

Voordracht uit de 11de vakantiecursus in de behandeling van afvalwater 'Beluchting', die op 22 en 23 april 1976 werd gehouden aan de TH Delft.

1. Einleitung

Beim Bau und Betrieb von Abwasserreinigungsanlagen stellen sich bekanntlich eine Reihe hygienischer Probleme. Dazu gehören die Beseitigung und Verwertung des Schlammes, die Kontamination der Luft durch Mikroorganismen sowie Geruchsbildungen. Bei Anlagen, die in unmittelbarer Nähe besiedelter Gebiete liegen, können vor allem Geruchsbelästigungen zu Klagen Anlass geben. Ferner stellt sich die Frage einer allfälligen Gefährdung durch Luftkeime, sowohl für den Menschen, für Tiere



H. U. WANNER
Institut für Hygiene und
Arbeitsphysiologie
Eidgenössische Technische
Hochschule, Zürich

als auch für industrielle Prozesse — wie zum Beispiel Verarbeitung von Lebensmitteln oder pharmazeutischen Präparaten. Hauptquelle für mikrobielle Verunreinigungen der Luft in der Umgebung von Abwasserreinigungsanlagen sind die Belebtschlammbecken. Auf Grund der physikalischen Gegebenheiten ist es klar, dass bei der Belüftung Aerosole gebildet werden, und dass diese Aerosole Träger von Keimen sind.

Der folgende Bericht gibt in einem ersten Teil eine Uebersicht über Messungen des Keimausstosses bei verschiedenen Belüftungsverfahren sowie über Messungen der Keimausbreitung. Der zweite Teil befasst sich mit Problemen der Geruchs-beseitigung, die sich bei den verschiedenen Stufen der Abwasserreinigung und der Schlammaufbereitung ergeben.

2. Mikrobielle Verunreinigungen

2.1. Nachweismethoden

Für den Nachweis der Luftkeime wurden Greeburg-Smith Impinger, Slit-Sampler und Sedimentationsplatten verwendet. Das Vorgehen bei den Probenahmen sowie die zu diesem Zweck durchgeführten methodischen Untersuchungen sind an anderer Stelle beschrieben [14].

Als Nährboden wurde Plate-Count Agar (Difco) verwendet; ermittelt wurden die Gesamtkeimzahlen, bzw. die 'Kolonien bildenden Einheiten' (= KBE), (Bebrütung bei 22 °C während fünf Tagen). Bei einem Teil der Proben erfolgte der Nachweis von E.coli mit Endo Agar (Difco) und der Nachweis von Enterokokken mit Enterokokken Agar (Difco), (Bebrütung jeweils bei 37 °C während zwei Tagen).

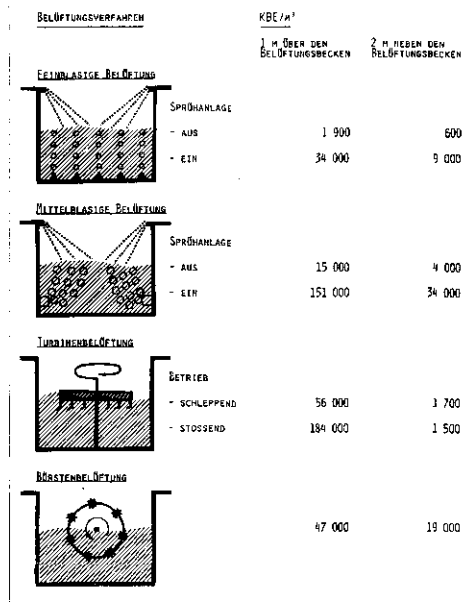


Abbildung 1 - Keimemissionen von Belebtschlammbecken offener Abwasserreinigungsanlagen. Durchschnittswerte von 2-20 Probenahmen mit Impingern.

2.2. Ergebnisse

2.2.1. Keimemissionen bei verschiedenen Belüftungsverfahren

Von den zahlreichen Messreihen, die bei 4 offenen Abwasserreinigungsanlagen durchgeführt wurden, sind im folgenden die wichtigsten Ergebnisse aufgeführt. Die Betriebsdaten der einzelnen Anlagen sowie die ausführlichen Messdaten sind an anderer Stelle ersichtlich [7].

