

Neue Fotooxidationstechnologien in der Abluftreinigung

UV-Technik im Vergleich mit Biofiltern und thermischen Verfahren anhand des großflächigen Einsatzes am Abwasserkanal Emscher

Frank Seitz (Ludwigshafen a. Rh.), Heinz Hiegemann und Burkhard Teichgräber (Essen)

Zusammenfassung

Neben Biofiltern und thermischen Verfahren wurde 2016 mit der VDI-Richtlinie 2441 „Prozessgas- und Abgasreinigung durch Kaltplasmaverfahren“ die UV-Technologie als Stand der Technik zur Behandlung von Schadstoff- und Geruchsemissionen akzeptiert und als Lösung anerkannt. Aufgrund der Vorteile hinsichtlich Platzbedarf, Kosten, Betriebsstabilität und -flexibilität wurden bei der Emschergenossenschaft in Essen nach einem langjährigen Prozess der Projektentwicklung im Rahmen des Generationenprojekts „Emscherumbau“ die bereits planfestgestellten Biofilterverfahren zugunsten der UV-Bestrahlungstechnologie geändert und realisiert. Insgesamt wurden 53 Fotooxidationsanlagen zur Geruchsbehandlung der Abluft aus dem ca. 51 km langen Abwasserkanal Emscher in Betrieb genommen. In Summe werden hier seither ca. 1,1 Millionen m³/h Luft von Gerüchen und schädlichen Emissionen befreit.

Schlagwörter: Entwässerungssysteme, Kanalisation, Abwasserkanal Emscher, Emission, Abluft, Geruch, Fotooxidation, UV-Strahlung, Biofilter

DOI: 10.3242/kae2022.12.001

1 Herkömmliche Verfahren der Abgasreinigung

In der verfahrenstechnischen Regelsetzung fällt die Abluft aus Abwasseranlagen unter den Abgasbegriff. Thermische und bio-

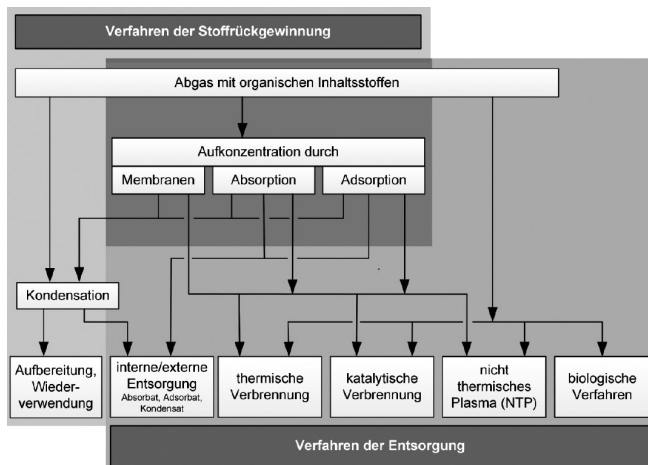


Abb. 1: Abgasreinigungsverfahren nach VDI-Richtlinie 2441 (2016) [1]

logische Verfahren gehören zu den bekanntesten Verfahren der Abgasreinigung. Seit 2016 wurden auch die nichtthermischen Plasmaverfahren in die VDI-Richtlinie 2441 aufgenommen (Abbildung 1).

Gleichwohl unterscheiden sich die drei Verfahren hinsichtlich Leistung und Kosten und werden in Fachkreisen unterschiedlich wahrgenommen bzw. interpretiert. Das liegt zum Teil an den verschiedenen Herangehensweisen und Blickwinkeln, mit der man an die Thematik herantritt. So wird bei einer Kostenerhebung oftmals der erhebliche Platzbedarf von biologischen Systemen bzw. der Pflegeaufwand im Betrieb unterschätzt. Auch Faktoren wie reale Energieverbräuche im Betriebsalltag und der damit verbundene Klimaeinfluss bei thermischen Verfahren geraten zunehmend in den Fokus.

1.1 Biologische Verfahren zur Abgasreinigung

Man unterscheidet drei Grundtypen von biologischen Abgasreinigungsanlagen:

Biofilter nach VDI 3477 [2]:

Die ersten Biofilter wurden bereits Mitte des letzten Jahrhunderts patentiert und angewendet. Dabei wird ein organisches Trägermaterial wie zum Beispiel Rindenmulch oder Hackschnitzel in ein Filterbett mit ca. 1–3 m Schütthöhe gefüllt. Die Abluft durchströmt das Filterbett von unten nach oben, wobei die Schadstoffe biologisch abgebaut werden. Die Biofilter können ebenerdig gebaut oder in Modulbauweise übereinandergestapelt werden. Durch den relativ einfachen konstruktiven Aufbau stellt der Biofilter ein sehr günstiges Abluftreinigungsverfahren dar, das jedoch nur für Anwendungen in kontinuierlicher Betriebsweise mit geringer Lösemittel- oder Geruchsbelastung geeignet ist. Voraussetzung für eine gute Funktionalität sind:

- Geruchs-/Schadstoffe sind wasserlöslich, nicht zu komplex im Aufbau [BTEX (Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xyole)].
- Die Konzentrationen sind in einem moderaten Bereich. Zu hohe Peaks vergiften die Biozönose, bei zu geringen Konzentrationen verhungern die einmal adaptierten Mikroorganismen.
- Die Adaption der Mikroorganismen an die Abluftzusammensetzung benötigt Zeit, Tage bis Wochen. Schnelle Schwankungen oder Betriebsunterbrechungen sollten vermieden werden.
- Es muss ein Optimum zwischen Filteranströmfläche und Druckverlust gefunden werden. Aus diesem Grunde werden große Grundflächen für die Anlagen benötigt. Es besteht die Gefahr von Kurzschlussströmungen. Diese führen potenziell zum Absterben in Randzonen und Durchbrüchen an zu schnell durchströmten Bereichen.
- Es muss genügend Grundfläche zur Verfügung stehen.
- Auch der Anteil an Staub und Aerosolen muss gering sein, damit es nicht zur Verblockung des Trägermaterials kommt.
- Die zu behandelnde Luft darf weder zu kalt, zu heiß oder zu trocken sein.
- Durch den sukzessiven Abbau des Trägermaterials kompaktiert dieses, und der Druckverlust steigt mit der Zeit an.
- Ein regelmäßiger Austausch des Trägermaterials ist erforderlich.

