikrobielle Belastung der Luft an den verschiedenen Messpunkten im Einzugsbereich der Einsteigschächte zur Kanalisation für die Bewertung eines eventuellen Gesundheitsrisikos durch Aerosole von Bedeutung. Daher folgt die Bewertung der ermittelten Ergebnisse geordnet nach den Einsteigschächten.

#### 5.3.1 Messpunkt Nr. 1: Am Stadtwald, Gelsenkirchen Buer

Insgesamt liegt innerhalb und außerhalb der Kanalisation eine vergleichbare mikrobielle Belastung der Luft vor; in einigen Fällen sind die entsprechenden Mikroorganismen- und En-

dotoxinkonzentrationen in der Kanalisation etwas erhöht. Dies trifft insbesondere auf die Schimmelpilzbelastung innerhalb der Kanalisation zu. Coliforme Keime bzw. E. coli als typische Vertreter der Fäkalkontaminanten, die in großem Umfang im Abwasser vorkommen, lassen sich jedoch an keinem Messpunkt nachweisen.

*Anhand der Versuchsergebnisse ist somit nicht von einem Austrag von Mikroorganismen und Endotoxinen aus der Kanalisation durch Aerosole auszugehen.*

### **5.3.2 Messpunkt Nr. 2: Lothringer Straße, Gelsenkirchen Rotthausen**

Anhand der Versuchsergebnisse sind zwei verschiedene Gegebenheiten bezüglich der mikrobiellen Belastung der Luft im Einzugsbereich des Einsteigschachtes zu erkennen.

Zum einen wird durch den starken Kraftfahrzeugverkehr Mikroorganismen- und Endotoxinhaltiger Staub in größerem Umfang aufgewirbelt, so dass die Luft außerhalb der Kanalisation stark mit Mikroorganismen und ihren Toxinen belastet ist. Entsprechend sind außerhalb der Kanalisation Mikroorganismen- und Endotoxinkonzentrationen zu finden, die wenigstens in der Größenordnung der Mikroorganismen- und Toxinkonzentrationen innerhalb der Kanalisation liegen, in der Regel jedoch darüber. Coliforme Keime und E. coli als Vertreter der Fäkalkontaminanten lassen sich jedoch nur selten nachweisen, wobei sie außerhalb der Kanalisation auftreten. Diese Gegebenheit findet sich bei den Messungen am 05.07.2000 und mit Einschränkung aufgrund der unvollständigen Messwerte bezüglich der Endotoxinkonzentration am 09.08.2000.

Weiterhin findet sich bei der Beprobung des Einsteigschachtes am 03.11.2000 eine Zunahme der Gesamtkeimzahl von den innerhalb der Kanalisation ermittelten Meßwerten zu dem am Kontrollmesspunkt erfaßten Wert, während die Konzentration der Schimmelpilze tendenziell in dieser Abfolge sinkt. Coliforme Keime und E. coli sind jedoch an keinem Messpunkt nachweisbar.

*Anhand der Versuchsergebnisse ist somit nicht von einem Austrag von Mikroorganismen und Endotoxinen aus der Kanalisation über Aerosole auszugehen.*

### **5.3.3 Messpunkt Nr. 3: Belforter Straße, Gelsenkirchen Rotthausen**

Insgesamt weist die Luft innerhalb der Kanalisation zumeist eine stärkere Belastung mit Mikroorganismen und Endotoxinen auf als die Luft im Einzugsbereich des Einsteigschachtes. Hierbei ist tendenziell eine Abnahme der Konzentrationen mit abnehmender Tiefe des Einsteigschachtes zu verzeichnen. Außerhalb der Kanalisation sind die ermittelten Mikroorganismen- und Endotoxinkonzentrationen generell vergleichbar. Coliforme Keime bzw. E. coli als typische Vertreter der Fäkalkontaminanten sind in der Tiefe der Kanalisation zumeist in geringen Konzentrationen nachweisbar. Lediglich bei der Probenahme im Herbst ließen sich diese Mikroorganismen in erhöhter Konzentration in der Tiefe der Kanalisation sowie in geringer Konzentration in der Kanalisation nachweisen, so dass es zu einer Abnahme der mikrobiellen Belastung der Luft mit diesen Mikroorganismen mit abnehmender Tiefe des Einsteigschachtes kam.

*Anhand der Versuchsergebnisse ist somit nicht von einem Austrag von Mikroorganismen und Endotoxinen aus der Kanalisation über Aerosole auszugehen.*

### 5.3.4 Messpunkt Nr. 4: Am Achternberg, Gelsenkirchen Rotthausen

Anhand der Versuchsergebnisse sind zwei verschiedene Gegebenheiten bezüglich der mikrobiellen Belastung der Luft im Einzugsbereich des Einsteigschachtes zu erkennen.

In der wärmeren Jahreszeit sind die Mikroorganismenkonzentrationen der Luft innerhalb und außerhalb der Kanalisation als vergleichbar einzustufen, wobei zu der starken mikrobiellen Hintergrundbelastung insbesondere die Schimmelpilze beitragen, die sich in der wärmeren Jahreszeit verstärkt auch in der Erde vermehren. Weiterhin lassen sich coliforme Keime bzw. *E. coli* als typische Indikatororganismen für Fäkalkontaminationen nur in sehr geringem Umfang innerhalb der Kanalisation nachweisen, und Endotoxine sind in relevanten Konzentrationen nur in der Tiefe der Kanalisation nachweisbar.