Abbildung 1 zeigt eine Zusammenstellung der durchschnittlichen Keimzahlen, die unmittelbar über und neben den Becken gemessen wurden. Die Streuungen waren allerdings ziemlich gross; die Standardabweichungen lagen zwischen 50 und 80 % der jeweiligen Durchschnittswerte.

Die höchsten Konzentrationen wurden bei der Anlage mit mittelblasiger Belüftung festgestellt; bei Normalbetrieb mit Versprühung von Abwasser aus dem Nachklärbecken (gegen Schaumbildungen von Detergentien) wurden 1 m über dem Wasserniveau des Belüftungsbeckens im Durchschnitt 150.000 KBE/m³ gemessen und 2 m neben dem Becken 34.000 KBE/m³; bei ausgeschalteter Sprühanlage — wobei meistens sehr schnell starke Schaumbildungen auftraten — betrug die Konzentrationen noch ca. 10 % der Werte mit Sprühanlage.

Bei Oberflächenbelüftung mit Turbinen wurden bei Normalbetrieb mit schleppender Drehrichtung (75 Umdrehungen pro Minute) über den Becken im Durchschnitt 56.000 KBE/m³ gemessen; bei stossender Drehrichtung wurde dieser Wert verdreifacht. Neben dem Becken wurden bei beiden

Drehrichtungen der Turbinen lediglich 1.500 KBE/m³ gemessen, verglichen mit den gleichzeitig über den Becken gemessenen Konzentrationen sind dies sehr niedrige Werte. Da das Abwasser durch die Turbinen seitlich ausgeworfen wird, ist der Anteil der grossen, rasch sedimentierenden Tröpfchen besonders hoch und es bilden sich keine feinen Aerosoltröpfchen, wie dies bei einer mittelblasigen Belüftung der Fall ist. Eine Steigerung der Turbinendrehzahl auf 98 Umdrehungen pro Minute verursachte jedoch bei beiden Drehrichtungen sowohl über als auch neben dem Becken eine Erhöhung der Werte um das 5- bis 10-fache.

Bei Oberflächenbelüftung mit Bürsten wurde über dem Becken eine durchschnittliche Konzentration von 47.000 KBE/m³ gemessen und neben dem Becken eine solche von 19.000 KBE/m³; neben dem Becken sind also die Werte bedeutend höher als bei einer Turbinenbelüftung, was auf die unterschiedliche Grössenverteilung der Aerosolpartikel zurückzuführen ist.

Die weitaus geringsten Keimkonzentrationen wurden bei feinblasiger Belüftung gemessen; bei Normalbetrieb (ohne Sprühanlage) betragen die Durchschnittswerte über resp. neben dem Becken 2.000 KBE/m³ resp. 600 KBE/m³. Bei Versprühung von Abwasser aus dem Nachklärbecken — was beim bisherigen Betrieb der untersuchten Anlage jedoch nie notwendig war — wurden die Konzentrationen über und neben dem Becken um ca. das 15-fache erhöht. Bei allen Messungen betragen die Anteile der E.coli-Keime von den Gesamtkeimzahlen 0 - 0,7 %; die entsprechenden Anteile im Abwasser lagen zwischen 0,7 und 1 %.

2.2.2. Keimausbreitung in der Umgebung von Abwasserreinigungsanlagen

Die Messungen der Keimausbreitung erfolgten in der Umgebung des Belebtschlammbeckens mit mittelblasiger Belüftung. Die Anlage liegt in einer leichten Bodensenke in der Nähe eines Flusses und ist von einzelnen Bäumen und Büschen umgeben.

Die Messstellen lagen in verschiedenen Entfernungen vom Zentrum der Belüftungsbecken auf der Achse der während der Messungen vorherrschenden Windrichtung. Die Messungen erfolgten jedoch nur auf jenen Windachsen, auf welchen keine Geländehindernisse, Baumgruppen oder Gebäude lagen. Wegen diesen Einschränkungen lagen die Messstellen während den verschiedenen Messperioden immer in einem Sektor von ca. 30° an nahezu gleichen Orten. Die Probenahmen erfolgten 1 m über dem Boden.

