

**Autor**

Dipl.-Ing (FH) Jürgen Feld

Versorgungstechnik, Zibell Willner  
& Partner, Bochum,Planung und Bauleitung Heizung,  
Kälte, Raumlufttechnik

Bild 1: Ansicht der Verwaltung und der angrenzenden Produktion

# Abluftreinigung durch Fotooxidation

## Luftaufbereitung bei einem Automobilzulieferer

**Um die gesetzlichen Bestimmungen zur Reinhaltung der Luft beim Einsatz von organischen Lösungsmitteln in Druckprozessen auf Kunststoff- und Aluminiumflächen zu erfüllen, wird eine Abluftbehandlungsanlage auf Basis der Fotooxidation eingesetzt, die auch stark schwankende Belastungen die Abluft auf das vorgeschriebene Maß reduziert. Beim Neubau des Produktions- und Verwaltungsstandortes eines Automobilzulieferers wurde eine Abluftreinigung notwendig. Dabei wurde auf die Erfüllung wirtschaftlicher Anforderungen hoher Wert gelegt.**

Die Spezialisierung von CD-Design in Solingen auf die Automobilindustrie und die enge Zusammenarbeit mit Fahrzeug- und Zubehörherstellern weltweit führt zu hohen Qualitätsansprüchen für die Gestaltung und Fertigung anwenderspezifischer Folien- und Aluminiumlösungen. Daher war es wichtig, eine Lösung zu finden, die sowohl die gesetzlichen Vorgaben als auch die wirtschaftlichen Anforderungen sicher erfüllt.

**Reinigungsverfahren**

Bekannt ist die Fotosynthese, mit Hilfe derer Pflanzen aus Kohlendioxid und Wasser Kohlehydrate und Sauerstoff erzeugen unter Zuführung von Sonnenenergie. Wir kennen aber auch den umgekehrten Vorgang der Fotooxidation, bei dem organische Stoffe in Wasser (H<sub>2</sub>O) und Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) aufgespalten werden. Dieser Vorgang eignet sich hervorragend zur Reinigung von Luft, die mit organischen Stoffen belastet ist, wie z. B. Küchenfortluft oder lösungsmittelbeladene Luft.

Bei der Fotooxidation wird die belastete Luft mit ultraviolettem Licht bestrahlt und dadurch die Kohlenstoffverbindung in Wasser und Kohlendioxid aufgespalten. Zusätzlich wirken Sauerstoff und Hydroxidradikale, die ebenfalls durch die UV-Licht-Bestrahlung gebildet werden, als Oxidationsmittel. Ein nachgeschalteter Katalysator steigert die Effizienz des Verfahrens. Optimale Betriebsbedingungen für die Fotooxidation sind Ablufttemperaturen zwischen 20 °C und 50 °C sowie Luftfeuchtigkeiten nicht höher als 85 % relativer Feuchte.

**Produktionsprozess**

Bei der Produktion fallen in der Siebdruckerei und Metallbeschichtung größere Mengen von Lösungsmitteln in der Abluft aus den Farbauftragskabinen und Umlufttrocknern in wechselnder Konzentration an.

Durch das staatliche Umweltamt Düsseldorf wurde für den Bereich der Dünnbeschichtung der Emissionsgrenzwert von 100 mg/m<sup>3</sup> organischer Verbindungen, angegeben als Gesamtkohlenstoff, für gefasste behandelte Abgase, gemäß der 31. BImSchV, festgesetzt. Dies ist bei auftretenden Mengen zwischen 200 und 800 mg/m<sup>3</sup> im Rohgas nur durch eine Abluftreinigungsanlage zu erreichen.

**Systemauswahl**

Zur Systemfindung wurden im Zuge der Planung der Abluftreinigungsanlage folgende Systeme verglichen:

- Thermische Nachverbrennung,
- Katalytische Nachverbrennung,
- Adsorption durch Aktivkohle,
- Biologische Abluftreinigung,
- Fotooxidation,

Bewertungskriterien waren zum einen die Betriebssicherheit, die Investitionskosten und vor allem die jährlichen Aufwendungen für Wartung, Reparatur und Energieverbrauch. Unter diesen Aspekten wurden die verschiedenen Verfahren betrachtet:

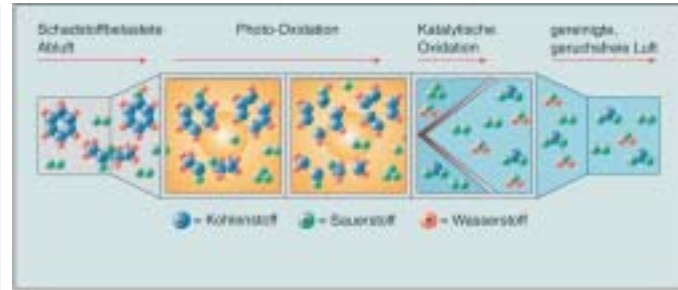


Bild 2: Schematische Darstellung der Fotooxidation



Bild 3: Dachansicht der Abluftreinigungsanlage

Thermische Nachverbrennung: Hier ist die Zuführung von thermischer Energie notwendig, um die Verbrennung auch bei wechselnden Lasten zu gewährleisten, dadurch entstehen Kosten für die Gaslieferung.

