

Die Neue Fotooxidation in der Abluft

Wirtschaftliche VOC-Reduktion für niedrige bis mittlere Konzentrationen

Frank Seitz, IBL Umwelt- und Biotechnik GmbH, 69123 Heidelberg, Germany

Kurzfassung

Industrieunternehmen, die eine Abluftreinigung zur Reduzierung von VOC bzw. Gerüchen betreiben, haben eine Reihe von Anforderungen an die einzusetzende Technik. So sollte sich diese neben möglichst niedrigen Invest- 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 weitere gewünschte Vorzüge. Die Bestrahlung mit UV-Licht für die Desinfektion ist seit langem bekannt und erprobt. Der Einsatz zum oxidativen Abbau von VOC und Gerüchen in der Luft gelang jedoch erst in den letzten Jahren bis zur Anwendungsreife. Die weiterentwickelte neue Fotooxidationstechnologie zeigt bereits heute Möglichkeiten, diesen vielfältigen Anforderungen zu genügen.



Bild 1: Ethanolabbau bei Lohnfertigung von Medikamenten, bis 18.000m³/h, Schweiz

1. Grundlagen

1.1 Fotooxidation

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, welche 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 (Bild 2). D. h., das Absorptionsmaximum des Schadstoffs und das Emissionsmaximum der Lampe sollten idealerweise zusammenfallen. Dieser Reaktionsprozess wird Fotolyse genannt. Man kennt für nahezu alle Verbindungen und funktionellen Gruppen diese Maxima. Sie hängen von den beteiligten chemischen Bindungstypen ab.

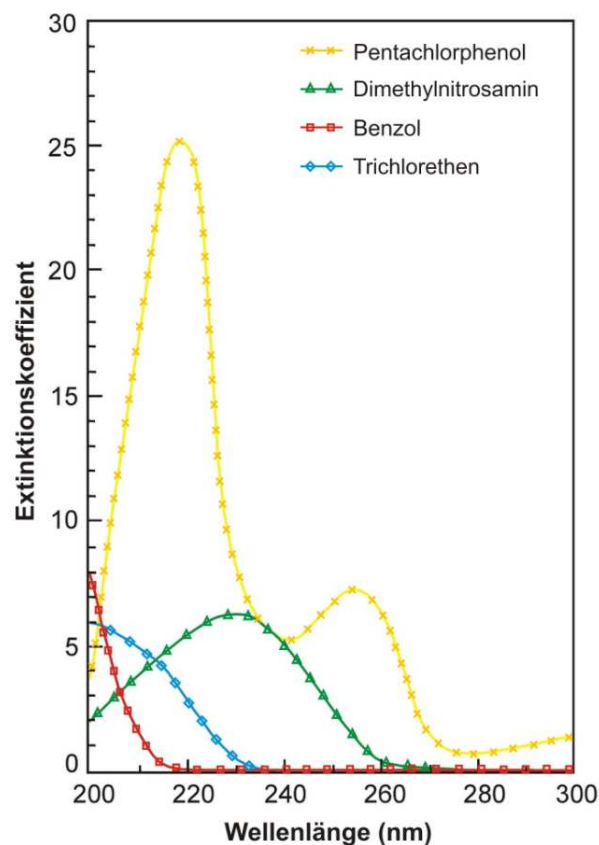
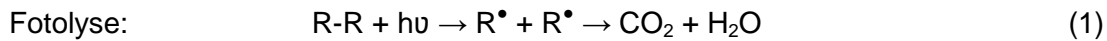
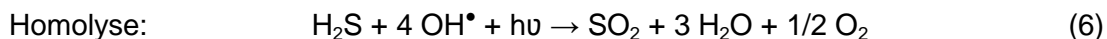
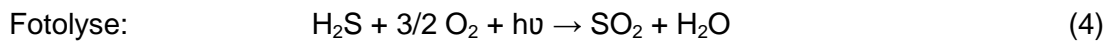


Bild 2: Absorptionsspektrum von beispielhaften VOC-Komponenten [1]

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 ozonolysiert. Das entstehende Ozon zerfällt zu Radikalen, welche den Fotolyseprozess überproportional verstärken. Das in der Luftfeuchtigkeit enthaltene Wasser wird ebenfalls homolysiert, in OH-Radikale gespalten, welche ebenfalls an der Oxidationsreaktion mit dem Schadstoff teilnehmen:



Im Falle von nichtorganischen Verbindungen (z.B. H_2S) bzw. 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.

1.2 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 (Bild 3). 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.

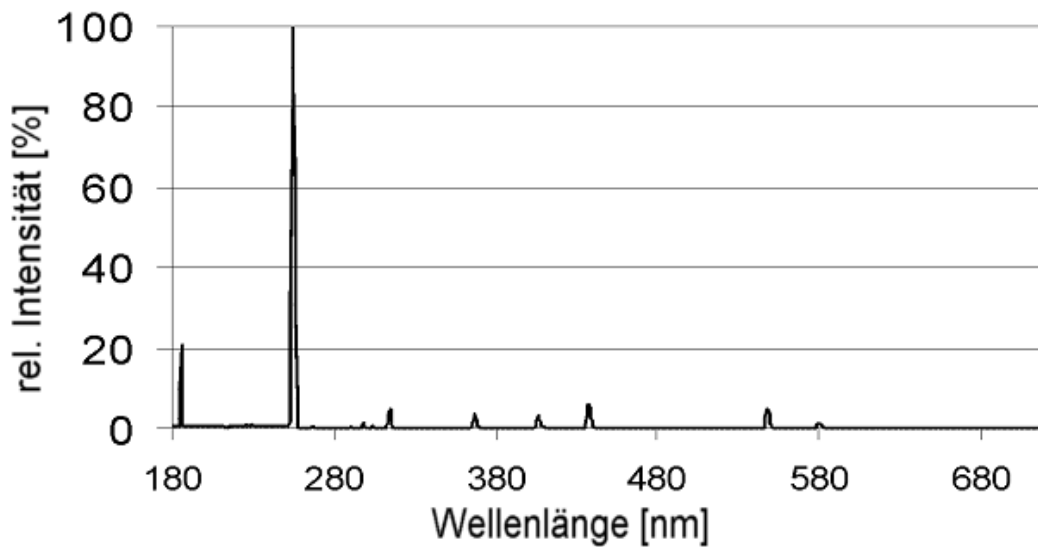


Bild 3: Emissionsspektrum eines typischen Niederdruckstrahlers [2]

Der Fülldruck von Mitteldruckstrahlern beträgt 1 bis 10 bar, womit quasikontinuierliche Emissionsspektren und Leistungen von 1.000 W bis 32.000 W auf engstem Raum zu realisieren sind (Bild 4). 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.