Auf der Abbildung 2 sind der Ergebnisse

aller Ausbreitungsmessungen zusammengestellt; die Ergebnisse aller Ausbreitungsmessungen sind an anderer Stelle ausführlich beschrieben [13]. Auf Grund der Quellenmessungen über dem Belebtschlammbecken (mittelblasige Belüftung, Sprühanlage eingeschaltet) kann man annehmen, dass während allen Ausbreitungsmessungen die Keimkonzentration 1 m über dem Becken durchschnittlich 150.000 KBE/m betrug.

In 50 und 100 m Entfernung wurden bei Windstärken von mehr als 2 m/s die höchsten Werte gemessen, wobei während des Messperioden mit Temperaturen zwischen 1 und 9 °C, sowie bei Temperaturen zwischen 10 und 19 °C die Werte signifikant höher waren als alle übrigen Werte. Bei mittleren Windgeschwindigkeiten von weniger als 2 m/s waren lediglich in 50 m Entfernung bei Temperaturen zwischen 1 und 9 °C die Werte signifikant höher als die übrigen Werte, welche alle zwischen 200 und 400 KBE/m³ lagen.

Die Lufttemperaturen und die Windgeschwindigkeiten hatten somit einen sichtbaren Einfluss auf die Keimausbreitung bis in Entfernungen von 100 m, denn während der Messperioden mit gleichen mittleren Windgeschwindigkeiten wurden bei tiefen Temperaturen immer höhere Keimkonzentrationen gemessen als bei hohen Temperaturen, und bei gleichen Temperaturen wurden bei den hohen Windstärken (bis 3 m/s) immer höhere Werte gemessen als bei geringeren Windstärken. Die relative Luftfeuchtigkeit, welche bei den tiefen Temperaturen zwischen 60 und 90 % und bei den hohen Temperaturen zwischen 40 und 80 % lag, hatte während keiner der Messperioden einen sichtbaren Einfluss auf die Keimkonzentrationen. Dies entspricht den Erwartungen, da im allgemeinen höhere Absterberaten nur bei relativen Luftfeuchtigkeiten von weniger als 20 % resp. 100 % festgestellt werden. Die zu Vergleichszwecken auf freien Feldern und in einem Wald durchgeführten Messungen ergaben im Durchschnitt Gesamtkeimzahlen zwischen 100 und 500/m³; bei einer Strassenkreuzung in einem Dorf waren es bis zu 1000 Keime/m³. Von besonderem Interesse im Zusammenhang mit Kontaminationen durch keimhaltige Aerosole sind die in der nähere Umgebung des Rheinfallles bei Schaffhausen gemessenen Luftkeimzahlen: oberhalb des Wasserfallles lagen die Werte zwischen 100 und 700 Keimen/m³, also im Bereich der üblichen Aussenluftwerte. Unterhalb des Falles in ca. 200 m Entfernung wurden Keimzahlen bis zu 4.500/m³ gemessen, im Durchschnitt 1.700 KBE/m³; in den meisten Proben waren E.coli-Keime nachweisbar. Die Keimzahlen im Flusswasser lagen zwischen