Biowäscher nach VDI 3478, Blatt 1 [3]:

Der Biowäscher stellt eine Kombination eines physikalischen Wäschers und einer Belebungseinheit dar. Die Schadstoffe werden physikalisch aus dem Wasser ausgewaschen und danach in der wässrigen Phase biologisch abgebaut. Dabei unterscheidet man Biowäscher mit biologischem Abbau durch die im Wasser suspendierten oder auf dem Füllkörpermaterial fixierten Mikroorganismen und Biowäscher mit separater externer Belebungseinheit. Diese ist notwendig bei höher beladenem Waschwasser. Das durch den biologischen Abbau regenerierte Wäscherwasser kann dadurch im Kreislauf gefahren werden. Die zum biologischen Abbau notwendigen Nährstoffe müssen in die Waschflüssigkeit zugegeben werden. Der Biowäscher eignet sich gut für wasserlösliche Abluftinhaltsstoffe mittlerer Konzentrationen.

Bioreselbtreaktoren nach VDI 3478, Blatt 2 [4]:

Der Biorieselbtreaktor (auch als Biotropfkörper oder Biotrickling Filter bezeichnet) kann als eine Sonderform des Bio-

wäschers betrachtet werden und unterscheidet sich vom herkömmlichen Biofilterverfahren dadurch, dass anstatt des biologischen Trägermaterials (wie Rindenmulch oder Hackschnitzel) ein inertes Trägermaterial verwendet wird. Auf diesem Trägermaterial werden die Mikroorganismen angesiedelt, die den biologischen Abbau der Abluftinhaltsstoffe durchführen. Die beladene Abluft durchströmt das inerte Trägermaterial im Gegen- oder im Gleichstrom, wird im Trägermaterial gereinigt und tritt dann am Abluftkamin als gereinigte Abluft wieder aus. Die Feuchtigkeit und die notwendigen Nährstoffe, die beim Biofilter aus dem organischen Trägermaterial entnommen werden und so zum Zersetzen dessen führen, werden beim Biotropfkörper über das Berieselungswasser zugeführt. Der Biotropfkörper eignet sich sowohl zur Reinigung lösemittel- als auch geruchsbeladener Abluft mit Konzentrationen bis zu 1 g/m³.

1.2 Thermischen Verfahren zur Abgasreinigung

Man kennt die klassischen Verfahren zur thermischen Abluftreinigung in verschiedenen Bauformen. Die einfachste Bauform ist die thermische Nachverbrennung (TNV). Das mit brennbaren – üblicherweise organischen – Verbindungen beladene Abgas wird in einem Brennraum bei Temperaturen verbrannt, die üblicherweise über 800 °C liegen. Ein autothermer Betrieb der Anlage ist ab einem Gehalt an Gesamtkohlenstoff von ungefähr 5 g/m³ möglich [5]. Zur Brennstoffersparnis wird häufig ein kontinuierlich arbeitender Wärmeübertrager (Rekuperator) eingesetzt, mit dem das zu verbrennende Abgas durch das verbrannte Abgas erwärmt wird.

Eine Weiterentwicklung stellt die regenerative thermische Nachverbrennung (RNV/RTO) dar. Der Unterschied zur klassischen TNV besteht hauptsächlich in der wesentlich höheren Aufheizung der zur Verbrennung kommenden schadstoffhaltigen Rohgase, was durch wechselseitiges Aufheizen von Wärmespeichern und Abgabe der gespeicherten Wärme an das kalte Rohgas erfolgt (Regenerator) [6].

Ein weiteres thermisches Verfahren ist die katalytische Nachverbrennung (KNV), bei der die Arbeitstemperatur durch den Einsatz eines heterogenen Katalysators herabgesetzt wird. Die Betriebstemperaturen liegen im Allgemeinen zwischen 300 °C und 600 °C [7].

2 Fotooxidationsverfahren zur Abluftreinigung

2.1 Grundlagen

UV-Licht besteht aus elektromagnetischen Wellen, deren Energiegehalt direkt von der Wellenlänge λ abhängig ist. Je kürzer die Wellenlänge desto energiereicher die Strahlung. UV-Strahlung kann in UV-A, UV-B, UV-C und VUV unterschieden werden. VUV (Vakuum-UV, auch fernes UV) ist die Strahlung < 200 nm und damit die energiereichste Form, die für technische Abluftreinigungsprozesse zur Verfügung steht. Eine typische UV-Lampe emittiert verschiedene Wellenlängen. Will man einen Schadstoff direkt durch radikalische Kettenreaktion mittels UV-Licht spalten, so muss dieser Schadstoff diese Wellenlänge auch absorbieren können (Abbildung 2). Das heißt, das Absorptionsmaximum des Schadstoffs und das Emissionsmaximum der Lampe sollten idealerweise zusammenfallen. Dieser Reaktionsprozess wird Fotolyse genannt. Man kennt für nahe-