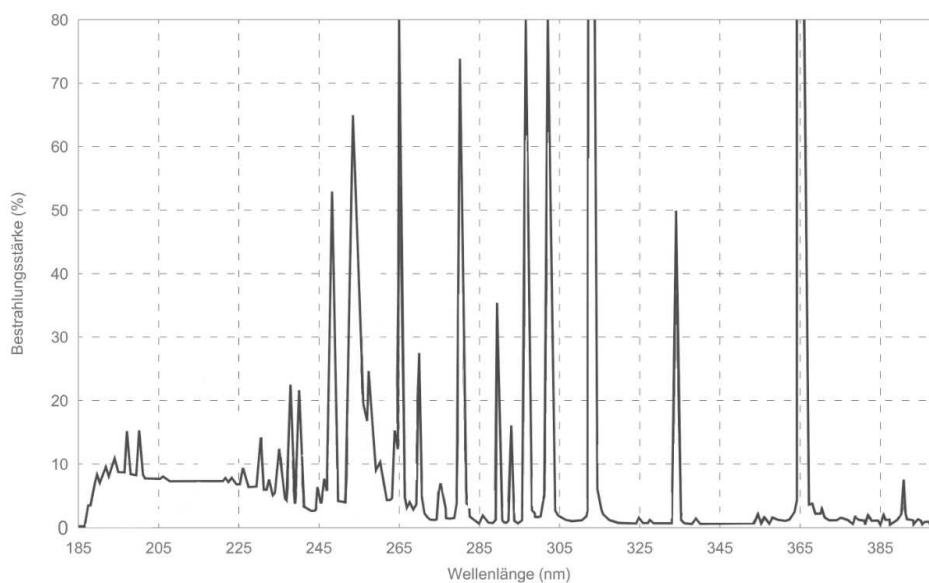


Bild 4: Emissionsspektrum eines typischen Mitteldruckstrahlers [3]

Das zu bestrahlende Abgas, wird mit einer Verweilzeit von wenigen Sekunden durch den UV-Reaktor geführt. Dabei durchströmt es die Behandlungsstrecke im UV-Reaktor entlang speziell angeordneter UV-Strahler mit hohem Wirkungsgrad. Die UV-Strahler im Reaktor bauen durch ihre Anordnung ein homogenes Strahlungsfeld auf. Die UV-Oxidations-Anlagen *uviblox*^{® GPT} werden für kontinuierlich oder diskontinuierlichen Einsatz konzipiert. Zur stufenlosen Regelung der Anlagenleistung können externe Online-Messungen oder andere Prozessparameter integriert werden.

Auf diese Weise reinigt die UV-Oxidation Luft ohne Rückstände. UV-Oxidations-Anlagen *uviblox*^{® GPT} bewähren sich seit Jahren erfolgreich: z.B. zur Behandlung von Abluft und bei der Eliminierung von Geruchsemissionen. Die UV-Oxidations-Anlagen *uviblox*^{® GPT} 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. 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. Die Instandhaltungskosten sind niedrig. Die UV-Anlagen sind wartungsarm und leicht zu bedienen.

2. Verfahrensprinzipien

2.1 Direkte Fotooxidation (DF)

Bei der Direkte Fotooxidation (DF) wird der Abluftstrom im direkten Durchfluss mit UV-Licht und optional nachgeschaltetem Katalysator behandelt (Bild 5). Die hierdurch entstehende Abwärme wird mittels rekuperativem Wärmetauscher zur Aufwärmung der schadstoffhaltigen Rohluft genutzt. Der notwendige Leistungseintrag für die Oxidationsreaktion wird minimiert.

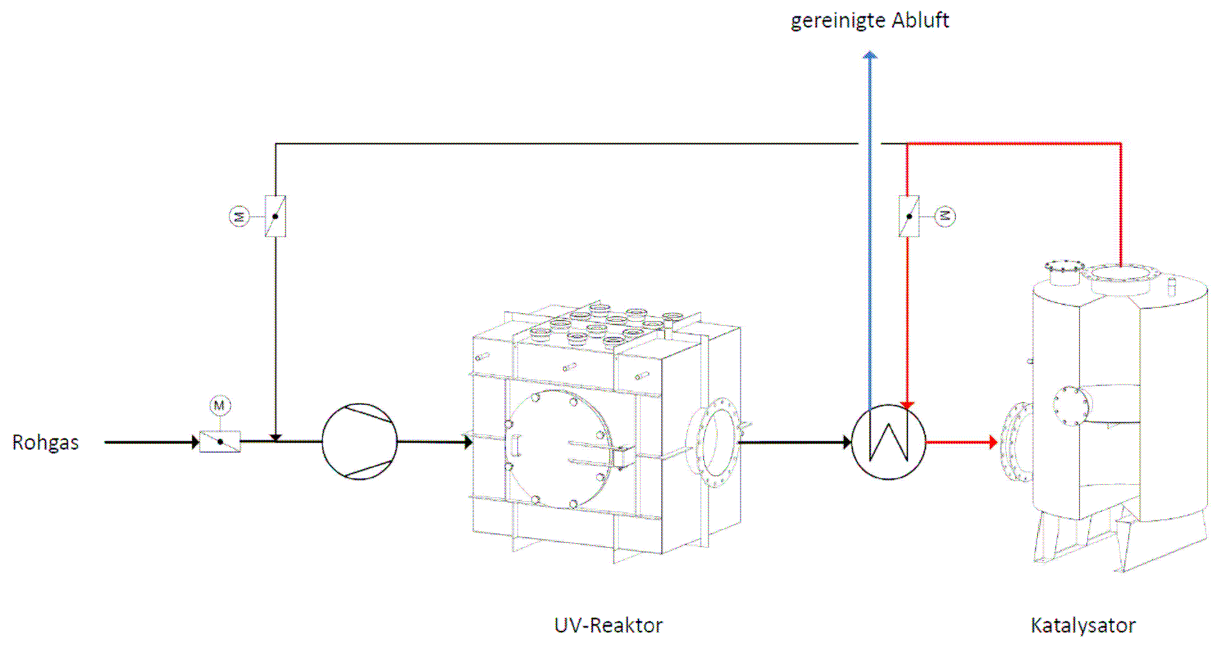


Bild 5: Fließschema Direkte Fotooxidation (DF)