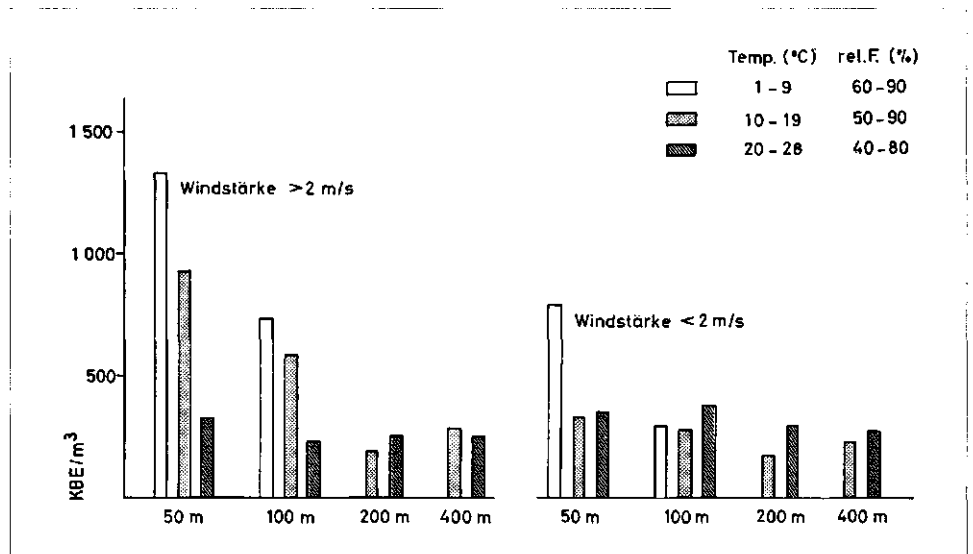


Abbildung 2 - Keimausbreitung von einem Belebtschlammbecken mit mittelblasiger Belüftung bei verschiedenen meteorologischen Bedingungen. Durchschnittswerte von insgesamt 13 2-stündigen Messperioden mit je 6-8 Probenahmen mit Slit-Samplern in 50, 100, 200 und 400 m Entfernung vom Becken.

10.000 und 40.000 KBE/ml. Der Rheinfall als 'natürliche Streuquelle' führte somit bezüglich der Gesamtkeimzahlen in vergleichbaren Entfernungen zu bedeutend höheren Immissionen als die Belebtschlammbecken mit den höchsten Quellenkonzentrationen.

Die Ergebnisse von Untersuchungen über die Keimausbreitung, die mit unseren Messungen vergleichbar sind, zeigen gesamthaft ein ähnliches Bild: Bočko und Meks-Bermecha [3] haben bei Windgeschwindigkeiten von 0,5 m/s bis in eine Entfernung von 70 m Streubereich eines Abwassererregers auf Sedimentationsplatten keine erhöhten Keimzahlen gegenüber den normalerweise in der Luft sedimentierenden Mengen festgestellt; bei Windgeschwindigkeiten von 1 m/s war dies bis in Entfernungen von 120 m der Fall und bei Windgeschwindigkeiten von ca. 5 m/s bis in Entfernungen von 160 m. Ledbetter und Randall [10] haben bis in Entfernungen von 30 m von einem Belüftungsbecken auf Sedimentationsplatten in Windrichtung signifikant höhere Werte gemessen als in Gegenwindrichtung. Dabei nehmen die Werte mit steigender Windgeschwindigkeit zu, während die Temperatur und die relative Luftfeuchtigkeit keinen Einfluss hatten.

Adams und Splendlove [1] konnten bei zwei Anlagen mit Tropf-Filtern in der jeweiligen Windrichtung (2 - 6 m/s) mit dem Andersen-Sampler coliforme Keime bis in Entfernungen von 1,2 km nachweisen; in 50 m Entfernung vom Belüftungsbecken wurden bis zu 500 coliforme Keime pro m³ festgestellt, in 300 m Entfernung zwischen 70 und 200/m³. Dabei zeigten sich gewisse Einflüsse der Sonnenstrahlung und der

relativen Luftfeuchtigkeit; die Anzahl der durchgeführten Messungen war jedoch zu klein, um darüber statistisch gesicherte Aussagen machen zu können. In einer daran anschließenden Untersuchung kamen Goff, Spindlove, Adams und Nicholes [5] zu ähnlichen Ergebnissen: Gesamtkeimzahlen und coliforme Keime waren in Windrichtung bis in Entfernungen von 100 m durchwegs höher als in Gegenwindrichtung; bei Sonnenstrahlung, niedriger Luftgeschwindigkeit und niedriger Luftfeuchtigkeit wurden geringere Konzentrationen gemessen. Windgeschwindigkeiten zwischen 10 und 15 km pro Stunde begünstigten die Ausbreitung. Ferner konnte gezeigt werden, dass die meisten Keimträger < 5 µm waren also im atembaren Bereich.

Kenline und Scarpino [9] ermittelten auf Grund von Messungen bei drei Anlagen Absterberaten und Verdünnungseffekte: Im Durchschnitt ergaben sich in 5 m Entfernung ca. 50 % der Quellenkonzentrationen, im 30 m ca. 10 % und in 50 m ca. 5 % Enterobakterien! Alle bisher durchgeführten Felduntersuchungen zeigen, dass die zahlreichen physikalischen Faktoren, welche die Keimausbreitung und das Ueberleben der Keime beeinflussen, sehr komplex sind und, dass es deshalb äusserst schwierig ist, den Einfluss einzelner Faktoren zuverlässig zu erfassen und vorauszuberechnen. Immerhin kann man festhalten, dass ein Belüftungsbecken mit einem sehr hohen Keimausstoss, wie zum Beispiel die untersuchte Anlage mit mittelblasiger Belüftung bei eingeschalteter Sprüheinrichtung, bei bestimmten meteorologischen Verhältnissen die Keimzahlen in der Luft bis in Entfernungen von 100 m

signifikant erhöht. In 200 m Entfernung treten keine Erhöhungen der normalerweise in der Luft auftretenden Keimkonzentrationen auf.