Hingegen ist in der kühleren Jahreszeit eine Abnahme der Belastung der Luft mit Mikroorganismen von der Tiefe der Kanalisation zur unbelasteten Luft zu verzeichnen, während die Belastung der Luft mit Endotoxinen außerhalb der Kanalisation im Vergleich stärker ist als innerhalb der Kanalisation.

***Anhand der Versuchsergebnisse ist somit nicht von einem Austrag von Mikroorganismen und Endotoxinen aus der Kanalisation über Aerosole auszugehen.***

In der Vergangenheit ist bereits häufig die Absonderung unangenehmer Gerüche aus diesem Einsteigschacht beobachtet worden. Auch an den Tagen, an denen die Beprobungen des Einsteigschachtes erfolgten, waren unangenehme Gerüche aus dem geöffneten Schacht zu verzeichnen. Jedoch kann anhand der Daten kein Zusammenhang zwischen der Freisetzung eines unangenehmen Geruchs und der verstärkten Freisetzung von Mikroorganismen und ihren Toxinen hergestellt werden.

### 5.3.5 Messpunkt Nr. 5: Am Maibusch, Gelsenkirchen Schalke

Die Straße „Am Maibusch“ dient als Zufahrt zum Gelsenkirchener Schlachthof. Die Viehtransporter, die die Straße passieren, sind in der Regel offen, so dass über die Haut der Tiere sowie insbesondere über deren Fäkalien Mikroorganismen in erheblichen Mengen in die Umgebung abgegeben werden. Diese Mikroorganismen werden über die Luftbewegung in der Umgebung verbreitet.

Anhand der Ergebnisse der auswertbaren Messung (07.07.2000) ist die mikrobielle Belastung der Luft im Einzugsbereich des Einsteigschachtes sowie in der Kanalisation als gleichwertig anzusehen, zumal die Mikroorganismenkonzentration der Luft in der Kanalisation aufgrund problematischer Probenahmebedingungen (starker Wasserdampfaustritt aus dem Einsteigschacht) wahrscheinlich als zu niedrig eingestuft wurde. Weiterhin lassen sich coliforme Keime bzw. *E. coli* als typischer Indikatororganismus für Fäkalkontaminationen nur in der Kontrollprobe nachweisen, eine Tatsache, die sich durch den Gehalt coliformer Keime der von den Schlachtieren abgegebenen Fäkalien erklären lässt. Im Gegensatz zu der hohen Belastung der Luft im Einzugsbereich des Einsteigschachtes mit Mikroorganismen ist die Luft im Einsteigschacht selbst mit Endotoxinen belastet, deren Konzentration mit abnehmender Tiefe abnimmt und außerhalb der Kanalisation als sehr gering einzustufen ist.

***Anhand der Versuchsergebnisse ist somit nicht von einem Austrag von Mikroorganismen und Endotoxinen aus der Kanalisation über Aerosole auszugehen.***

In der Vergangenheit ist bereits die Absonderung unangenehmer Gerüche aus dem vorliegenden Einsteigschacht beobachtet worden. Dies erklärt sich vermutlich in der starken Belastung des Kanals mit Abwässern aus dem Schlachthof. Jedoch kann anhand der Daten kein Zusammenhang zwischen der Freisetzung eines unangenehmen Geruchs und der verstärkten Freisetzung von Mikroorganismen und ihren Toxinen hergestellt werden.

© All rights reserved by GEK mbH

### 5.3.6 Vergleich mit bestehenden Grenzwertempfehlungen für die Höchstgrenzen mikrobieller Belastung am Arbeitsplatz

In dieser Studie wurde gezeigt, dass die Luft sowohl im Einzugsbereich von Einsteigschächten als auch innerhalb der Kanalisation mit Mikroorganismen und Endotoxinen belastet ist. Jedoch kann anhand der Untersuchungsergebnisse nicht davon ausgegangen werden, dass es zu einem Austrag von Mikroorganismen und Endotoxinen aus der Kanalisation kommt. Vielmehr ist häufig bereits die Umgebungsluft aufgrund antropogener Einflüsse belastet. Es erhebt sich nun die Frage, inwieweit die ermittelten Mikroorganismen- und Endotoxinkonzentrationen anhand von Richtwerten als gesundheitlich relevant einzustufen sind.