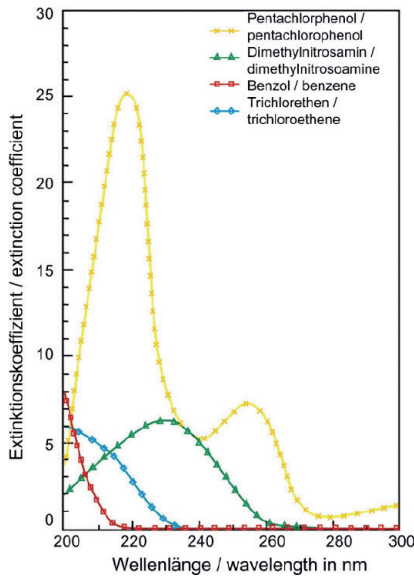


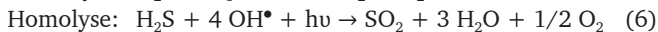
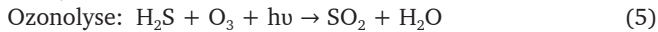
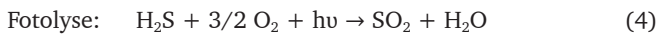
Abb. 2: Absorptionsspektrum von beispielhaften leichtflüchtigen Kohlenstoffverbindungen [8]

zu alle Verbindungen und funktionellen Gruppen diese Maxima. Sie hängen von den beteiligten chemischen Bindungstypen ab.

Fotolyse ist jedoch nicht der einzige Effekt, der für einen Schadstoffabbau genutzt werden kann. Je höher die Intensität der VUV-Strahlung, desto besser wird Luftsauerstoff ozonolytisiert. Das entstehende Ozon zerfällt zu Radikalen, die den Fotolyseprozess überproportional verstärken. Das in der Luftfeuchtigkeit enthaltene Wasser wird ebenfalls homolysiert, in OH-Radikale gespalten, die ebenfalls an der Oxidationsreaktion mit dem Schadstoff teilnehmen:



Im Fall von anorganischen Verbindungen (zum Beispiel H_2S) und substituierten Kohlenwasserstoffen laufen ähnliche Oxidationsreaktionen (hier stellvertretend zum SO_2) ab:



Durch Integration von fotolytisch aktiven Katalysatoren im Reaktionsraum bzw. nachgeschalteten oxidativen Katalysatoren können diese Prozesse weiter verstärkt werden.

Die photochemische Wirkung der UV-Strahlung wird gezielt zur Zerstörung der Schadstoffe eingesetzt. Die hierbei ausgelösten Reaktionen laufen bei ausreichender Bestrahlungsdauer dann bis zur vollständigen Mineralisierung ab. Für die Geruchselimination ist nur ein Teilabbau zu geruchsärmeren Produkten erforderlich.

2.2 Technik

Man unterscheidet abhängig vom Fülldruck zwei Haupttypen von Strahlern: Niederdruckstrahler (ND) und Mitteldruckstrahler (MD). Niederdruckstrahler weisen Fülldrücke < 1 bar auf, womit sich diskrete Emissionslinien bei 185 nm und 254 nm erzeugen lassen (Abbildung 3, links). Diese Lampen werden gewöhnlich für die Desinfektion genutzt und sind in der ganzen Welt als Massenprodukt mit Leistungsklassen von 10 bis 400 W erhältlich. Diese Klasse der Strahler kann durch gezielte spezifische Modifikationen auch zur Geruchselimination eingesetzt werden. Vorteil bei diesen Systemen ist die generell sehr hohe prozentuale Ausbeute an UVC-Leistung.

Der Fülldruck von Mitteldruckstrahlern beträgt 1 bis 10 bar, womit quasikontinuierliche Emissionsspektren und Leistungen von 1000 W bis 32000 W auf engstem Raum zu realisieren sind (Abbildung 3, rechts). Durch die Möglichkeit der Anpassung der Emissionsspektren an die Absorptionsspektren der Schadstoffe hat man es somit immer mit einem speziell entwickelbaren Produkt zu tun. Die Vorteile dieser in den letzten Jahren weiterentwickelten Lampen sind hohe Energiedichten und VUV-Ausbeuten, lange Lebensdauer, polychromatische Emissionen und geringe Betriebskosten. Das zu bestrahlende Abgas wird mit einer Verweilzeit von wenigen Sekunden durch den UV-Reaktor geführt, wo es die Behandlungsstrecke entlang speziell angeordneter UV-Strahler mit hohem Wirkungsgrad durchströmt.

Die UV-Strahler im Reaktor bauen durch ihre Anordnung ein homogenes Strahlungsfeld auf. Die UV-Oxidations-Anlagen werden für kontinuierlich oder diskontinuierlichen Einsatz konzipiert. Zur stufenlosen Regelung der Anlagenleistung können externe Online-Messungen (zum Beispiel H_2S -Konzentration) oder andere Prozessparameter integriert werden. Auf diese Weise reinigt die UV-Oxidation Luft ohne Rückstände. UV-Oxidations-Anlagen bewähren sich seit Jahren erfolgreich zum

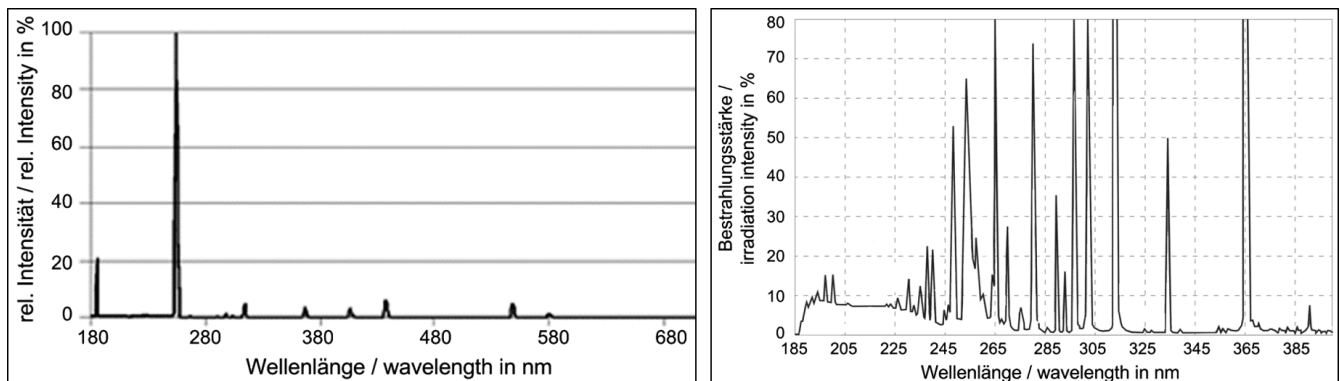


Abb. 3: Emissionsspektrum eines typischen Niederdruck- (links, [9]) und Mitteldruckstrahlers (rechts, [10])