Bei einer Uebertragung der ermittelten Werte auf andere Anlagen ist zu beachten, dass das Ausmass der Keimausbreitung nicht nur durch die Quellenkonzentration bestimmt wird, sondern auch durch die Grösse der über den Belüftungsbecken gebildeten Aerosolteilchen. So sind zum Beispiel bei den Oberflächenbelüftungen, bei welchen hauptsächlich grosse, rasch sedimentierende Tröpfchen gebildet werden, trotz grossen Quellenkonzentrationen geringere Keimausbreitungen zu erwarten als bei mittelblasigen Belüftungen mit Versprühung von Abwasser, bei welchen die Anteile an feinen Tröpfchen mit langen Schwebezeiten besonders hoch sind.

2.2.3. Luftkeimzahlen in einer geschlossenen Anlage

Bei dieser in einer dicht besiedelten, an einem See gelegenen Anlage befinden sich Vorklärbecken, Belüftungsbecken und Nachklärbecken in einer Halle mit einem Volumen von ca. 30.000 m³. Durch Zufuhr von Frischluft erfolgt ein ca. 2-facher Luftwechsel pro Stunde. Die in der Abluft enthaltenen Geruchsstoffe werden mittels einer Ozonwaschanlage abgebaut, um die Anwohner vor lästigen Geruchsimmissionen zu schützen.

Die Luftkeimzahlbestimmungen wurden wie bei den offenen Anlagen im unmittelbaren Bereich der Belebtschlammbecken vorgenommen sowie an verschiedenen Stellen in der Halle, um eine durchschnittliche Belastung der sich darin aufhaltenden Personen zu ermitteln. Tabelle I gibt eine

TABELLE I - Luftkeimzahlen in einer geschlossenen Abwasserreinigungsanlage; Belebtschlammbecken mit feinblasiger Belüftung.

Durchschnittswerte von 2-6 Probenahmen.
G = Gesamtkeimzahl (KBE), C = E.Coli,
E = Enterokokken.

Ort der Probenahme	Slit-Sampler (KBE/m ³)	Sedimentation (KBE/60 cm ² ·h)
Belebtschlammbecken	G 25.000	1.400
	C 450	50
	E 200	24
Halle	G 4.300	220
	C —	2
	E —	4
Luftaustrittsstelle	G 315	—

Zusammenstellung der Messwerte: Im Bereich der Becken mit einer feinblasigen Belüftung und einer Sprühanlage zur Schlammbekämpfung lagen die Keimzahlen in der Grössenordnung der Werte, wie sie bei einer vergleichbaren Anlage im Freien gemessen wurden. Auffallend ist jedoch der ziemlich hohe Keimpegel in der Halle, der rund

10 mal über den üblichen Aussenluftwerten von 200-500 Keimen/m³ lag. Die zusätzlich mit einem Andersen-Sampler durchgeführten Messungen haben ergeben, dass die Anteile der Keimträger, deren Durchmesser kleiner ist als 5 µm, ca. 10-20 % beträgt. Die Anteile von E.coli und Enterokokken an den Gesamtkeimzahlen lagen zwischen 1 und 2 %; diese Keime waren auch auf allen Sedimentationsplatten nachweisbar, die an verschiedenen Stellen in der Halle exponiert wurden.

Die Probenahmen bei der Luftaustrittsstelle haben gezeigt, dass durch die Ozonwaschanlage auch der Luftkeimgehalt wirksam reduziert wird; die Keimzahlen in der Abluft lagen im Bereich der Aussenluftwerte, die in der Nähe der Halle gemessen wurden. Untersuchungen von Pereira [12] über die Wirkung von Ozon zur Beseitigung von Mikroorganismen in der Abluft von Kläranlagen ergaben dagegen nur geringfügige Reduktionen.