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 VOC mineralisiert. Desweiteren bewirkt die UV-Bestrahlung durch Anregung der VOC-Moleküle eine Herabsenkung der erforderlichen Aktivierungsenergie für das System VOC-Katalysator, d.h., der Temperaturarbeitsbereich des Katalysators wird nach unten ausgedehnt. Das führt zu geringerem Heizbedarf (Betriebskosten) und Energieaufwendungen sowie einer Reduktion der erforderlichen Kontaktzeiten und damit Katalysatormengen (Investkosten). Umgekehrt wird hierdurch die Effektivität des Katalysatorstufe massiv erhöht.

Das Verfahren der Direkten Fotooxidation mit nachgeschalteter katalytischer Oxidation ermöglicht somit Einsparungen an Invest- 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 apparatechnischer Aufwand nicht lohnt.

2.2 Regenerative Fotooxidation (RF)

Sind die Schadstoffkonzentrationsverläufe dagegen schwankend und/oder auf niedrigem Niveau, so empfiehlt sich das Verfahren der Regenerativen Fotooxidation (RF). Hierbei werden die Luftströme über eine Adsorptionsstufe geführt, die Schadstoffe abgeschieden. Der gereinigte Luftstrom emittiert mit Restkonzentrationen gemäß der zulässigen Grenzwerte. Das Adsorptionsmittel wird dann regelmäßig in einem separaten Kreislauf regeneriert, entweder periodisch mit Adsorptionsfiltern (AF) oder kontinuierlich bei Adsorptionsrädern (AR). Die beiden Varianten bedienen unterschiedliche Einsatzbereiche. Durch die gleichmäßige Aufkonzentrierung lassen sich bei der Regenerativen Fotooxidation genauso wie bei der Direkten Fotooxidation die Betriebskosten durch geringere Katalysatormengen und –temperaturen gegenüber einer KNV mit ca. 25 bis 75% deutlich reduzieren. Darüber hinaus lassen sich durch die wesentlich kleineren Regenerationsluftströme auch kleinere platzsparende Reinigungsmodule realisieren, was zusätzlich zu weiteren Einsparungen bei Invest und Betrieb führt.

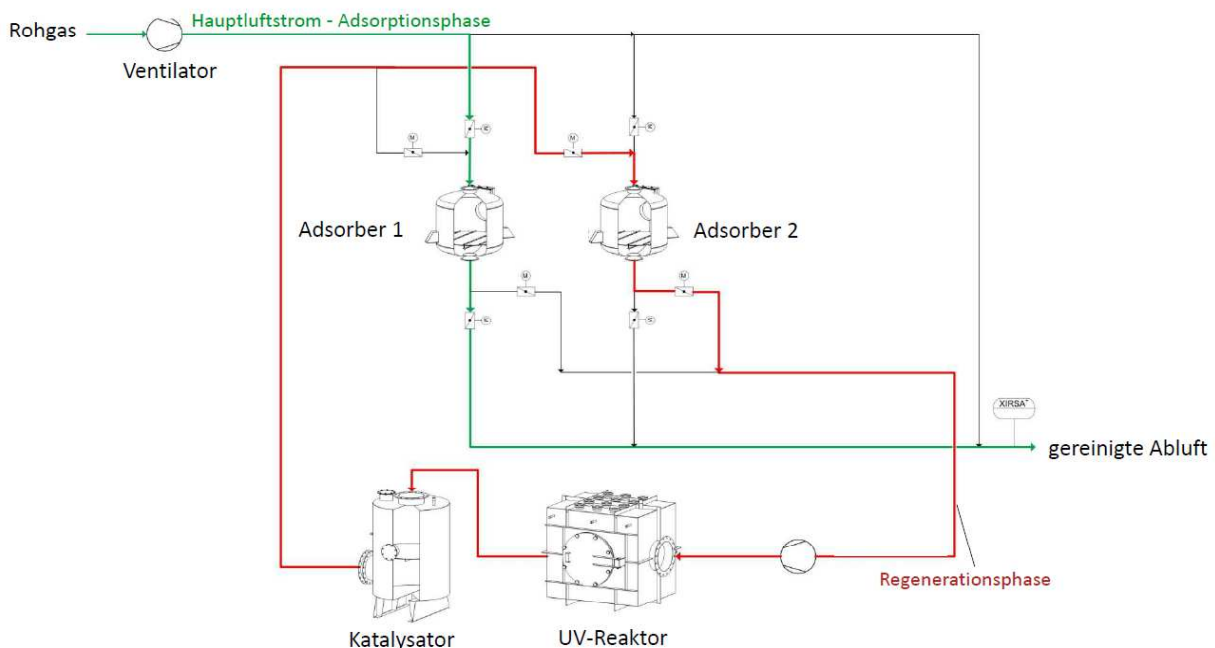


Bild 6: Fließschema Regenerative Fotooxidation mit zweistraßiger Adsorptionsfiltration (RF-AF) für Dreischichtbetrieb

Regenerative Fotooxidation mittels Adsorptionsfilter (RF-AF)

Bei der Regenerativen Fotooxidation mittels Adsorptionsfilter wird der VOC-belastete Hauptstrom wechselweise über zwei parallele Adsorptionsstufen (bei 24h-Betrieb) geführt

(Bild 6). Hierbei werden die schwankenden VOC-Frachten mit hohen oder niedrigen Schadstoffkonzentrationen komplett auf < Emissionsgrenzwert durch Adsorption mittels geeignetem Adsorptionsmittel abgeschieden. Die austretende Abluft erfüllt dauerhaft die geforderten Reinluftgrenzwerte.