Da spezielle Richtwerte für die Belastung der Atemluft im allgemeinen fehlen, werden zum Vergleich die Grenzwertempfehlungen für die Höchstgrenzen mikrobieller Belastung der Atemluft am Arbeitsplatz (siehe Tabelle 2) herangezogen. Im Vergleich ergibt sich, dass die ermittelte Gesamtkeimzahl stets wesentlich niedriger als der empfohlene Mikroorganismengesamtgehalt in der Luft von Wertstoffsortieranlagen ist, ebenso liegen die nachgewiesenen Endotoxinkonzentrationen weit unterhalb des Endotoxingehalts, der als Grenzwert für die Luft in Wertstoffsortieranlagen empfohlen wird. Im Gegensatz hierzu überschreitet der Schimmelpilzgehalt der Luft teilweise die empfohlene Höchstgrenze für die Belastung der Luft bei der biologischen Abfallbehandlung. Dies trifft jedoch tendenziell häufiger für die Luft außerhalb der Kanalisation als für die Luft in der Kanalisation zu, so dass von einer höheren Belastung der theoretisch mikrobiell unbelasteten Umgebungsluft auszugehen ist. Diese Situation ist jedoch im Sommer 2000 häufig anzutreffen (persönliche Mitteilung der Abteilung „Lufthygiene“ des Instituts für Umwelthygiene des Hygiene-Instituts des Ruhrgebiets) und kann daher als unauffällig im Sinne einer potentiellen Belastung für die Gesundheit gelten.

Mikroorganismen	Keimgehalt
Mikroorganismengesamtgehalt	10 <sup>4</sup> KBE / m <sup>3</sup> (Wertstoffsortieranlage)
Gramnegative Bakterien	103 KBE / m <sup>3</sup>
Schimmelpilzgesamtgehalt	103 KBE / m <sup>3</sup> (biologische Abfallbehandlung) 104 KBE / m <sup>3</sup> (Wertstoffsortieranlage)
Endotoxingehalt	0,1 – 0,2 µg / m <sup>3</sup> bzw. 1000 – 2000 IU / m <sup>3</sup> (Wertstoffsortieranlage)

Tabelle 2: Grenzwertempfehlungen für die Festlegung von Höchstgrenzen mikrobieller Belastung der Atemluft am Arbeitsplatz [7]

## 6 Zusammenfassende Bewertung der mikrobiellen Belastung der Luft im Einzugsbereich von Einsteigschächten

Im Abwasser der Kanalisation finden sich Mikroorganismen, d.h. Bakterien, Schimmelpilze, Viren und Protozoen, sowie deren Stoffwechselprodukte und Toxine, die zum Teil humanpathogen sind. Da die Luft oberhalb des Abwassers über die Einsteigschächte im Gasaustausch mit der Luft in der Umgebung steht, besteht grundsätzlich die Möglichkeit, dass die Mikroorganismen und ihre Toxine über Aerosole in die Umgebungsluft im Einzugsbereich der Einsteigschächte ausgetragen werden und ein gesundheitliches Risiko für den Menschen darstellen. Zu speziell dieser Thematik liegen in der Literatur keine Daten vor, so dass das Ziel dieser Studie darin bestand, sich erstmalig mit dieser Fragestellung auseinanderzusetzen, d.h. die mikrobielle Belastung der Luft in der Kanalisation sowie im Einzugsbereich der Einsteigschächte zu erfassen und unter gesundheitlichem Aspekt zu bewerten. Dabei wurden als Untersuchungsparameter die Gesamtkeimzahl, die Konzentrationen an Schimmelpilzen und Hefen sowie coliformen Keimen und *E. coli* sowie der Endotoxingehalt herangezogen. Um ein möglichst umfassendes Bild über die mikrobielle Situation in den Einsteigschächten zu erhalten, wurden fünf Einsteigschächte mit unterschiedlichen Charakteristika in die Studie einbezogen.

Die Untersuchungen zeigten, dass das Abwasser der Kanalisation stark mit Bakterien und coliformen Keimen bzw. *E. coli* belastet ist. Im Vergleich hierzu spielten Schimmelpilze und Hefen eine untergeordnete Rolle, wobei in der Regel Hefen in größerer Zahl vertreten waren als Schimmelpilze. In der Luft der Kanalisation waren jedoch bevorzugt Schimmelpilze nachweisbar, so dass eine Verschiebung des Mikroorganismenspektrums beim Übergang vom Abwasser zum Gasraum der Kanalisation vorlag. Dies ist im wesentlichen mit der in den untersuchten Fällen relativ gleichmäßigen Strömung des Abwassers, die den Übergang von Abwassertröpfchen in den Gasraum nur in geringem Umfang ermöglicht, den wechselnden Feuchtigkeitsverhältnissen im Gasraum der Kanalisation sowie der bevorzugten Besiedlung der Kanalisationswände mit Schimmelpilzen zu erklären.

Weiterhin ließen sich stets Mikroorganismen in der Kanalisationsluft nachweisen. Insbesondere während der wärmeren Jahreszeit war häufig jedoch die mikrobielle Belastung der Luft außerhalb der Kanalisation stärker als oder vergleichbar mit der mikrobiellen Belastung der Luft innerhalb der Kanalisation, so dass ein Austrag von Mikroorganismen und Endotoxinen aus der Kanalisation nicht nachzuweisen war. Diese Hintergrundbelastung erklärt sich durch die Luftturbulenzen aufgrund des Kraftfahrzeugaufkommens, des baulichen Zustands der Straße sowie der Nähe zu Industriebetrieben, die eine erhöhte mikrobielle Belastung der Luft hervorrufen. Auch trägt das Laub, das in den Schmutzfängern unterhalb der Kanaldeckel vermodert, zur mikrobiellen Belastung der Luft bei. Bei entsprechenden Wetterbedingungen (z.B. bei Feuchtigkeit) können hieraus Mikroorganismen und Toxine ausgetragen werden.