2.3. Diskussion

Die Ergebnisse aller Messungen lassen sich wie folgt zusammenfassen: Ueber den Belebtschlammbecken waren in offenen und geschlossenen Anlagen die Luftkeimzahlen sehr hoch; dabei hat sich gezeigt, dass die Keimdichte und die Grösse der Aerosolpartikel vom Belüftungsverfahren abhängig ist. Neben den Becken lagen in den offenen Anlagen bei der feinblasigen sowie bei der Turbinenbelüftung die Gesamtkeimzahlen in der Grössenordnung der Werte, wie sie normalerweise in Städten oder auch in belegten Räumen vorkommen. Um ein Vielfaches höher lagen die Konzentrationen bei der mittelblasigen Belüftung und bei der Bürstenbelüftung. Sehr ungünstig ist die Verwendung von Sprühanlagen zur Schlammbekämpfung; durch diese Massnahme wurden die Keimzahlen um das 10- bis 20-fache erhöht.

In 50 - 100 m Entfernung von den Becken waren bei Quellenkonzentrationen von durchschnittlich 150.000 KBE/m³ je nach Wind- und Temperaturverhältnissen signifikant erhöhte Keimzahlen gegenüber üblichen Aussenluftwerten nachweisbar.

In einer geschlossenen Anlage, in welcher sich Belebtschlammbecken mit einer feinblasigen Belüftung befinden, waren die Luftkeimzahlen in der ganzen Halle rund 10 mal höher als die üblichen Aussenluftwerte, wobei allen Probenahmen auch E.coli und Enterokokken nachweisbar waren.

Eine Beurteilung der Gefährdung im unmittelbaren Bereich offener Anlagen durch Inhalation der Keimaerosole ist sehr schwierig. Ledbetter, Hauck und Reyholds [11] fanden bei Kläranlage-Arbeitern keine

Häufung von Pneumonien; theoretisch sei zwar die Wahrscheinlichkeit für Infektionen erhöht, doch das Risiko sei sehr gering. An den Symposien über 'Aerobiology' wurden über solche Gefährdungen bei Kläranlagen keine Referate vorgetragen [2, 7]. Festzuhalten ist jedoch die Tatsache, dass in den Aerosolen der Belüftungsbecken pathogene Erreger vorhanden sind, die zum Teil an lungengängigen Tröpfchen haften.

Zur Beurteilung des Risikos aerogener Infekte in der Umgebung von Abwasserreinigungsanlagen sind Kenntnisse über die lokalen Wind- und Temperaturverhältnisse notwendig. Auf Grund der durchgeführten Messungen kann man sagen, dass bei Distanzen über 200 m Gefährdungen durch das Einatmen von Abwasser-Aerosolen praktisch ausgeschlossen werden können. Mit einem erhöhten Risiko ist jedoch bei Epidemien zu rechnen, bei denen auf aerogenem Weg übertragbare Erreger ins Abwasser gelangen.

Anders sind die Verhältnisse in geschlossenen Anlagen zu beurteilen: hier sind die sich darin aufhaltenden Personen nicht nur im unmittelbaren Bereich der Becken, sondern in der ganzen Halle ständig einer erhöhten Keimkonzentration exponiert. Das Risiko aerogener Infekte ist somit in diesem Fall höher als in einer offenen Anlage; dies gilt vor allem auch für Besucher, auch wenn sich diese nur kürzere Zeit in der Halle aufhalten. Da bisher erst wenig Erfahrungen vorliegen, sollten alle hier auftretenden Erkrankungen genau registriert werden. Sicher dürfte die Ursache von Infektionen am ehesten der direkte Kontakt mit Abwasser sein: die Möglichkeit aerogener Infekte ist jedoch nicht auszuschliessen.

3. Geruchsemissionen

Die mechanischen und biologischen Abbaustufen von Abwasserreinigungsanlagen — insbesondere die Schlammaufbereitungsverfahren — verursachen zum Teil ziemlich starke Geruchsemissionen. In bewohnten Gebieten geben solche Geruchsemissionen sehr häufig zu Klagen Anlass. Die Anlagen müssen deshalb überdeckt werden und die geruchsbelästigenden Komponenten müssen durch geeignete Reinigungsverfahren aus der Abluft so weit eliminiert werden, dass sie praktisch nicht mehr wahrnehmbar sind. Zur Beurteilung von Gerüchen komplizierter Zusammensetzung fehlen heute noch weitgehend geeignete und aussagekräftige Methoden. Aussagen über Geruchsschwellen, Zumutbarkeit, Synergismen und Antagonismen sollten mit reproduzierbaren Verfahren möglich sein. In der Regel werden heute Verfahren mit sensorischen Geruchsbestimmungen verwendet, die je nach Frage-