Bereits vor Erschöpfung des Adsorptionsmittels wird auf die zweite parallele frische Adsorptionsstufe umgeschaltet. Die erste Stufe geht in eine UV-Betriebsphase im Regenerationskreislauf. Dieser Kreislauf wird mittels Gebläse betrieben. Die Kreislaufuft wird hierbei über eine UV-Stufe und anschließend über eine Katalysatorstufe geführt, bevor sie zurück in die Adsorptionsstufe gelangt. Durch den Energieeintrag der UV-Strahlung erwärmt sich die Kreislaufuft bis auf Betriebstemperaturen, die für die Desorption und Regeneration des Adsorptionsmittels sowie für den Betrieb der Katalysatorstufe erforderlich sind. Bei erhöhten Mediumtemperaturen werden die zuvor adsorbierten organischen Schadstoffe wieder aus der Adsorptionsstufe unter definierten Bedingungen schnell und gleichmäßig ausgetrieben und mit dem Kreislaufabluftstrom der UV-Fotooxidation mit nachgeschalteter Katalyse zugeführt. Hier werden diese dann abgebaut bis zur vollständigen Mineralisierung (CO_2 , H_2O). Durch diese Verfahrensweise lassen sich konstante und hohe VOC-Konzentrationen einstellen, welche die Effektivität der UV-Stufe drastisch erhöhen. Die schnelle Desorption führt zu deutlich kürzeren Regenerationszeiten gegenüber den Adsorptionszeiten. Nach Unterschreiten eines vorgegebenen Konzentrationswertes wird die UV-Stufe abgeschaltet. Die Adsorptionsstufe wird heruntergekühlt und steht dann regeneriert erneut für den Adsorptionsbetrieb im Standby bereit. Gewöhnlich werden die Systeme je nach Rohluftkonzentration für eine Regenerationsdauer von 15-35% der Adsorptionszeit ausgelegt.

Gegenüber der direkten Fotooxidation lassen sich durch diese Verfahrensweise enorme Einsparungen an Betriebsmitteln wie elektrischer Strom, Lampen und Katalysator erzielen. Neben der erhöhten Effektivität werden die wertintensiven Komponenten wie UV-Lampen und das eingesetzte Katalysatormaterial vor Belagsbildung, Vergiftung und Verblockung durch Aerosole, Stäube und sonstige aggressive Inhaltsstoffe im Hauptstrom geschützt. Dieses Verfahrensvariante kommt meist dann zum Einsatz, wenn sehr lange Standzeiten erwartet werden oder sogenannte Hochsieder-VOC eine Desorptionstemperatur von > 200°C erfordern. Für den Fall, dass zwischen den Betriebszeiten ausreichende Stillstandszeiten (z.B. 1- oder 2-Schichtbetrieb) zur Verfügung stehen, kann auch auf eine einstraßige Variante zurückgegriffen werden.

Regenerative Fotooxidation mittels Adsorptionsrad (RF-AR)

Für den Fall, dass keine Hochsieder mit Desorptionstemperaturen $> 200^{\circ}\text{C}$ in der Abluft zu erwarten sind, kann auch auf eine kontinuierliche Abreinigung des Adsorptionsmittels umgestiegen werden. Diese hat wiederum den Vorteil, dass der ständige Temperaturwechsel der Anlagenteile minimiert wird. Für einen Emissionsbetrieb für überwiegend niedrige bis mittlere bzw. stark schwankende Schadstoffkonzentrationen wird ein sogenanntes Adsorptionsrad eingesetzt, auch Regenerative Fotooxidation (RF) mittels Adsorptionsrad genannt (Bild 7).