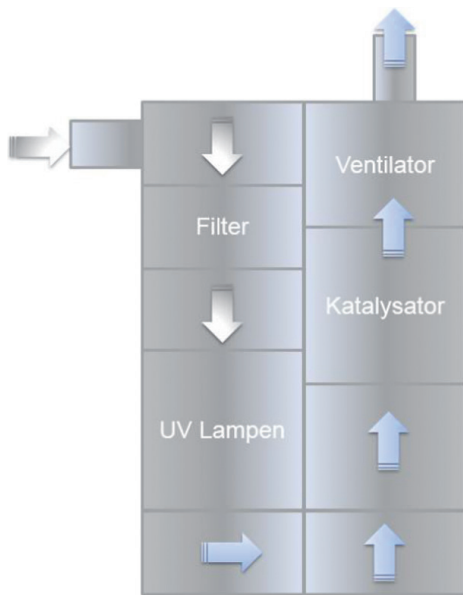


Abb. 4: Verfahrensschema der direkten Fotooxidation

Beispiel zur Behandlung von Abluft und bei der Eliminierung von Geruchsemissionen. Die UV-Oxidations-Anlagen bieten durch Konstruktion und Ausführung eine Reihe entscheidender Vorteile. Der modulare Aufbau der Anlagen ermöglicht die Anpassung direkt auf spezielle Bedürfnisse des Betreibers. Die Einbindung in bestehende Anlagen und Einrichtungen kann durch Anschlüsse nach Kundenwunsch und in verschiedenen Einbaulagen bei geringstem Platzbedarf erfolgen, und Reinigungs- und Wartungsarbeiten können ohne Zeitverlust von Mitarbeitern des Anlagenbetreibers selbst durchgeführt werden. Die Anlagen bestehen aus standardisierten, robusten Großserienbauteilen und erhöhen durch ihre bewährte Zuverlässigkeit die Verfügbarkeit der Anlagen, während die Instandhaltungskosten vergleichsweise niedrig sind.

2.3 Verfahrensprinzipien

Die technischen Bestandteile einer UV-Oxidationsanlagen können, je nach Rohgasbeschaffenheit, variabel angeordnet werden. Man unterscheidet daher die direkte Fotooxidation (DF) und die regenerative Fotooxidation (RF). Da beim Abwasserkanal Emscher (AKE) ausschließlich Fotooxidationsanlage (FOA) gebaut wurden, die nach dem Prinzip der direkten Fotooxidation arbeiten, wird für die technischen Besonderheiten der RF-Anlagen auf die VDI-Richtlinie 2441 [1] verwiesen.

Bei der direkten Fotooxidation wird der Abluftstrom im direkten Durchfluss mit UV-Licht und optional nachgeschaltetem

Katalysator/Restozonvernichter behandelt (Abbildung 4). Die hierdurch entstehende Abwärme kann optional mittels rekuperativem Wärmetauscher zur Aufwärmung der schadstoffhaltigen Rohluft genutzt werden, wodurch der notwendige Leistungseintrag für die Oxidationsreaktion minimiert wird.

Ein Teil der Schadstoffe wird direkt durch Fotolyse in der UV-Stufe abgebaut. Durch Ozonolyse und Homolyse werden im weiteren Verlauf bis in die Katalysatorstufe hinein weitere leichtflüchtige Kohlenstoffverbindungen (VOC – volatile organic compounds) mineralisiert. Des Weiteren bewirkt die UV-Bestrahlung durch Anregung der VOC-Moleküle eine Herabsenkung der erforderlichen Aktivierungsenergie für die weiteren Reaktionen, was den Temperaturarbeitsbereich des Katalysators herabsetzt. Das führt zu geringerem Heizbedarf und Energieaufwendungen (Betriebskosten) sowie einer Reduktion der erforderlichen Kontaktzeiten und damit der Katalysatormengen (Investitionskosten). Umgekehrt wird hierdurch die Effektivität der Katalysatorstufe signifikant erhöht. Das Verfahren der direkten Fotooxidation mit nachgeschalteter katalytischer Oxidation ermöglicht somit Einsparungen an Investitions- sowie Betriebskosten gegenüber einer gewöhnlichen KNV von ca. 25 bis 75 %. Diese Verfahrenskonzeption kommt meist bei hohen gleichbleibenden VOC-Konzentrationen (wie auch nach Aufkonzentrierung) zum Einsatz, bevorzugt dann, wenn eine (nahezu) autotherme Betriebsweise möglich ist oder die Volumenströme so klein sind, dass größerer apparativer Aufwand nicht lohnt.

3 Vergleich der Verfahren

Ein Vergleich von Biofiltern und UV-Anlagen ist nicht immer einfach, da sehr unterschiedliche heterogene und manchmal monetär schwer zu quantifizierende Kriterien hineinspielen. Es wurden zahlreiche Vergleiche zu Investitions- und Betriebskosten angestellt. An verschiedenen Projekten wurden hierzu unabhängige Studien durchgeführt. Beispielfhaft sind folgend einige Zahlenwerte zu Investitions- und Betriebskosten für einen Wertstoffhof und eine Vergärungsanlage aufgeführt (Tabelle 1, Abbildung 5).