Katalytische Nachverbrennung: Um die Verbrennung auch bei wechselnden Lasten zu gewährleisten, ist die Zuführung von thermischer Energie notwendig. Diese erfolgt auf niedrigerem Niveau als bei der Thermischen Nachverbrennung, bei etwa 300 °C. Es entstehen ebenfalls laufende Kosten durch Gasverbrauch und für den Austausch der Katalysatoren, deren Standzeit noch nicht ausreichend erprobt ist.

Adsorption durch Aktivkohle: Der Austausch oder die Entsorgung der Aktivkohle-Filter ist ab einem bestimmten Belastungsgrad notwendig. Dieser ist bei wechselnden Belastungen nur schwer abzuschätzen und führt zu Entsorgungszyklen, die notwendigerweise kürzer als

die tatsächlich technisch möglichen sind. Es fallen daher regelmäßige Entsorgungskosten an. Die Standzeiten der Katalysatoren sind daher kurz. Der hohe Druckabfall im Filter ist ebenfalls zu betrachten.

Biologische Abluftreinigung: Durch die wechselnden Konzentrationen ist die kontinuierliche Versorgung des Biofilms nicht gewährleistet, auch sind die Temperaturen des Abgases teilweise zu hoch (Spitzenbelastung durch die Ofenabluft mit mehr als 60 °C).

Oxidation durch aktivierten Sauerstoff (Fotooxidation): Erzeugung des notwendigen aktivierten Sauerstoffs durch UV-Strahler, unter Einsatz von elektrischem Strom. Laufende Kosten ergeben sich aus dem notwendigen Austausch der Leuchtmittel und der Nachkatalysatoren. Die unterschiedlichen Kosten wurden für die katalytische Nachverbrennung und für die thermische Nachverbrennung ermittelt und mit den Kosten der Fotooxidation verglichen.

Tabelle 1: Systemvergleich Abluftreinigung

Abluftreinigungssystem	Investitionskosten / €	Energiekosten		Wartung / €/a
		Gas / €/a	Strom / €/a	
Thermische Nachverbrennung	250 000	5000	800	Brenner 2000 € Brennkammer 1000 € Dies ergibt jährlich: 3000 €
Katalytische Verbrennung	300 000	Bei 1,5 bis 12 m³/h 3000	800	Brenner 2000 € Brennkammer 1000 € Austausch Katalysator ca. alle drei Jahre 40 000 € Dies ergibt jährlich: 16 500 €
Adsorption Aktivkohle	55 000			Katalysator je Austausch 10 000 €, je nach Belastung 4 bis 6 pro Jahr Dies ergibt jährlich: 40 000 €
Fotooxidation	125 000			Katalysator Lebensdauer 2000 h: 7000 € Leuchtmittel Lebensdauer 8000 h: 12 000 € Dies ergibt jährlich: 9200 €

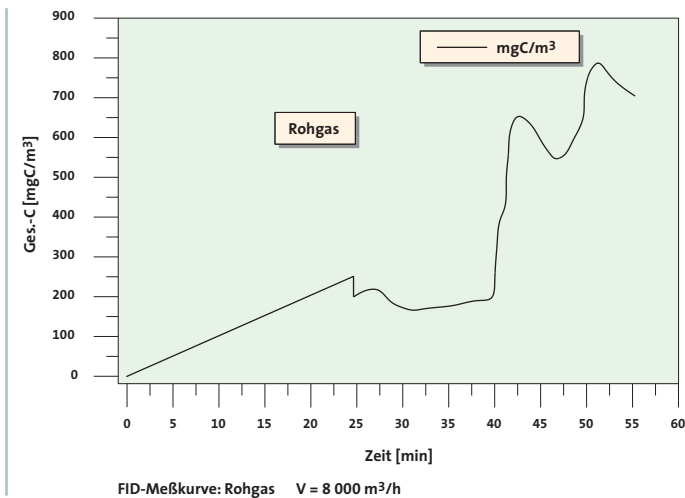


Bild 4: Abbaukurve Rohgas und ...