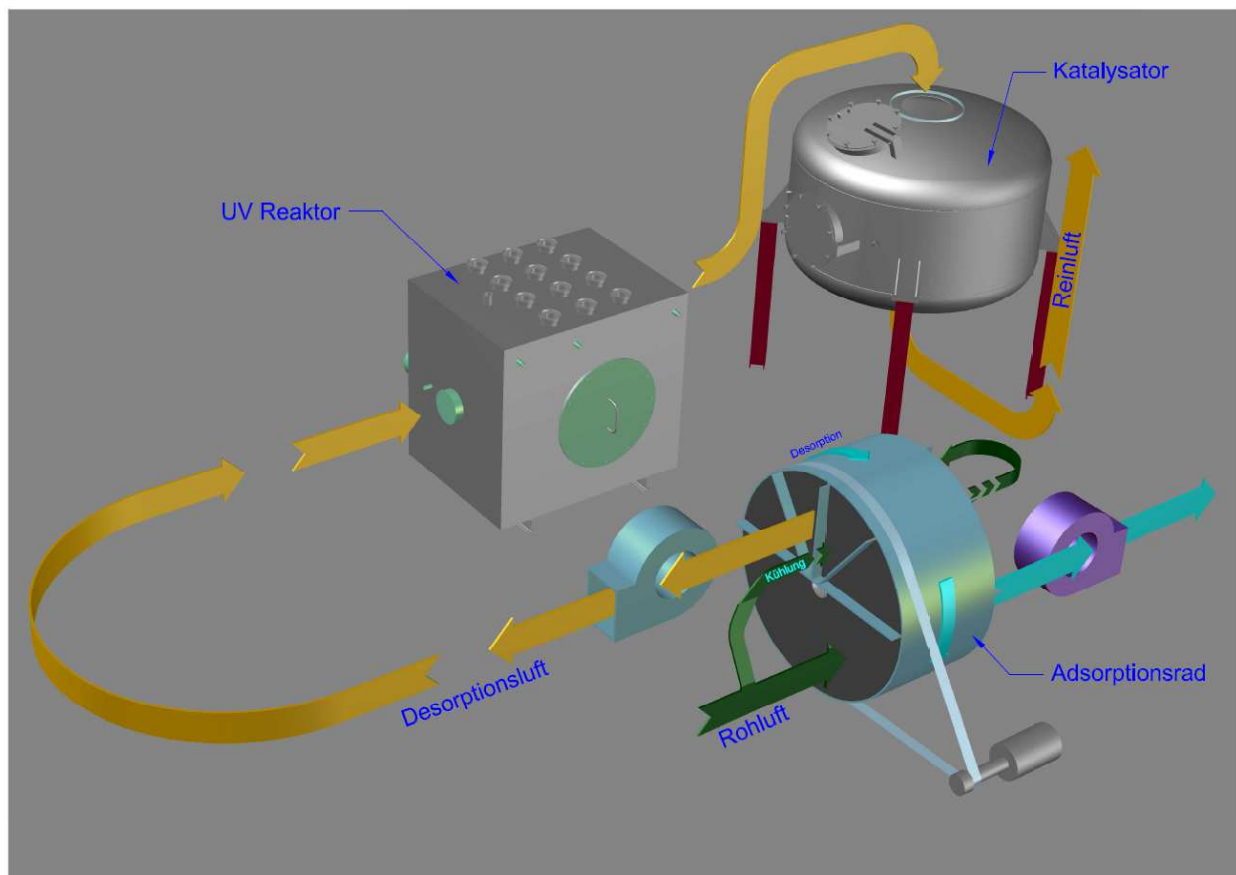


Bild 7: Funktionsschema Regenerative Fotooxidation (RF) mit Adsorptionsrad

Hierbei durchströmt der Rohluftstrom einen sich kontinuierlich drehenden Rotor aus Mineralfasern in axialer Richtung, der mit Adsorptionsmitteln (meist Zeolithe) besetzt ist. Hierbei entspricht die durchströmte anteilige Querschnittsfläche (Adsorptionszone) in etwa dem gewünschten Aufkonzentrierungsverhältnis. Die VOC der Rohluft werden auf den Adsorptionsmitteln abgeschieden. Der gereinigte Luftstrom entweicht. Ein Bruchteil der Rohluft durchströmt zuerst die sogenannte Kühlzone und kühlt den Teil des Rotors, der eben

die heiße Desorptionszone verlässt. Im weiteren Verlauf wird dieser Strom durch Rekuperatoren weiter erwärmt bis er heiß genug ist um durch die Desorptionszone die abgeschiedenen VOC in einer hohen gleichmäßigen Konzentration zu desorbieren. Dieser kleine konzentrierte Strom wird der Fotooxidationsstufe mit nachgeschalteter Katalysatorstufe zugeführt, gereinigt und ebenfalls emittiert.

3. Anwendungen

Die Bestrahlung mit UV-Licht für die Desinfektion ist seit langem bekannt und erprobt. Der Einsatz zum oxidativen Abbau von VOC und Gerüchen in der Luft gelang jedoch erst in den letzten Jahren bis zur Anwendungsreife. Neben den Anforderungen des Temperaturmanagements und der potentiellen Empfindlichkeit von UV-Lampen gegenüber Belagsbildung wie Feuchtigkeit waren die geringen Leistungsausbeuten und die aufwendige Energieversorgung als maßgebliche technische Hürden zu überwinden. Hierbei spielt die Entwicklung von speziell adaptierten Niederdruck- sowie leistungsstarken Mitteldruckstrahlern zur anwendungsbezogenen Erzeugung von VUV- und UVC-Strahlung eine bedeutsame Rolle. Die hieraus neu hervorgegangene Technologie *uviblox*[®] ist in der Lage auch komplexe Luftreinigungsaufgaben zur Senkung von Geruchs- und VOC-Emissionen zu übernehmen. Durch geschickte Kombination von Prozessschritten können weite Konzentrationsbereiche, konstant oder schwankend, mit Störstoffen oder nicht, zuverlässig behandelt werden.

3.1 Geruchselimination

Unangenehme Gerüche entstehen in vielen Prozessen der Industrie wie auch des öffentlichen Lebens. Die zu behandelten Stoffkonzentration liegen in der Rohluft meist zwischen 5 bis 100 mg/m³.

Die diffusen Emissionen sowie die gefassten Raumluftröme in Kompostwerken und Müllbehandlungsanlagen sind systembedingt Träger unangenehmer Gerüche und oft in der Nähe von Wohngebieten zu finden. Limonen, Buttersäure (beißend, Schweiß), Essigsäure (beißend, Essig) und sonst. Carbonsäuren müssen hier oxidiert werden.



Bild 8: Abwasserkanalbewetterung bis 3.000m³/h, Deutschland

In Kläranlagen entstehen durch offene Klärbecken oder Klärschlammbehandlungsanlagen geruchsintensive Emissionen, welche zu einer Geruchsbelästigung der Anwohner führen können (Bild 8 und 9). Meist sind hier Schwefelwasserstoff (faule Eier), Mercaptane, Sulfide und sonstige schwefelhaltige Kohlenwasserstoffe, Ammoniak (beißend, Urin) und Skatol (Kot) die Ursachen. Auch Deponien sind Verursacher dieser Art von Gerüchen.

In der Futtermittelproduktion und Tierhaltung und –verwertung kommen noch typische Geruchsstoffe wie Amine (Fisch), Cadaverin und Putrescin (Verwesung) und sonst. stickstoffhaltigen Kohlenwasserstoffe hinzu. Härtereien setzen Amine frei. In der Gummiindustrie sind Acrolein und Styrol (Brandgeruch) zu reduzieren.



Bild 9: Absaugung Rechenanlagen und gekapselte Klärbecken auf Kläranlage, 6.000m³/h, Deutschland

Aber auch vermeintlich angenehme Gerüche führen bei Dauerexposition und hohen Konzentrationen zur Belästigung. In der Lebensmittelproduktion, Restaurants/Großküchen werden Röststoffe, Speiseöle, Gewürze verarbeitet, Terpene und Terpenoide (Parfüme) und sonst. Duftstoffe in der Lifescience-Industrie. In der Chemischen Industrie und vielen anderen Industriezweigen sind Aromatische Kohlenwasserstoffe (Benzol, Toluol, Xylol), Aliphatische Kohlenwasserstoffe (Hexan, Ethylen, Butadien) und sonst. sauerstoffhaltige Kohlenwasserstoffe (Alkohole, Ether, Aldehyde, Ketone, Ester, Phenole) zu berücksichtigen (Bild 10).