Neben den im Vergleich geringeren Investitions- und Betriebskosten der FOA fällt besonders der signifikant geringere Flächenverbrauch auf. Allgemein lassen sich folgende Vorteile von FOA gegenüber Biofiltern herausstellen:

- Platzersparnis gegenüber Biofiltern ca. 80 %
- stabiler Betrieb bei Emissions- und Wetterschwankungen
- flexibel betriebsbereit innerhalb von Minuten
- vollautomatischer, wartungsarmer Betrieb
- geringe Investitions- und Betriebskosten.

	Einheit	Biofilter	FOA	Biofilter	FOA
Anlagengröße	m ³ /h	30 000		53 000	
CAPEX ^{*)} (ohne Fundamente)	€	287 000	168 000	470 000	379 000
OPEX ^{**))}	€/a	21 000	18 000	34 634	28 428
Grundflächenbedarf	m ²	200	45	350	65
	%	100	23	100	19

^{*)} CAPEX: Capital Expenditure = Investitionskosten

^{**))} OPEX: Operational Expenditure = Betriebskosten

Tabelle 1: Wertstoffhof mit Kompostierung, Norddeutschland [11]

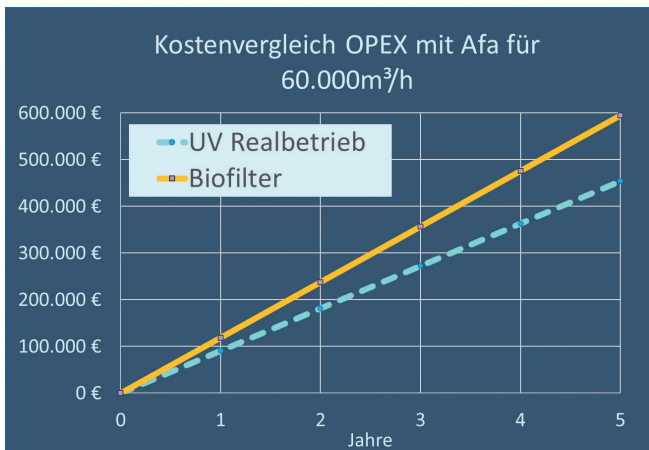


Abb. 5: Vergärungsanlage, Süddeutschland [12]

4 Einsatz der Fotooxidation am Abwasserkanal Emscher

4.1 Historie

Im Zuge des Emscher-Umbaus, eines der größten europäischen wasserwirtschaftlichen Infrastrukturprojekte in der Nachkriegszeit, wurde in den vergangenen 30 Jahren die offene Abwasserführung im Emschereinzugsgebiet, die aufgrund der Bergsenkungen in der durch Kohleabbau geprägten Region notwendig war, durch ein umfangreiches unterirdisches Kanalnetz ersetzt. Da der Bergbau immer weiter Richtung Norden abwanderte, stoppten auch die Bergsenkungen, sodass 1991 von den Mitgliedern der Emschergenossenschaft das Generationenprojekt des Emscher-Umbaus beschlossen wurde. Mit dem Ziel der Abwasserfreiheit im Jahr 2021 und mit einem Budgetrahmen von ca. 5,5 Milliarden Euro wurden seit 1992 vier zentrale Kläranlagen mit Ausbaugrößen zwischen 500 000 und 1,8 Millionen Einwohnergleichwerten und insgesamt 435 km Abwasserkanäle gebaut sowie 326 km Gewässer revitalisiert. Herzstück des Emscherumbaus ist der Abwasserkanal Emscher (AKE), der das Abwasser der Nebeneinzugsgebiete sammelt und von Dortmund über insgesamt 51 km zu den Kläranlagen Bottrop und Emschermündung in Dinslaken transportiert. Aufgrund der großen Tiefen von 10 bis 40 Metern, in denen der Kanal verlegt wurde, und des Gefälles von 1,5 ‰ muss das Abwasser an drei großen Pumpwerken (PWK) in Gelsenkirchen, Bottrop und Oberhausen gehoben werden (Abbildung 6).

Die Dimensionen und Umstände dieses Bauprojekts erforderten eine Planung, die auf eine lange Lebensdauer und minimalen Sanierungsaufwand des Kanals ausgelegt war. So wurde die Lebensdauer des AKE auf mindestens 100 Jahre geplant. Hierfür wurden zahlreiche Gutachten hinsichtlich des Korrosionsschutzes, der Belüftung, der Geruchsimmissionen, der Geruchsemissionen, der Abluftbehandlung sowie der Abwasserconditionierung im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens in Auftrag gegeben. Da der AKE durch einen der am dichtesten besiedelten Ballungsräume Europas verläuft, dienen die erwähnten Gutachten neben dem Schutz der Bausubstanz ebenso dem Schutz der Anlieger vor dauerhaften Geruchsbelastungen. Eine der größten technischen Herausforderungen bestand in der Zwangsbelüftung des neuen Leitungssystems mithilfe einer Abluftabsaugung. Mit der Anforderung, die gesamte Kanalatmosphäre mindestens einmal pro Stunde auszutauschen