Darüber hinaus verstärkte die relativ kühle und feuchte Witterung, die typisch für den Sommer 2000 ist, die Vermehrung der Schimmelpilze. Deren Wachstum verlangsamte sich teilweise erst bei den jahreszeittypischen niedrigen Temperaturen im Herbst 2000.

In den Fällen, in denen eine im Vergleich zur Umgebungsluft erhöhte mikrobielle Belastung der Luft innerhalb der Kanalisation vorlag, kam es tendenziell zu einer Abnahme der Mikroorganismenkonzentration mit abnehmender Meßtiefe in der Kanalisation. Somit ist ein Austrag von Mikroorganismen und Toxinen aus der Kanalisation über die Einsteigschächte in größerem Umfang nicht zu erwarten.

Auch ließen sich coliforme Keime bzw. *E. coli* als typische Vertreter der Fäkalkontaminanten nur in wenigen Fällen nachweisen. Diese lagen sowohl in der Kanalisation als auch außerhalb der Kanalisation vor. In dem Fall, in dem die Konzentration der coliformen Keime und *E.*

coli in der Tiefe der Kanalisation erhöht war, kam es zu einer Abnahme der Bakterienkonzentration mit abnehmender Schachttiefe.

Generell war der Endotoxingehalt der Luft starken Schwankungen unterworfen. Eine direkte Ursache hierfür lässt sich nicht feststellen, wahrscheinlich trägt die Kombination verschiedener Faktoren wie Feuchtigkeit, Temperatur, etc. zu den Schwankungen bei. Ein Vergleich der Werte ergab jedoch kein Hinweis auf einen Austrag von Endotoxinen aus der Kanalisation.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass aufgrund der genannten Tatsachen nicht von einer nennenswerten Verbreitung der im Abwasser der Kanalisation vorliegenden Mikroorganismen und Toxine über Aerosole in die Umgebungsluft im Einzugsbereich der Einsteigschächte auszugehen ist; entsprechend ist das Gesundheitsrisiko durch die Ausbreitung von Krankheitserregern aus dem Abwasser über die Einsteigschächte als gering einzustufen. Es besteht die Möglichkeit, dass Mikroorganismen, die die Wände der Kanalisation besiedeln (insbesondere Schimmelpilze), in erhöhten Konzentrationen in der Kanalisationsluft zu finden sind. Jedoch ist ebenfalls in der Umgebung der Einsteigschächte eine erhöhte Belastung der Luft mit Schimmelpilzen aufgrund von vermoderndem organischen Material, Staub, etc. zu finden, so dass auch im Fall der Mikroorganismen, die sich an den Wänden der Kanalisation vermehren, nicht von einer nennenswerten Verbreitung in die Umgebungsluft im Einzugsbereich der Einsteigschächte auszugehen ist; entsprechend ist das Gesundheitsrisiko durch diese Mikroorganismen ebenfalls als gering einzustufen [60].

Abschließend sei darauf hingewiesen, dass die Ergebnisse der im Rahmen dieses Forschungsvorhabens durchgeführten Untersuchungen nicht auf ungleichförmige, turbulente Abflussverhältnisse übertragen werden können, wie sie z.B. bei Absturzbauwerken auftreten können. In allen untersuchten Fällen wurde von gleichförmigen Abflussverhältnissverhältnissen im Bereich der Einsteigschächte ausgegangen.