Die Geruchselimination durch UV-Fotooxidation reduziert oder eliminiert sogar vollständig solche geruchsintensiven Stoffe zuverlässig. Die Stoffe werden dabei soweit oxidiert bis sie geruchsinaktiv werden bis hin zur vollständigen Oxidation. Das Ergebnis ist geruchlich unauffällige Abluft, die ohne weiteres in die Umwelt abgegeben werden kann. So wird diese Technik zunehmend in den vorgenannten Anwendungsfeldern bereits eingesetzt. Entscheidenden Einfluss auf die Auslegung und Dimensionierung können neben Volumenstrom, Schadstoffkonzentration und -zusammensetzung auch die Randbedingungen wie Emissionsverläufe, Explosionsschutz, Feuchtigkeit, Aerosole/Stäube, oxidierbare Störkomponenten und Energiekonzepte haben. Bei Kenntnis dieser Zusammenhänge können entsprechende Maßnahmen miteingeplant werden.

3.2 VOC-Reduktion

Hier gelten ähnliche Voraussetzungen wie für die Geruchselimination. Die wesentlichen Unterschiede bestehen darin, dass anstatt eines Teilabbaus immer die vollständige Oxidation zu CO_2 und H_2O die Reinigungsaufgabe darstellt. Auch liegen die Konzentrationsbereiche hier meist höher bei $50 - 10.000 \text{ mg/m}^3$. Produktionsbetriebe, die Lösungsmittel bei der Herstellung in Beschichtungsanlagen, Trocknungsanlagen, Coatingmaschinen, etc. einsetzen und lufttechnische Anlagen betreiben, emittieren VOC. Je nach Art und Anfall der Emissionen kommen hier verschiedene Verfahrenskombinationen (DF, RF) zum Einsatz.

Das Verfahren *uviblox*^{® GPT} wird vielfach erfolgreich eingesetzt in Industrien zur Produktion und Verarbeitung von Lebensmitteln und Kosmetik, Farben (Bild 12) und Lacken, Chemikalien, Pharmaka (Bild 1), Metall (Bild 11) und Automobile, Holz und Papier (Bild 10), Altlasten, Industrieabwasser, Kompost, Wertstoff und Müll.

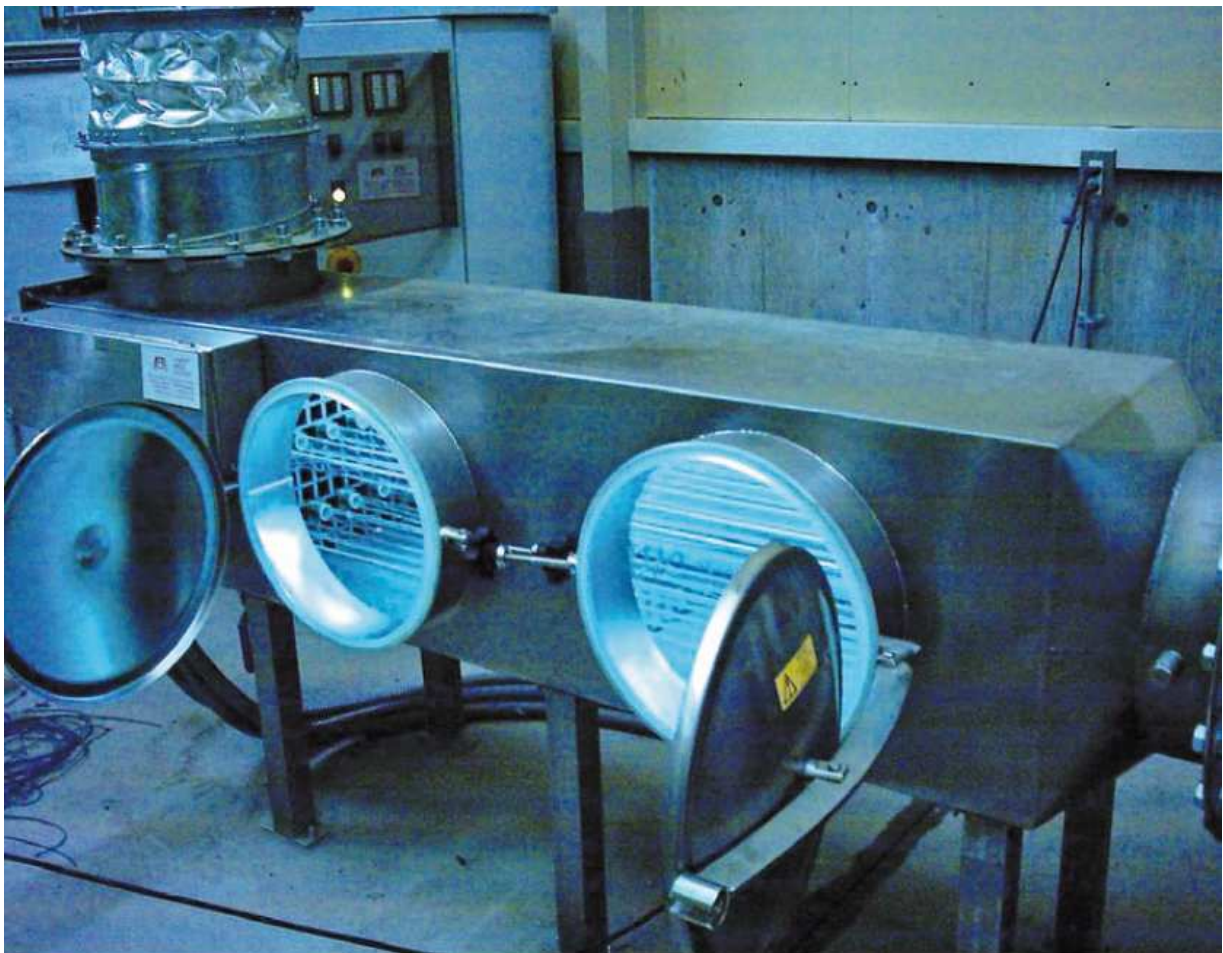


Bild 10: Kombinierte Geruchselimination mit VOC-Abbau von Formaldehyd und Aminen in Werststoffbehandlung in der Papierindustrie, $6.000\text{m}^3/\text{h}$, Japan