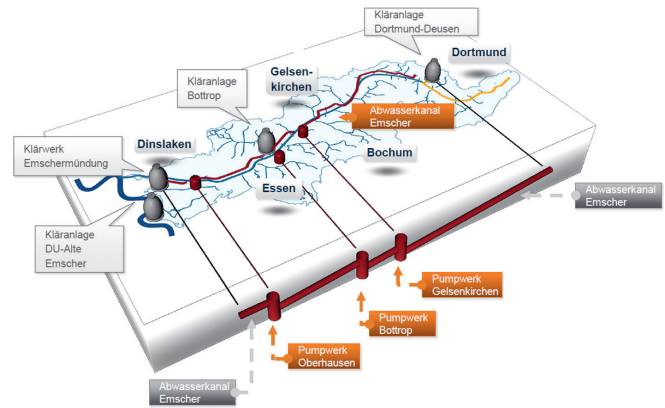


Abb. 6: Abwasserkanal Emscher – die Abwasserautobahn des Ruhrgebiets

und die Schwefelwasserstoffkonzentration dauerhaft < 1ppm zu halten, stellt das Korrosionsschutzgutachten aus dem Jahr 2006 [13] den Grundstein für die Planungen eines aktiven Belüftungssystems und einer umfassenden Chemikaliendosierung entlang des AKE zur Verhinderung von Schwefelwasserstoffemissionen. Ursprünglich wurden für die Abluftbehandlung am AKE entweder Biofilter oder aber hohe Schornsteine vorgesehen, da dies zu der damaligen Zeit (2006) dem Stand der Technik entsprach.

Jedoch steht im Planfeststellungsbeschluss (PFB) AKE vom 8. August 2008 [14] explizit geschrieben, dass „in der jeweiligen Ausführungsplanung für die Abluftanlagen [...] zu überprüfen [ist], ob neue Abluftreinigungsverfahren dem Stand der Technik entsprechen und eine im Vergleich zum Biofilter bessere Alternative bieten.“

Da die Biofilter teilweise Flächen von bis zu 1000 m² eingenommen und die Schornsteine bis zu 60 Meter hoch gebaut werden hätten müssen, um die Vorgaben des Geruchsimmissionsgutachten bzw. der Geruchsimmissionsrichtlinie (GIRL) zu erfüllen, wurde ab dem Jahr 2011 die Technologie der Fotooxidation von der Emschergenossenschaft umfangreich untersucht. Pilotanlagen unterschiedlicher Hersteller wurden an mehreren Standorten getestet, und die Ergebnisse zeigten, dass die Abluftbehandlung entlang des AKE mittels FOA bei gleichwertiger Geruchsstoffelimination flexibler und wirtschaftlicher realisiert werden kann. Mit der Planänderungsgenehmigung vom 5. Mai 2017 [15] wurde der Wechsel der Abluftbehandlungsanlagen von Biofiltern/Schornsteinen hin zu FOA planfestgestellt, sodass nun letztendlich 53 FOA entlang des AKE gebaut wurden, die in Summe einen maximalen Luftdurchsatz von etwa 1,1 Millionen m³/h haben können (Abbildung 7). Ab-

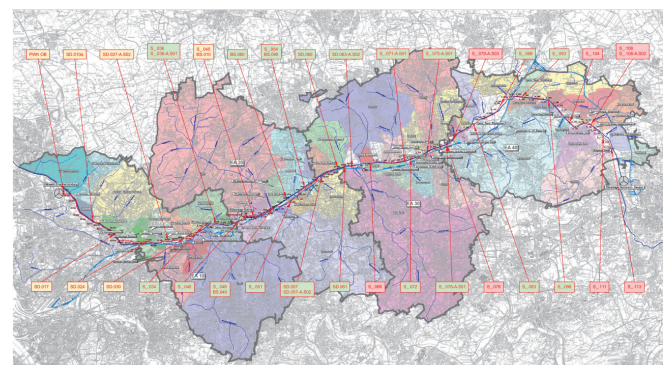


Abb. 7: Gesamtanlageplan der FOA am AKE

H₂S-Messungen											
Datum	12. 12. 2012		19. 12. 2012		23. 01. 2013		30. 01. 2013		05. 02. 2013		
	Rohgas	Reingas	Rohgas	Reingas	Rohgas	Reingas	Rohgas	Reingas	Rohgas	Reingas	
H₂S-Emissionskonzentration (mg/m³)											
Messung 1	0,846	< 0,235	3,798	< 0,359	5,247	< 0,325	0,437	< 0,327	1,488	< 0,090	
Messung 2	1,911	< 0,196	5,130	< 0,443	3,771	< 0,325	0,296	< 0,304	1,294	< 0,090	
Messung 3	2,732	< 0,321	5,358	< 0,357	2,976	< 0,320	0,277	< 0,289	1,178	< 0,090	
Mittelwert	1.830	< 0,251	4,762	< 0,386	3,998	< 0,323	0,337	< 0,307	1,320	< 0,090	
Volumenstrom; Norm^{trocken} (m³/h)	76	113	107	155	89	1 22	235	273	208	245	
H₂S-Emissionsmassenstrom (mg/h)											
Messung 1	65	< 27	406	< 56	468	< 40	103	< 89	310	< 22	
Messung 2	146	< 22	549	< 69	336	< 40	70	< 83	269	< 22	
Messung 3	209	< 36	573	< 55	265	< 39	65	< 79	245	< 22	
Mittelwert	140	< 28	510	< 60	356	< 39	79	< 84	275	< 22	
Wirkungsgrad der Abgasreinigung (%)											
Messung 1	> 59		> 86		> 92		> 13		> 93		
Messung 2	> 85		> 87		> 88		n.b.		> 92		
Messung 3	> 83		> 90		> 85		n.b.		> 91		
Mittelwert	> 80		> 88		> 89		n.b.		> 92		
Geruchs-Messungen											
Datum	12. 12. 2012		19. 12. 2012		23. 01. 2013		30. 01. 2013		05. 02. 2013		
	Rohgas	Reingas	Rohgas	Reingas	Rohgas	Reingas	Rohgas	Reingas	Rohgas	Reingas	
Geruchsstoffkonzentration (GE/m³)											
Messung 1	57.000	21	98.000	68	380.000	1.500	22.000	190	41.000	270	
Messung 2	28.000	25	91.000	320	170.000	3.300	13.000	270	27.000	200	
Messung 3	38.000	36	110.000	220	130.000	970	13.000	320	18.000	200	
geo. Mittel	39.000	27	100.000	170	210.000	1.700	15.000	260	27.000	220	
Volumenstrom; Norm^{feucht} (20 °C) [m³/h]	83	122	117	168	96	132	258	297	225	265	
Geruchsstoffstrom [MGE/h]											
Messung 1	4,72	< 0,01	11,46	0,01	36,58	0,20	5,67	0,06	9,24	0,07	
Messung 2	2,32	< 0,01	10,65	0,05	16,37	0,44	3,35	0,08	6,09	0,05	
Messung 3	3,14	< 0,01	12,87	0,04	12,51	0,13	3,35	0,10	4,06	0,05	
geo. Mittel	3,23	< 0,01	1 1,70	0,03	20,22	0,22	3,86	0,08	6,09	0,06	
Wirkungsgrad der Abgasreinigung (%)											
Messung 1	99,8		99,9		99,5		99,0		99,2		
Messung 2	99,6		99,5		97,3		97,6		99,1		
Messung 3	99,7		99,7		99,0		97,2		98,7		
Mittelwert	99,7		99,8		98,9		98,0		99,0		