## 7 Literatur

- [1] Stein, D. Instandhaltung von Kanalisationen, 3. Auflage Ernst & Sohn, Verlag für Architektur und technische Wissenschaft, Berlin 1998.
- [2] Arbeitsbericht der ATV-Arbeitsgruppe 1.7.3 „Regeln für den Kanalbetrieb“ (TC 165 / WG 22) im ATV-Fachausschuss 1.7 „Betrieb und Unterhaltung“: Kanalreinigung mit dem Hochdruckspülverfahren. Korrespondenz Abwasser (KA) 44 (1997), H. 4, S. 727-730.
- [3] Bundesarbeitsgemeinschaft der Unfallversicherungsträger der öffentlichen Hand (BAGUV): Sicherheitsregeln für Arbeiten in umschlossenen Räumen von abwassertechnischen Anlagen – Betrieb – (GUV 17.6), München 1989.
- [4] Krämer, J. (1997): „Lebensmittelmikrobiologie“, 3. Auflage, Ulmer-Verlag, Stuttgart.
- [5] Wiesmann, E., Kayser, F.H., Bienz, K.A., Eckert, J., Lindemann, J. (1986): „Medizinische Mikrobiologie“, 6. Auflage, Thieme-Verlag, Stuttgart, New York.
- [6] Steuer, W. (1986): „Aerogene Belastung in der Umgebung von Kläranlagen“. Zentralblatt für Bakteriologie und Hygiene Abteilung B 182, 202-214.
- [7] Herr C., Bittighofer, P.M., Bünger, J., Eikmann, T., Fischer, A.B., Grüner, C., Idel, H., zur Nieden, A., Palgrem, U., Seidel, H.-J., Velcovsky, H.-G. (1999): „Wirkung von mikrobiellen Aerosolen auf den Menschen“. in: Eikmann, T. und Hofmann, R. (Hrsg): „Stand der Wissenschaft, Forschung und Technik zu siedlungshygienischen Aspekten der Abfallentsorgung und –verwertung“. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 104, Band 30, der Kommission Reinhaltung der Luft (KRDL) im VDI und DIN, Tagung vom 30. August bis 1. September 1999 in Langen, 403-481.
- [8] Lundholm, M., Rylander, R. (1980): Occupational symptoms among compost workers. Journal of Occupational Medicine 22, 256-257.
- [9] Eikmann, T., Herr, C., Mach, J., Fischer, A.B., Tilkes, F., zur Nieden, A., Harpel, S., Kämpfer, P., Neef A., Albrecht, A., Bödeker, R.-H. (1999): „Mikrobiologische Emissionen aus Kompostierungsanlagen und ihre umweltmedizinische Relevanz für die Anwohner“. in: Eikmann, T. und Hofmann, R. (Hrsg): „Stand der Wissenschaft, Forschung und Technik zu siedlungshygienischen Aspekten der Abfallentsorgung und –verwertung“. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 104, Band 30, der Kommission Reinhaltung der Luft (KRDL) im VDI und DIN, Tagung vom 30. August bis 1. September 1999 in Langen, 195-209.
- [10] Bünger, J., Antlauf-Lammers, M., Westphal, G., Müller, M., Hallier, E. (1999): „Immunologische Reaktionen und Gesundheitsbeschwerden bei Biomüllentsorgern und

- Kompostierern durch Bioaerosolexpositionen“. in: Eikmann, T. und Hofmann, R. (Hrsg): „Stand der Wissenschaft, Forschung und Technik zu siedlungshygienischen Aspekten der Abfallentsorgung und –verwertung“. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 104, Band 30, der Kommission Reinhaltung der Luft (KRDL) im VDI und DIN, Tagung vom 30. August bis 1. September 1999 in Langen, 141-148.
- [11] Marth, E., Einthaler, F.F., Haas, D., Eibel, U., Feierl, G., Wendelin, I., Jelovcan, S., Barth, S. (1999): „Abfallwirtschaft – Gesundheit: Eine Longitudinalstudie“. in: Eikmann, T. und Hofmann, R. (Hrsg): „Stand der Wissenschaft, Forschung und Technik zu siedlungshygienischen Aspekten der Abfallentsorgung und –verwertung“. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 104, Band 30, der Kommission Reinhaltung der Luft (KRDL) im VDI und DIN, Tagung vom 30. August bis 1. September 1999 in Langen, 569-583.
- [12] Midtgard, U., Würtz, H., Breum, N.O., Ebbehoj, N., Poulsen, O.M. (1999): „Bioaerosol exposure and related health effects in waste collection“. in: Eikmann, T. und Hofmann, R. (Hrsg): „Stand der Wissenschaft, Forschung und Technik zu siedlungshygienischen Aspekten der Abfallentsorgung und –verwertung“. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 104, Band 30, der Kommission Reinhaltung der Luft (KRDL) im VDI und DIN, Tagung vom 30. August bis 1. September 1999 in Langen, 523- 532.
- [13] Sigsgaard, T. (1999): „Occupational health and safety in installations, Health hazards to waste management workers in Denmark“. in: Eikmann, T. und Hofmann, R. (Hrsg): „Stand der Wissenschaft, Forschung und Technik zu siedlungshygienischen Aspekten der Abfallentsorgung und –verwertung“. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 104, Band 30, der Kommission Reinhaltung der Luft (KRDL) im VDI und DIN, Tagung vom 30. August bis 1. September 1999 in Langen, 563-568.
- [14] Melbostad, E., Eduard, W., Skogstad, A., Sandven, P., Lassen, J., Sostrand, P., Heldal, K. (1994): „Exposure to bacterial aerosols and work-related symptoms in sewage workers“. American Journal of Industrial Medicine 25, 59-63.
- [15] Rylander, R. (1999): „Health effects among sewage workers in sewage treatment plants“. Occupational and Environmental Medicine 56, 354-357.
- [16] Schira, J.-C., Snella, M.-C., Chapon, J.-L. (1987): „Mise en évidence de bactéries gramnégatives et d'éndotoxins dans l'air ambiant d'une station d'épuration des eaux usées: influence des aérosols contaminés sur l'état de santé du personnel“. Schweizerische Medizinische Wochenschrift 117, 354-358.