stellungen zu modifizieren sind [8]. Analytische Verfahren zum Nachweis von Geruchsstoffen sind sehr aufwendig. Zum Sammeln der Luftproben eignen sich Aktivkohlefilter, und für die nachfolgende Analyse gaschromatographische Verfahren [4]. Eines der Hauptprobleme bildet dabei die Abtrennung der für die Geruchsbelastigungen massgebenden Komponenten. In Frage kommt folgendes Analysenverfahren, wie es von Hangartner [6] ausgearbeitet wurde: Sammeln der Luftproben auf Aktivkohle, Desorption mit Schwefelkohlenstoff, Vortrennung an einer Kieselsäule mit Pentan, Methylenchlorid und Aether, und anschliessend gaschromatographische Analyse mit Kapillarsäulen und Flammenionisationsdetektor. Die Identifikation erfolgte mittels Massenspektrometer, nasalen Geruchsidentifizierungen und chemischen Gruppentests sowie durch Verwendung weiterer Detektoren (Electron Capture Detector, Stickstoffspezifischer Detector). Erste Feldmessungen, bei welchen das Vorgehen für eine Vortrennung der Proben ausgearbeitet und überprüft wurde, ergaben auswertbare und reproduzierbare Chromatogramme. Die bisher mit dem Massenspektrometer erfolgten Identifikationen ermöglichen allerdings erst beschränkte Aussagen, so dass noch weitere Tests erforderlich sind. Leitkomponenten, welche für die Geruchsbelastigungen charakteristisch sind, konnten bei diesen Messungen noch nicht gefunden werden. Bei der Beseitigung der belästigenden Geruchsstoffe stellen sich eine Reihe von Problemen, die je nach Art der Geruchsquellen verschieden sind. Die stärksten Geruchsemissionen treten in der Regel bei der thermischen Schlammbehandlung und Schlammwässerung auf. Hier ist wichtig, dass mittels einer wirksamen Ventilationsanlage der Luft möglichst nahe den Geruchsemissionen abgesaugt wird, und dass in den Räumen mit kontaminierter Luft ein Unterdruck gegenüber den anliegenden Räumen, bzw. der Aussenluft aufrechterhalten wird. Wirksame Verfahren zum Abbau der Geruchsstoffe in der Abluft sind mehrstufige Waschanlagen mit Verwendung von Chlor oder Ozon als Oxidationsmittel. Verwendung finden auch Aktivkohlefilter oder biologische Erdfilter. Positive Erfahrungen mit den verschiedenen Verfahren liegen vor; es ist jedoch immer notwendig, die Betriebsbedingungen bei jeder Anlage genau zu überprüfen.

4. Zusammenfassung

Beim Betrieb von Kläranlagen in bewohnten Gegenden stellen sich bekanntlich eine Reihe

hygienischer Probleme. Dazu gehören unter anderem die Gefährdungen durch Mikroorganismen in der Luft sowie die Geruchsbelastigungen. Hauptquelle für mikrobielle Verunreinigungen der Luft sind die Belebtschlammbecken, da die bei der Belüftung gebildeten Aerosole Träger von Keimen sind. Geruchsintensive Prozesse sind vor allem die Aufbereitung, Beseitigung und Verwertung des Schlammes.