n.b. nicht zu bestimmen

Tabelle 2: Ausschnitt der Messergebnisse einer Pilotversuchsphase von FOA im Jahr 2013 auf dem Klärwerk Emschermündung [17]

bildung 8 zeigt beispielhaft einer der insgesamt 39 Abluftstandorte.

4.2 Reinigungsergebnisse

In den oben erwähnten Pilotversuchen wurden FOA verschiedener Anbieter getestet und in mehrwöchigen Versuchsphasen



Abb. 8: Beispielstandort mit Fotooxidationsanlagen zur Geruchselimination für 70 000m³/h Kanalbewetterungsluft [16]

von akkreditierten Messinstituten überwacht und beprobt. Hierbei wurden die Systeme Geruchsemissionen von 10 000 bis 400 000 GE_E/m³ (GE_E = europäische Geruchseinheit) ausgesetzt. Die hierbei erzielten Reinigungsergebnisse lagen zwischen 97,0 % und 99,9 % und sind beispielhaft in Tabelle 2 dargestellt.

Die gemäß Gutachten bzw. Leistungsverzeichnis zu erwartenden Geruchskonzentrationen entlang des AKE sollten dagegen lediglich zwischen 500 bis 7000 GE_E/m³ liegen. Die geforderten Grenzwerte im Reingas wurden mit 200 GE_E/m³ vorgegeben.

Auch unter praktischen Bedingungen im Realbetrieb haben die 33 FOA im ersten Bauabschnitt des AKE zwischen Dortmund und Bottrop bei den ersten olfaktometrischen Abnahmemessungen im Sommer 2021 die Geruchsstoffkonzentration im Reingas auf im Mittel 42 GE_E/m³ reduzieren können und somit alle behördlichen Auflagen hinsichtlich der Geruchsemissionen offiziell erfüllt. Beispielhaft sind von den 33 FOA, die überprüft wurden, die Ergebnisse von sechs Anlagen in Tabelle 3 gezeigt. Die Daten der in jeder FOA eingebauten Online-H₂S-Messung

	Quelle	Probe	Datum	Start Probenahme Ende Probenahme [MEZ]	Geruchsstoff- konzentration [GE _r /m ³]	Geruchs- charakteristik	
Doppelanlage	QBS010	Roh P1	27. 04. 2021	10:59	11:29	525	Abwasser
		Roh P2		10:03	10:33	332	Abwasser
				Geometr. Mittel		420	
	QBS10A	Rein P1		10:59	11:29	< NWG	Lösungsmittel
		Rein P2		11:34	12:04	1 8	Lösungsmittel, süßlich
		Rein P3		12:06	12:36	26	Lösungsmittel, süßlich
		Geometr. Mittel		< NWG			
	QBS10B	Rein P1		10:59	11:29	1 9	Lösungsmittel, süßlich
		Rein P2		11:30	12:00	1 9	Lösungsmittel, süßlich
		Rein P3		12:02	12:32	< NWG	Lösungsmittel, süßlich
		Geometr. Mittel		< NWG			
	Doppelanlage	QBS040		Roh P1	18. 06. 2021	08:05	08:35
Roh P2			09:06	09:36		266	Abwasser
			Geometr. Mittel			310	
QB S040A		Rein P1	08:00	08:30		41	muffig
		Rein P2	08:32	09:02		27	muffig
		Rein P3	09:04	09:34		38	muffig
		Geometr. Mittel		35			
QBS040B		Rein P1	08:00	08:30		77	faulig, muffig
		Rein P2	08:32	09:02		91	faulig, muffig
		Rein P3	09:04	09:34		64	faulig, muffig
		Geometr. Mittel		77			
QS045		Roh P1	08:30	09:00		1.169	Abwasser
	Roh P2	09:36	10:06	589	Abwasser		
		Geometr. Mittel		830			
	Rein P1	08:30	09:00	43	Lösungsmittel		
	Rein P2	09:04	09:34	29	Lösungsmittel		
	Rein P3	09:36	10:06	32	Lösungsmittel		
	Geometr. Mittel		34				
QS048	Roh P1	09:54	10:24	144	Abwasser		
	Roh P2	10:57	11:27	152	Abwasser		
		Geometr. Mittel		150			
	Rein P1	09:53	10:23	43	muffig		
	Rein P2	10:25	10:55	68	muffig		
	Rein P3	10:57	11:27	46	muffig		
	Geometr. Mittel		51				

Tabelle 3: Auszug aus dem Messbericht der olfaktometrischen Abnahmemessungen der FOA am AKE im Sommer 2021 [18]

zeigen zudem, dass die H₂S-Konzentration bisher allein durch die Belüftung des AKE zu > 98 % der Betriebszeit unterhalb von dem, im Korrosionsschutzachten [13] geforderten, Grenzwert von 1 ppm gehalten werden konnte.