- [17] Clark, C.S., Linnemann, C.C., Gartside, P.S., Phair, J.P., Blacklow, N., Zeiss, C.R. (1985): „Serological survey of rotavirus, norwalk agent and *Prototheca wickerhamii* in wastewater workers“. American Journal of Public Health 75, 83-85.
- [18] Schappler-Scheele, B. (1999): „Arbeitsschutz in biologischen Abfallbehandlungsanlagen aus arbeitsmedizinischer Sicht“. in: Eikmann, T. und Hofmann, R. (Hrsg): „Stand der Wissenschaft, Forschung und Technik zu siedlungshygienischen Aspekten der Abfallentsorgung und –verwertung“. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 104, Band 30, der Kommission Reinhaltung der Luft (KRDL) im VDI und DIN, Tagung vom 30. August bis 1. September 1999 in Langen, 585-596.
- [19] Wouters, I. (1999): „Endotoxin and  $\beta$ -(1->3)-glucan exposure in household waste workers: a relation with upper airway inflammation“. in: Eikmann, T. und Hofmann, R. (Hrsg): „Stand der Wissenschaft, Forschung und Technik zu siedlungshygienischen Aspekten der Abfallentsorgung und –verwertung“. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 104, Band 30, der Kommission Reinhaltung der Luft (KRDL) im VDI und DIN, Tagung vom 30. August bis 1. September 1999 in Langen, 545-550.
- [20] MacNeil, L., Kauri, T., Robertson, W. (1995): „Molecular techniques and their potential application in monitoring the microbiological quality of indoor air“. Canadian Journal of Microbiology 41, 657-665.
- [21] Metcalf, T.G., Melnick, J.L., Estes, M.K. (1995): „Environmental virology: from detection of virus in sewage and water by isolation to identification by molecular biology – a trip of over 50 years“. Annual Reviews in Microbiology 49, 461-487.
- [22] Eduard, W., Heedrik, D. (1998): „Methods for quantitative assessment of airborne levels of noninfectious microorganisms in highly contaminated work environments“. American Industrial Hygiene Association Journal 59, 113-127.
- [23] Jensen, P.A. (1995): „Evaluation of standard and modified sampling heads for the international PBI surface air system bioaerosol samplers“. American Industrial Hygiene Association Journal 56, 272-279.
- [24] Jensen, P.A., Todd, W.F., Davis, G.N., Scarpino, P.V. (1992): „Evaluation of eight bioaerosol samplers challenged with aerosols of free bacteria“. American Industrial Hygiene Association Journal 53, 660-667.
- [25] Kämpfer, P., Beyer, W., Danneberg, G., Grün, L., Martens, W., Neef, A., Palgrem, U., Szezyk, R. (1999): „Neuere Methoden zum Nachweis luftgetragener Mikroorganismen und zur Quellenidentifikation“. in: Eikmann, T. und Hofmann, R. (Hrsg): „Stand der Wissenschaft, Forschung und Technik zu siedlungshygienischen Aspekten der Ab-

- fallentsorgung und –verwertung“. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 104, Band 30, der Kommission Reinhaltung der Luft (KRDL) im VDI und DIN, Tagung vom 30. August bis 1. September 1999 in Langen, 321-402.
- [26] Vars McCoullough, N., Brosseau, L.M., Vesley, D., Vincent, J.H. (1998): „Improved methods for generation, sampling, and recovery of biological aerosols in filter challenge tests“. American Industrial Hygiene Association Journal (1998), 59, 234-241.
- [27] Adams, A.P., Spendlove, J.C. (1979): „Coliform aerosols emitted by sewage treatment plants“. Science 169, 1218-1220.
- [28] Ahmed, R.-E., Geuenich, H.-H., Müller, H.E. (1984): „Die Keimverteilung bei der Abwasserregnung“. Zentralblatt für Bakteriologie und Hygiene I. Abteilung Originale B 179, 151-161.
- [29] Bausum, H.T., Schaub, S.A., Kenyon, K.F., Small, M.J. (1982): „Comparison of coliphage and bacterial aerosols at a wastewater irrigation site“. Applied and Environmental Microbiology 43, 28-38.
- [30] Brenner, K.P., Scarpino, P.V., Clark, C.S. (1988): „Animal viruses, coliphages, and bacteria in aerosols and wastewater at a spray irrigation site“. Applied and Environmental Microbiology 54, 409-415.
- [31] Carducci, A., Gemelli, C., Cantiani, L., Casini, B., Rovini, E. (1999): „Assessment of microbial parameters as indicators of viral contamination of aerosol from urban sewage treatment plants“. Letters in Applied Microbiology 28, 207-210.
- [32] Dahling, D.R., Safferman, R.S. (1979): „Survival of enteric viruses under natural conditions in a subarctic river“. Applied and Environmental Microbiology 38, 1103-1110.
- [33] Edmonds, R.L., Littke, W. (1978): „Coliform aerosols generated from the surface of dewatered sewage applied to a forest clearcut“. Applied and Environmental Microbiology 36, 972-974.
- [34] Fannin, K.F., Vana, S.C., Jakubowski, W. (1985): „Effect of an activated sludge wastewater treatment plant on ambient air densities of aerosols containing bacteria and viruses“. Applied and Environmental Microbiology 49, 1191-1196.
- [35] Fischer, G., Müller, T., Ostrowski, R., Schwalbe, R., Dott, W. (1999): „Mycotoxine als Expositionsparameter in Bioaerosolen von Kompostierungsanlagen“. in: Eikmann, T. und Hofmann, R. (Hrsg): „Stand der Wissenschaft, Forschung und Technik zu siedlungshygienischen Aspekten der Abfallentsorgung und –verwertung“. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 104, Band 30, der Kommission Reinhaltung der Luft (KRDL) im VDI und DIN, Tagung vom 30. August bis 1. September 1999 in Langen, 149-162.