Messungen des Keimausstosses, die in den letzten Jahren in der Schweiz bei Belebtschlammwerken durchgeführt wurden, ergaben folgende Werte: Bei feinblasiger Belüftung war die Keimdichte am geringsten; bei mittelblasiger und Bürstenbelüftung wurden ziemlich hohe Konzentrationen gemessen; einen besonders ungünstigen Einfluss hatten die zur Schaumbekämpfung verwendeten Sprühanlagen. Bei hohen Keimzahlen über den Becken (50 - 100.000 Keime/m³) wurden — je nach Wetterlage — in 50 und 100 m Entfernung zwischen 500 und 1500 Keime/m³ gefunden. In 200 und 400 m Entfernung lagen die Keimzahlen in der gleichen Grössenordnung, wie sie normalerweise in der Aussenluft gemessen werden (100 - 500 Keime/m³). In einer geschlossenen Anlage wurden gesamthaft bedeutend höhere Werte gefunden: In unmittelbarer Nähe des Belebtschlammbeckens waren es 10.000 - 25.000 Keime/m³; in der Halle wurden 3000 - 4000 Keime/m³ festgestellt; dabei betrug die Anteile koliformer Keime 1 - 2 % und diejenigen der Enterokokken 2-4 %. Es muss damit gerechnet werden, dass neben den nachgewiesenen Darmbakterien noch weitere pathogene Erreger in den Aerosolen vorhanden sind. In geschlossenen Anlagen besteht somit ein erhöhtes Risiko aerogener Infektionen, während in offenen Anlagen diese Gefahr als sehr gering beurteilt werden kann.

Zur Beurteilung von Gerüchen komplizierter Zusammensetzung fehlen heute noch weitgehend geeignete und aussagekräftige analytische Methoden — insbesondere zur Kennzeichnung hinsichtlich Geruchsschwelle, Zumutbarkeit, Synergismen und Antagonismen. In der Regel werden standardisierte Verfahren mit sensorischen Geruchsbestimmungen verwendet. Neben dem gezielten Nachweis einzelner Komponenten, wie Merkaptan, Indol und Skatol liegen auch erste Erfahrungen mit gaschromatographischen Analysen vor.

Literatur

1. Adams, A. P. and Spendlove, J. C.: *Coliform Aerosols Emitted by Sewage Treatment Plants*. Science, 169, 1218-1220 (1970).
2. *Airborne microbes*, 17th Symp. Soc. Gen. Microbiol. 1967, Cambridge University Press (1967).
3. Bocko, J. and Meks-Bermecha, H.: *Contamination of Air with Bacteria during Sprinkling of Town-Sewage*. Gospodarka Wodna, Nr. 8, 368-370 (1959).

4. Boninsegni, C., Deuber, A. und Wanner, H. U.: *Geruchsanalysen bei der Kehrichtkompostierung*. Umwelthygiene, 25, 172-175 (1974).
5. Goff, G. D., Spendlove, J. E., Adams, A. P. and Nicholes, P. S.: *Emission of Microbial Aerosols From Sewage Treatment Plants That Use Trickling Filters*. Health Service Reports, 88, No. 7, 640-652 (1973).
6. Hangartner, M.: *Methodische Untersuchungen zum Nachweis von Gerüchen (Zwischenbericht)*. Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie, Eidgen. Technische Hochschule Zürich (1975).
7. Hers, J. F. Ph. and Winkler, K. C.: *Airborne transmission and airborne infection*. Concepts and methods presented at the Vith International Symposium on Aerobiology. Oosthoek Publishing Company, Utrecht, The Netherlands, (1973).
8. Jutzi, W.: *Prüfung von Verfahren zur Reduktion von Geruchsemissionen*. Z. Präventivmed., 14, 305-306 (1969).
9. Kenline, P. A. and Scarpino, P. V.: *Bacterial Air Pollution from Sewage Treatment Plants*. American Industrial Hygiene Association Journal, 33, 346-352 (1972).
10. Ledbetter, J. O. and Randall, C. W.: *Bacterial Emissions from Activated Sludges Units*. Industrial Medicine and Surgery, 34, 130-133 (1965).
11. Ledbetter, J. O., Hauck, L. M., and Reynolds, R.: *Health Hazards from wastewater treatment practices*. Environmental Letters, 4, 225-232 (1973).
12. Pereira, M. R. and Benjaminson, M. A.: *Broadcast of Microbial Aerosols by Stacks of Sewage Treatment Plants and Effects of Ozonation on Bacteria in the Gaseous Effluent*. Public Health Reports, 90, No. 3, 209-212 (1975).
13. Wanner, H. U.: *Der Nachweis von Bakterien in der Luft; Teil III, Bakteriennachweis in der Luft in der Umgebung von Abwasserreinigungsanlagen*. Habilitationsschrift Eidgen. Hochschule Zürich (1968).
14. Wanner, H. U. und Deuber, A.: *Methodische Untersuchungen zum Nachweis von Bakterien in der Luft*. Arch. Hyg., 153, 316-325 (1969).