Ein japanisches Unternehmen der Papierindustrie betreibt eine Anlage zur Verwertung von Papier- und Kunststoffabfällen (Bild 10). Während dem Verdichtungs- und Pelletierprozess, der Überführung des formlosen Mülls in Pellets, entstehen beträchtliche Temperaturerhöhungen, infolge dessen große Mengen an Wasserdampf und Schadstoffen aus dem Material in den Kühlluftstrom von 6.000 m³/h übergehen. Die VOC sind hier Formaldehyd (40-50 ppm), Ammonia (100 ppm), Amine (50-80 ppm) und Styrene (50 ppm). Zur Schadstoff- und Geruchselimination des entstehenden Luftstroms wurde eine Abluftreinigungsanlage nach dem DF-Prinzip installiert, die neben einer effektiven Aerosol-/Kondensat- und Staubabscheidung eine Fotooxidationsstufe beinhaltet. Die Anforderung an die Reinigung begrenzte sich nicht nur auf die Schadstoffreduktion, sondern umfasste ebenso die Eliminierung von Gerüchen. Durch die verfahrenstechnische Einbindung in die vorhandene Anlagentechnik, sowie einem geringen Aufwand an Personal- und Betriebsmittelkosten konnte mit einer Leistung von 4,5 kW die Schadstoffreduktion bis auf kleiner 50 ppm reduziert und die entstehenden Gerüche eliminiert werden.

Ein Hersteller von Chemierohstoffen aus Steinkohlenteer, Petroteer und anderen Rohmaterialien betreibt eine biologische Kläranlage, aus welcher belastete Luftströme abgeleitet werden. Im Rahmen der Minderung der Emissionen gemäß VOC-Richtlinie ist die Firma verpflichtet, eine Abluftreinigungsanlage zu betreiben. Die bereits genehmigte und installierte Biofilteranlage war der Reinigungsaufgabe nicht gewachsen und musste ersetzt werden. Besonders die schwankenden Gehalte an BTEX-Aromaten und Alkylbenzolen (50-700 mgC/m³) wurden nicht zuverlässig zurückgehalten und abgebaut. Nach Rückbau wurde eine Fotooxidationsanlage nach dem RF-AF-Prinzip errichtet (Bild 11). Der feuchte Abluftstrom von ca. 14.000 m³/h wird zunächst mittels Tropfenabscheider und Aerosol/Staubfilter von mitgerissenen Partikeln befreit. Eine Vorfilterstufe mit jodimprägnierter Luftaktivkohle scheidet nicht auszuschließende geringe Konzentrationen an H₂S mittels Chemiesorption ab. Die organischen Schadstoffkonzentrationsverläufe sind schwankend und auf niedrigem Niveau. Der vorbehandelte VOC-belastete Hauptstrom von 14.000 m³/h wird wechselweise über zwei von drei parallelen Adsorptionsstufen geführt. Hierbei werden die schwankenden NMVOC-Frachten (non methane volatile organic compounds) komplett auf < 50 mgC/m³ (ohne Methan) durch Adsorption mittels geeignetem Adsorptionsmittel abgeschieden. Die austretende Abluft erfüllt dauerhaft die geforderten Reinluftgrenzwerte.



Bild 11: Abluftreinigung bzgl. BTEX-Aromaten und Alkylbenzolen in der Chemieindustrie, 14.000 m³/h, Deutschland

Bereits vor Erschöpfung des Adsorptionsmittels wird auf die dritte parallele frische Adsorptionsstufe umgeschaltet. Sichergestellt wird dies durch eine Onlinemessung am Anlagenausgang, welcher bei Erreichen eines bestimmten Messwertes ein Signal ausgibt. Die erste Stufe geht in eine UV-Betriebsphase im Regenerationskreislauf. Dieser Kreislauf wird im Gegenstrom mittels Ventilator betrieben. Die Kreislauluft wird hierbei über eine UV-Stufe und anschließend über eine Katalysatorstufe geführt, bevor sie zurück in die Adsorptionsstufe gelangt. Durch den Energieeintrag der UV-Strahlung erwärmt sich die Kreislauluft bis auf Betriebstemperaturen, die für die Desorption und Regeneration des Adsorptionsmittels sowie

für den Betrieb der Katalysatorstufe erforderlich sind. Bei bestimmten Mediumtemperaturen werden die zuvor adsorbierten organischen Schadstoffe wieder aus der Adsorptionsstufe unter definierten Bedingungen schnell und gleichmäßig ausgetrieben und mit dem Kreislaufabluftstrom der UV-Fotooxidation mit nachgeschalteter Katalyse zugeführt. Hier werden diese dann abgebaut bis zur vollständigen Mineralisierung (CO_2 , H_2O). Die Adsorptionsstufe wird heruntergekühlt und steht dann regeneriert erneut für den Adsorptionsbetrieb bereit.

Gegenüber der direkten Fotooxidation lassen sich durch die vorgeschlagene Verfahrensweise enorme Einsparungen an Betriebsmitteln wie elektrischer Strom, Lampen und Katalysator erzielen. Neben der erhöhten Effektivität werden die wertintensiven Komponenten wie UV-Lampen und das eingesetzte Katalysatormaterial weitgehend vor Belagsbildung, Vergiftung und Verblockung durch Aerosole, Stäube und sonstige aggressive Inhaltsstoffe im Hauptstrom geschützt. Die zuverlässige Regelung der Lufteingangstemperatur am Adsorber wird mittels Luft-Luft-Wärmetauscher und Lampenregelung sichergestellt. Die hierbei zurück gewonnene Energie steht in Form von Warmluft während der Regeneration zur Verfügung.