- [36] Sawyer, B., Elenbogen, G., Ro, K.C., O'Brien, P., Zenz, D.R., Lue-Hing, C. (1993): „Bacterial aerosol emission rates from municipal wastewater aeration tanks“. *Applied and Environmental Microbiology* 59, 3183-3186.
- [37] Senkpiel, K., Trepkau, H.-D., Ohgke, H. (1999): „Die Schimmelpilz-(Antigen)-Belastung für Müllwerker bei der Biomüll- und Hausmüllabfuhr im Rahmen einer Arbeitsplatzanalyse“. in: Eikmann, T. und Hofmann, R. (Hrsg): „Stand der Wissenschaft, Forschung und Technik zu siedlungshygienischen Aspekten der Abfallentsorgung und -verwertung“. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 104, Band 30, der Kommission Reinhaltung der Luft (KRDL) im VDI und DIN, Tagung vom 30. August bis 1. September 1999 in Langen, 163-182.
- [38] Sorber, C.A., Bausum, H.T., Schaub, S.A., Small, M.J. (1976): „A study of bacterial aerosols at a wastewater irrigation site“. *Journal of the Water Pollution Control Federation* 48, 2367-2379.
- [39] Teltsch, B., Kedmi, S., Bonnet, L., Borenzstajn-Rotem, Y., Katzelson, E. (1980a): „Isolation and identification of pathogenic microorganisms at wastewater-irrigated fields: ratios in air and wastewater“. *Applied and Environmental Microbiology* 39, 1183-1190.
- [40] Teltsch, B., Katzelson, E. (1978): „Airborne enteric bacteria and viruses from spray irrigation with wastewater“. *Applied and Environmental Microbiology* 35, 290-296.
- [41] Wanner, H.U. (1975): „Mikrobielle Verunreinigung der Luft durch Belebtschlamm“. *Zentralblatt für Bakteriologie und Hygiene I. Abteilung Originale B* 161, 46-53.
- [42] Alvarez, A.J., Buttner, M.P., Stetzenbach, L.D. (1995): „PCR for bioaerosol monitoring: sensitivity and environmental interference“. *Applied and Environmental Microbiology* 61, 3639-3644.
- [43] Pfirrmann, A., vanden Bossche, G. (1994): „Vorkommen und Isolierung von humanen Enteroviren aus der Luft von Abfallbeseitigungs- und -verwertungsanlagen“. *Zentralblatt für Hygiene* 196, 38-51.
- [44] Lodder, W.J., Vinje, J., van der Heide, R., de Roda Husman, M., Leenen, E.J.T.M., Koopmans, M.P.G. (1999): „Molecular detection of Norwalk-like caliciviruses in sewage“. *Applied and Environmental Microbiology* 65, 5624-5627.
- [45] Gajardo, R., Bouchriti, N., Pinto, R.M., Bosch, A. (1995): „Genotyping of rotaviruses isolated from sewage“. *Applied and Environmental Microbiology* 61, 3460-3462.
- [46] Bofill-Mas, S., Pina, S., Girones, R. (2000): „Documenting the epidemiologic patterns of polyomviruses in human populations by studying their presence in urban sewage“. *Applied and Environmental Microbiology* 66, 238-245.

- [47] Ansari, S.A., Farrah, S., Chaudhry, G.R. (1992): „Presence of human immunodeficiency virus nucleic acids in wastewater and their detection by polymerase chain reaction“. *Applied and Environmental Microbiology* 58, 3984-3990.
- [48] Jiang X., Estes, M.K., Metcalf, T.G., Melnick, J.L. (1986): „Detection of hepatitis A virus in seeded estuarine samples by hybridization with cDNA probes“. *Applied and Environmental Microbiology* 52, 711-717.
- [49] Palmer C.J, Moon, H.L., Bonilla, G.F., Javier, B.J., Siwak, E.B., Tsai, Y.-L. (1995): „Analysis of sewage effluent for human immunodeficiency virus (HIV) using infectivity assay and reverse transcriptase polymerase chain reaction“. *Canadian Journal of Microbiology* 41, 809-815.
- [50] Tilkes, F., Dott, W., Fischer, G., Grün, L., Harpel, S., Hartung, J., Keller, R., Koch, A., Linsel, G., Manns, A., Martens, W., Palgrem, U., Seidel, H.-J. (1999): „Mikrobielle Luftverunreinigungen – Verfahren zur Erfassung und Diagnose von Endotoxinen, Mycotoxinen und MVOC“. in: Eikmann, T. und Hofmann, R. (Hrsg): „Stand der Wissenschaft, Forschung und Technik zu siedlungshygienischen Aspekten der Abfallentsorgung und –verwertung“. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 104, Band 30, der Kommission Reinhaltung der Luft (KRDL) im VDI und DIN, Tagung vom 30. August bis 1. September 1999 in Langen, 211-243.
- [51] Sorber, C.A., Guter, K.J. (1975): „Health and hygiene aspects of spray irrigation“. *American Journal of Public Health* 65, 47-52.
- [52] Teltsch, B., Shuval, H.I., Tadmor, J. (1980b): „Die-away kinetics of aerosolized bacteria from sprinkler application of wastewater“. *Applied and Environmental Microbiology* 39, 1191-1197.
- [53] Becker, G., Mathys, W., Neumann, H.-D., Allmers, H., Balfanz, J. (1999): „Gefährdung von Beschäftigten bei der Abfallsammlung und –abfuhr durch Keimexposition“. in: Eikmann, T. und Hofmann, R. (Hrsg): „Stand der Wissenschaft, Forschung und Technik zu siedlungshygienischen Aspekten der Abfallentsorgung und –verwertung“. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 104, Band 30, der Kommission Reinhaltung der Luft (KRDL) im VDI und DIN, Tagung vom 30. August bis 1. September 1999 in Langen, 551-559.
- [54] Neumann, H.-D., Balfanz, J. (1999): „Mikrobielle Belastung bei der Einsammlung von Siedlungsabfällen – Ergebnisse aus Feldstudien“. in: Eikmann, T. und Hofmann, R. (Hrsg): „Stand der Wissenschaft, Forschung und Technik zu siedlungshygienischen Aspekten der Abfallentsorgung und –verwertung“. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 104, Band 30, der Kommission Reinhaltung der