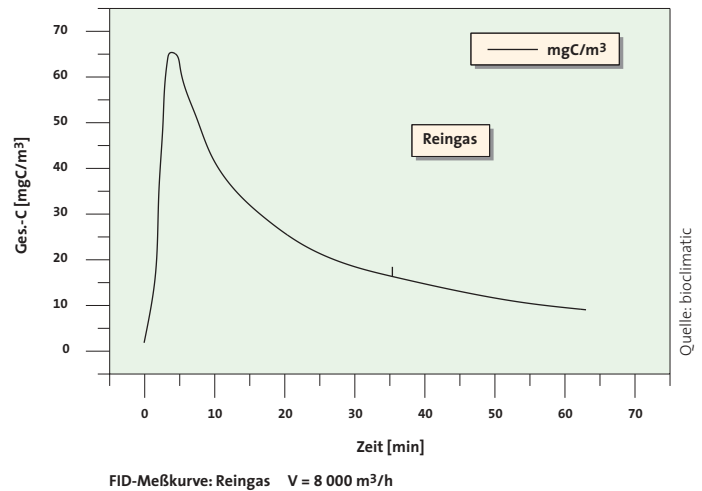


Bild 5: Reingas

**Abluftparameter:**

- Volumenstrom: 8000 bis 10 000 m<sup>3</sup>/h
- Gesamtkohlenstoffbelastung: 50 bis 800 mg/m<sup>3</sup>
- Temperatur: 20 bis 70 °C
- Feuchte: bis 70 % r. F.
- Betriebszeit: 2200 h/a

Beim Vergleich der Stromkosten enthalten diese nicht die Ventilatorleistung für den Anlagendruckverlust der Abluftanlage selber, sondern nur für zusätzliche Druckverluste in der Abluftreinigung. Die Investitions-, Energie- und Wartungskosten für die Systeme sind in der Systemfindungsphase durch CD-Design und ZWP als Kostenschätzung ermittelt worden.

Mit den zweitgeringsten Investitionskosten, nur unterboten durch die Adsorption mit Aktivkohle und den zweitgeringsten jährlichen Kosten, stellt die Fotooxidation im betrachteten Projekt die wirtschaftlichste Lösung dar.

**Anlagenauslegung**

Die Festlegungen zur Anlagengröße ergaben sich aus der Übertragung der Ergebnisse eines Versuches auf die Gesamtanlage. Der Versuch wurde mittels einer mobilen Abluftbehandlungsanlage durchgeführt. Diese wurde an einen Trockenofen im bisherigen Betriebsstandort angeschlossen. Dann wurden typische Trocknungsvorgänge durchgeführt. Hieraus konnten die Abbauraten für typische Abluftzusammensetzungen in den verschiedenen Betriebszuständen der Trockenöfen ermittelt werden. Aufgenommen wurden Temperatur, relative Feuchte und Gehalt an Gesamtkohlenstoff.

Während der Versuche wurde die relative Luftfeuchtigkeit protokolliert, da die Oxidationsmodule und der Katalysator bei Luftfeuchtigkeit über 85 % relativer Feuchte nicht mehr die notwendige Leistung erreichen.

**Die einzelnen Phasen der Trocknung sind:**

- Beladung des Ofens,
- Aufheizen mit kleiner Abluftmenge und steigender Ablufttemperatur,
- Trocknen mit kleiner Abluftmenge und hoher Temperatur und großem Gehalt an organisch gebundenem Kohlenstoff,
- Abkühlen mit großer Abluftmenge und abnehmender Ablufttempe-

ratur und abnehmendem Gehalt an organisch gebundenem Kohlenstoff bis zum Entladen des Ofens.

Die gemessenen Temperaturen von bis zu 70 °C erfordern die Kühlung der Abluft vor Eintritt in die Reinigungsanlage, da diese für Temperaturen bis 40 °C ausgelegt ist.

Die Anlagengröße ist entsprechend den abzusaugenden wechselnden Luftmengen aus den Öfen mit einer Abluftmenge zwischen 5500 bis 10 300 m<sup>3</sup>/h festgelegt worden, je nach Größe und Anzahl der benutzten Öfen. Zu diesem Zweck ist der Volumenstrom mittels eines Frequenzumrichters regelbar. Die Regelung erfolgt durch die Betriebsmeldungen der angeschlossenen Öfen und Kabinen. Der mittlere Betriebsvolumenstrom beträgt 8300 m<sup>3</sup>/h bei einem Druckverlust der Anlagenteile von max. 1000 Pa.