Ein Unternehmen der Pharmaindustrie in der Schweiz stellt Fertigarzneimittel her und ist spezialisiert in der Entwicklung und Herstellung von festen Darreichungsformen bis hin zur Primär- und Sekundärverpackung, einschliesslich der Herstellung und der Verpackung von klinischen Prüfmustern. Bei der pharmazeutischen Granulierung/Wirbelschichttrocknung werden Lösemittel aufgesprüht und gelangen so mit der Abluft in die Umgebung. Hierbei werden Emissionen an VOC (volatile organic compounds) in erheblichen Maße erzeugt. Hauptbestandteile sind aktuell Ethanol, zukünftig auch durch eine Produktionserweiterung Aceton und Isopropanol mit einer Schadstoffkonzentration bis zu 7.000 mgC/Nm^3 und einem Volumenstrom von bis zu $18.000 \text{ Nm}^3/\text{h}$. Es wurde eine Anlage nach dem DF-Prinzip mit nachgeschalteter Katalyse gemäß den behördlichen Auflagen in Dachaufstellung errichtet, optimiert und abgenommen (Bild 1).

Ein Unternehmen der Rüstungsindustrie stellt u.a. Granathülsen her. Bei den Prozessen der Lackierung und Imprägnierung geraten überwiegend Xylole, Acetate und Alkohole in die Abluft. Eine 20 Jahre alte TNV wurde rückgebaut und durch eine Fotooxidationsanlage mit einer Kombination aus DF und RF-AR mit höherer Förderleistung ersetzt (Bild 12). Hierbei wurde die Anlage komplett in die bestehende Anlagenhalle eingebunden. Nun können bis zu

6.000 m³/h Abluft mit unterschiedlichsten Konzentrationen (0 bis 11.000 mg/m³) aus verschiedenen Emissionsstellen gleichzeitig gereinigt werden.



Bild 12: Abbau von Xylenen, Acetaten und Alkoholen in der Rüstungsindustrie, 6.000m³/h, Deutschland

Ein Unternehmen der Druckfarbenherstellung in der Schweiz sammelt die Raumlufte aus verschiedenen Bereichen des Werkes und führt sie zusammen mit Abluftströmen aus der Gebindereinigung (ca. 20.000 m³/h) einer Fotooxidationsanlage nach dem RF-AR-Prinzip zu (Bild 13). Die VOCs setzen sich aus Alkoholen, Acetaten und Ketonen zusammen und schwanken zwischen 150 und 500mg/m³. Die hohen Emissionsspitzen aus der Gebindereinigung werden zuvor über eine Glättungsstufe geführt. Die Anlage wurde komplett in Dachaufstellung realisiert.

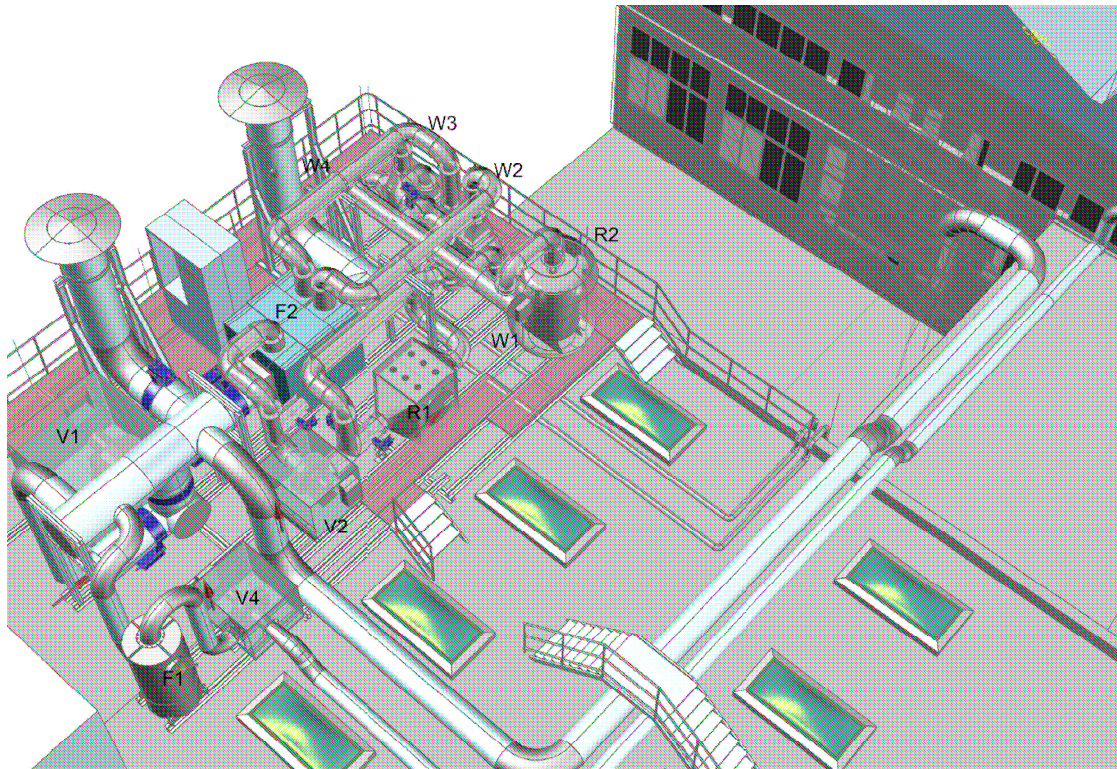


Bild 13: Abbau von Alkoholen, Acetaten und Ketonen in der Farbenindustrie, 20.000m³/h, Schweiz

Fazit

Die verschiedenen Anwendungsbeispiele zeigen Leistungs- und Anpassungsfähigkeit der neuen Fotooxidation. Die Technik der Fotooxidation ist platzsparend, flexibel und einfach steuerbar, modular erweiterbar und betriebskostensparend. Die Behandlung ist CO₂-emissionsneutral. Die Fotooxidation zählt zu den Niedertemperaturplasmaverfahren und wird in der neuen VDI-Richtlinie 2441 [4] als Leitfaden für Planer und Anwender beschrieben.

Quellen

- [1] IBL Umwelt- und Biotechnik GmbH, Absorptionsspektren, Heidelberg, 2005
- [2] Haraeus Noble Light, Produktinformation UV-Lampen, 2013
- [3] Philips Lighting, Produktinformation UV-Lampen, 1994
- [4] VDI-Richtlinie 2441: Prozessgas- und Abgasreinigung durch Kaltplasmaverfahren, Gründruck, 2014