- Luft (KRDL) im VDI und DIN, Tagung vom 30. August bis 1. September 1999 in Langen, 533-543.
- [55] Martens, W., Böhm, R., Fessel, A., Fricke, K., Haumacher, R., Kellner-Aschenbrenner, K., Köhler, K.K., Mayr, C., Philipp, W., Strauss, R., Witzigmann, R., Zapirain, R. (1999): „Mikrobielle Immissionen bei der Einsammlung von Siedlungsabfällen“. in: Eikmann, T. und Hofmann, R. (Hrsg): „Stand der Wissenschaft, Forschung und Technik zu siedlungshygienischen Aspekten der Abfallentsorgung und –verwertung“. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 104, Band 30, der Kommission Reinhaltung der Luft (KRDL) im VDI und DIN, Tagung vom 30. August bis 1. September 1999 in Langen, 503-521.
- [56] Neef, A., Albrecht, A., Tilkes, F., Harpel, S., Liebl, K., Eikmann, T., Kämpfer, P. (1999): „Messungen zur Ausbreitung von luftgetragenen Mikroorganismen im Umfeld von Kompostierungsanlagen“. in: Eikmann, T. und Hofmann, R. (Hrsg): „Stand der Wissenschaft, Forschung und Technik zu siedlungshygienischen Aspekten der Abfallentsorgung und –verwertung“. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 104, Band 30, der Kommission Reinhaltung der Luft (KRDL) im VDI und DIN, Tagung vom 30. August bis 1. September 1999 in Langen, 655-664.
- [57] Fanta, D., Danneberg, G., Gerbl-Rieger, S., Thelen, R., Simon, R. (1999): „Messungen zur Ausbreitung von luftgetragenen Mikroorganismen am Beispiel von fünf biologischen Abfallbehandlungsanlagen“. in: Eikmann, T. und Hofmann, R. (Hrsg): „Stand der Wissenschaft, Forschung und Technik zu siedlungshygienischen Aspekten der Abfallentsorgung und –verwertung“. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 104, Band 30, der Kommission Reinhaltung der Luft (KRDL) im VDI und DIN, Tagung vom 30. August bis 1. September 1999 in Langen, 627-653.
- [58] Schilling, B., Heller, D., Graulich, Y., Göttlich, E. (1999): „Bestimmung der Emissionen von Mikroorganismen aus Biofiltern und der Immissionskonzentrationen im Einwirkungsbereich von Kompostierungsanlagen“. in: Eikmann, T. und Hofmann, R. (Hrsg): „Stand der Wissenschaft, Forschung und Technik zu siedlungshygienischen Aspekten der Abfallentsorgung und –verwertung“. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 104, Band 30, der Kommission Reinhaltung der Luft (KRDL) im VDI und DIN, Tagung vom 30. August bis 1. September 1999 in Langen, 685-701.
- [59] Rabe, R., Mehring, M., Becker, M. (1999): „Mikrobielle Expositionsbelastung und Immissionsmessungen biologischer Aerosole auf Deponieflächen von Haus- und Gewerbemüll“. in: Eikmann, T. und Hofmann, R. (Hrsg): „Stand der Wissenschaft, For-

schung und Technik zu siedlungshygienischen Aspekten der Abfallentsorgung und –verwertung“. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 104, Band 30, der Kommission Reinhaltung der Luft (KRDL) im VDI und DIN, Tagung vom 30. August bis 1. September 1999 in Langen, 611-623.

- [60] Tuschewitzkai, G.-J., Grohs, B.-M. (2000): „Infektionsgefahr durch Austrag von Krankheitserregern aus Einstiegsschächten von Kanalisationen durch Aerosole“. Hygiene-Institut des Ruhrgebiets, Gelsenkirchen im Auftrag des IKT, Gelsenkirchen.



## **8 Anhang: Messergebnisse**

Im folgenden sind die Ergebnisse der Messungen sowie die entsprechenden graphischen Darstellungen zusammengestellt.