5 Fazit

Betreiber, die eine Abluftreinigung zur Reduzierung von VOC bzw. Gerüchen einsetzen, stellen eine Reihe von Anforderungen an diese Technik. So sollte sich diese neben möglichst niedrigen Investitions- und Betriebskosten durch geringen Platzbedarf und hohe Betriebsstabilität auszeichnen. Flexible Möglichkeiten zur Anpassung an die Betriebsbedingungen im Hinblick auf zukünftige produktionsintegrierte Emissionsreduzierungen oder auch umgekehrt Kapazitätserweiterungen sind Vorzüge der Fotooxidationstechnologie. Ein weiterer wesentlicher Vorteil der Technik sind die einfache Handhabung, Wartung sowie die Steuerbarkeit abhängig von Emissionsschwankungen bzw. Betriebszeiten. Ein- und Ausschaltzeiten von wenigen Minuten sowie die Regelung über Online-Messwerte erlauben praktisch eine Echtzeitbehandlung von Gerüchen.

Biologische und thermische Verfahren, die schon lange verfügbar sind, haben ihre berechtigten Anwendungsfelder. Dieser Beitrag dient dazu, Öffentlichkeit und Bewusstsein zu schaffen

für innovative Verfahren, die inzwischen auch zum Stand der Technik nach VDI aufgeschlossen haben und sehr attraktive Alternativen in jeder Hinsicht für geringe, mittlere und inzwischen sogar hohe Geruchs- und VOC-Emissionsfrachten darstellen.

Im Generationenprojekt Emscherumbau hat die Emschergenossenschaft vorausschauend die Fotooxidation als neuen Stand der Technik flächendeckend umgesetzt, um zum einen mit bestmöglicher Effizienz den Korrosionsschutz dieses Jahrhundertbauwerks zu gewährleisten und zum andern die Bevölkerung entlang des AKE vor Geruchsbelästigungen zu bewahren.

Literatur

- [1] VDI-Richtlinie 2441: *Prozessgas- und Abgasreinigung durch Kaltplasmaverfahren – Barriere-, Koronaentladung, UV-Strahlung*, Beuth, Berlin, 2016
- [2] VDI-Richtlinie 3447: *Biologische Abgasreinigung – Biofilter*, Beuth, Berlin, 2004
- [3] VDI-Richtlinie 3478, Blatt 1: *Biologische Abgasreinigung – Biowäscher*, Beuth, Berlin, 2011
- [4] VDI-Richtlinie 3478, Blatt 2: *Biologische Abgasreinigung – Biorieselbettreaktoren*, Beuth, Berlin, 2008

- [5] Dreyhaupt, F.-J.: *VDI-Lexikon Umwelttechnik*, Springer, Berlin, Heidelberg, 1994
- [6] Carlowitz, O., Neese, O.: Ansatzpunkte zur konzeptionellen und betrieblichen Optimierung von thermischen Abgasreinigungsanlagen mit regenerativer Abluftvorwärmung, *Gefahrstoffe – Reinhaltung Luft* 2005, 65 (7/8), 320–327
- [7] VDI-Richtlinie 2442: *Abgasreinigung – Verfahren und Technik der thermischen Abgasreinigung*, Beuth, Berlin, 2014
- [8] IBL Umwelt- und Biotechnik GmbH: *Adsorptionsspektren*, Heidelberg, 2005
- [9] Heraeus Noble Light, Produktinformation UV-Lampen, 2013
- [10] Philips Lighting, Produktinformation UV-Lampen, 1994
- [11] technoplus engineering, Wertstoffhof mit Kompostierung, Norddeutschland
- [12] DNFO Abluftconsulting Seitz, Vergärungsanlage, Süddeutschland
- [13] Lohse, M.; Tenzer, N.: *Gutachten zum Korrosionsschutz für den geplanten Abwasserkanal Emscher*, Essen/Münster, ARGE TWP Ingenieurbüro GmbH/Prof. Dr.-Ing. Lohse, 2006
- [14] Bezirksregierung Münster: Planfeststellungsbeschluss Abwasserkanal Emscher: gemäß §170 Landeswassergesetz (LWG) für den Bau und den Betrieb eines Abwasserkanals entlang der Emscher von Dortmund bis Dinslaken vom 8. August 2008
- [15] Bezirksregierung Münster: Planänderungsgenehmigung: gem. § 108 Landeswassergesetz (LWG) NRW i. V. m. § 76 Abs. 1 i. V. m. § 74 Abs. 6 Verwaltungsverfahrensgesetz NRW (VwVfG NRW), 2017
- [16] Centriair Deutschland GmbH, Fotooxidationsanlagen, Bauabschnitt 2, 2020
- [17] Müller-BBM, Messungen Pilotversuche Klärwerk Dinslaken, 2013
- [18] TÜV NORD Umweltschutz: *Messbericht über die Durchführung von Emissionsmessungen*, Essen, 2021

Autoren

Dipl.-Ing. Frank Seitz

Centriair Deutschland GmbH

Treidlerstraße 8a, 68535 Edingen-Neckarhausen

E-Mail: seitz@centriair.de

Dr.-Ing. Heinz Hiegemann, Prof. Dr.-Ing. Burkhard Teichgräber

Emschergenossenschaft/Lippeverband

Kronprinzenstraße 24, 45128 Essen

E-Mail: hiegemann.heinz@eglv.de