**Funktionsbeschreibung der Anlage**

Die belastete Abluft mit Konzentrationen von 200 bis 800 mg C/m<sup>3</sup> wird durch einen Reaktionskanal geleitet, in dem kurzwelliges Licht (UV-Licht) eine chemische Reaktion einleitet, die die Moleküle aufbricht und durch gleichzeitig erzeugte Sauerstoffradikale und Ozon oxidiert. Hierbei entstehen aus organischen Verbindungen, wie in diesem Fall Lösungsmittel, H<sub>2</sub>O und CO<sub>2</sub>.

Im nachgeschalteten Katalysator werden schwer oxidierbare organische Verbindungen und überschüssiges Ozon abgebaut. Dieser Prozess führt zur deutlichen Verminderung der Belastung der Abluft und zur Einhaltung der umweltrechtlichen Vorgaben.

**Die Anlage ist aus folgenden Modulen aufgebaut:**

- Schalldämpfer als Kulissenschalldämpfer.
- Ansaugstutzen mit motorischer Klappe zur Regelung des Frischluftanteiles zur Kühlung der Abluft aus den Öfen in den Lastfällen, wenn die Kühlung durch die adiabate Luftkühlung nicht ausreicht.
- Adiabate Luftkühlung im Mischluftmodul zur Absenkung der Ablufttemperatur auf 40 °C, die Kühlung erfolgt mittels Kaltwasser, welches durch Düsen zerstäubt wird, wobei ein Tropfenabscheider überschüssiges Wasser vor den nächsten Modulen abfängt. Der außen liegende Teil der Zuleitung wird mittels zweier Magnetventile zum Betrieb der adiabaten Kühlung gefüllt und ansonsten zum Frostschutz

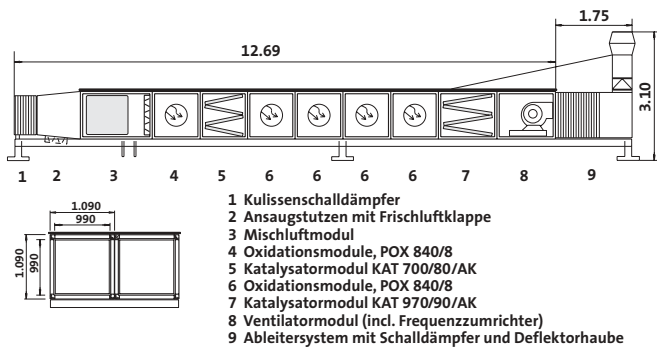


Bild 6: Anlagenskizze, bioclimatic

entleert. Die relative Feuchte steigt auf ca. 80 %, da eine höhere Luftfeuchtigkeit für die nachfolgenden Module nachteilig ist.

- Oxidationsmodul, das Modul beinhaltet die UV-Strahler, die Revisionstüren sind mit Kontaktschaltern ausgestattet, die die Strahler beim Öffnen der Türen sofort abschalten.
- Katalysatormodul, der Zwischenkatalysator dient zum ersten Abbau, die zweistufige Konstruktion wurde durch die zeitweise hohe Belastung der Abluft notwendig.
- Oxidationsmodul, Aufbau wie oben, jedoch mit einer größeren Anzahl von Leuchtmitteln.
- Katalysatormodul, Aufbau wie oben.
- Ventilatormodul.

- Fortlufthaube, mit Schalldämpfer, die Austrittsgeschwindigkeit beträgt bei der Mindestluftmenge 10 m/s, wie vom Umweltamt gefordert.

Die Anlage wurde durch das Unternehmen bioclimatic ([www.bioclimatic.de](http://www.bioclimatic.de)) erstellt. Die Investitionskosten für die Abluftreinigung betragen etwa 133 000 €. Bei einer jährlichen Betriebszeit von 2200 h betragen die Energiekosten ca. 3000 €/a und die Wartungskosten ca. 10 000 €/a. Die Höhe der Wartungskosten ist bedingt durch die Erneuerung der Oxidationstrahler nach 8000 Betriebsstunden und den Austausch der Katalysatoren nach 2000 Betriebsstunden.

Die Anlage ist seit mehr als zwei Jahren in Betrieb und die Erfahrungen bestätigen die Erwartungen. Die Wartungsintervalle und damit die Kosten der Wartung werden eingehalten und müssen nicht verkürzt werden. Die regelmäßigen Messungen zum Nachweis der Einhaltung des Grenzwertes sind erfolgreich durchgeführt worden.

## Literatur

- [1] Unternehmensdarstellung CD-Design GmbH, Solingen
- [2] Anlagenbeschreibung bioclimatic GmbH, Bad Nenndorf