

MBA-Abluftreinigung mittels nichtkatalytischer Oxidation - Kosten und Optimierungspotentiale

R. Kahn

43 Ausgangssituation

Das Umweltbundesamt wurde vom Bundesministerium für Umwelt beauftragt, Zulassungsbedingungen bzw. Genehmigungskriterien zu erarbeiten, die es ermöglichen, MBA-Anlagen auf einem ökologisch vertretbaren Niveau bundesweit einheitlich zu genehmigen. Diese Zulassungsbedingungen wurden erstmals im Bericht des Umweltbundesamtes vom Juli 1999 formuliert. Zusammenfassend konkretisiert wurde diese Thematik mit dem Eckpunktepapier zur Änderung der TA-Siedlungsabfall (WAlI4-30 112/1, Bonn 09.02.2000) und mit Veröffentlichung in WLB 1-2/2000 durch Herrn Wolfgang Butz (Umweltbundesamt).

Da die Parameter ausreichend bekannt sind, sollen sie an dieser Stelle nicht wiederholt werden. Die maßgeblich relevante Emissionsquelle stellt dabei die Abluft solcher Anlagen dar. Erstmals wurde hier eine frachtbezogene Emissionsbegrenzung eingeführt, um eine Vergleichbarkeit zwischen unterschiedlichen Verfahrensvarianten zu erhalten.

44 Abluftinhaltsstoffe

In Untersuchungen des BMBF-Verbundvorhabens MBA (Cuhls et al, 1999) wurde eine Stoffliste mit MBA-Leitkomponenten erarbeitet. Diese lassen sich in der Regel mit geringem Aufwand analytisch messen und stellen die wesentlichen Emissionsfrachten des Abluftstromes dar:

- Methan und Ammoniak
- Methanol, Ethanol und weitere Alkohole
- Hexan bis Tridekan (n-Alkane)
- Toluol, Ethylbenzol, Xylole und weitere aromatische Kohlenwasserstoffe
- Dichlormethan, Trichlorethen, Tetrachlorethen (CKW)

- Trichlorfluormethan (R11), Dichlordifluormethan (R12), (FCKW)
- α -Pinen, β -Pinen, Limonen (Terpene)
- Acetaldehyd (Aldehyde)
- Aceton, 2-Butanon (Ketone)
- Dimethylsulfid, Dimethyldisulfid

Das Vorhandensein o. g. Abluftinhaltsstoffe, gepaart mit den maximal zulässigen Emissionswerten erfordert eine hohe Reinigungsleistung. Die verfahrenstechnische Lösung dieser Reinigungsanforderung ist mit thermischen Verfahren erzielbar.

45 Abluftreinigung mittels nichtkatalytischer Oxidation

Mit dem Verfahren der nichtkatalytischen Oxidation können die zukünftigen Anforderungen an die Abluftreinigung von MBA-Anlagen bereits heute zuverlässig eingehalten werden. Je nach Anforderungsprofil hinsichtlich Eingangskonzentrationen der Schadstoffe und der geforderten Reingaskonzentration läßt sich die verfahrenstechnische Realisierung der nichtkatalytischen Oxidation auslegen.

Abhängig von dieser verfahrenstechnischen Auslegung und der Eingangsparameter auf der zu behandelnden Abluftseite läßt sich die Abluftreinigung ab einem Energieinhalt von 70 KJ/m³ durchführen. Auf das Optimierungspotential hinsichtlich Abluftmengen und Abluftkonzentrationen soll später noch eingegangen werden.

46 Verfahrensbeschreibung

Bei der nichtkatalytischen Oxidation in der Haase-VocsiBox[®] wird ein Abluft- oder Schwachgasstrom über ein Reaktorbett geleitet. Bei Temperaturen von etwa 1.000 °C werden organische Verbindungen nahezu vollständig oxidiert. Dies geschieht flammenlos (kein zusätzliches Brennersystem für Aufheizbetrieb und Stützfeuerung) und daher NO_x-arm.

Durch Umschalten der Strömungsrichtung wirkt das Reaktorbett als rekuperativer Wärmetauscher. Das Temperaturprofil des Reaktors ist qualitativ in Bild 1 dargestellt. Der Abluftstrom wird im Reaktorbett zuerst erwärmt. Bei genügend hoher Temperatur oxidieren die organischen Inhaltsstoffe, wobei Wärme frei wird. Das heiße Abgas kühlt sich ab. Dabei wird der Energieinhalt der gereinigten Abluft im Reaktorbett gespeichert und hält so den Reaktor auf Betriebstemperatur.

Aufgrund der endlichen Wärmetauscherfläche bzw. Reaktorabmessungen verläßt die gereinigte Abluft den Reaktor jedoch etwas wärmer als sie zuströmt (Temperaturdifferenz Δt in Abb. 1). Enthält die zu reinigende Abluft genügend oxidierbare Inhaltsstoffe, so werden die Abgas- und Abstrahlungsverluste durch die Reaktionswärme gedeckt. Der Prozeß verläuft dann nach der Anfahrphase autotherm; ansonsten ist eine Stützfeuerung nötig. Diese wird nicht mit einem zusätzlichen Brennersystem realisiert, sondern das Stützgas wird in genau dosierter Menge dem zu behandelnden Abluftstrom beigemischt.

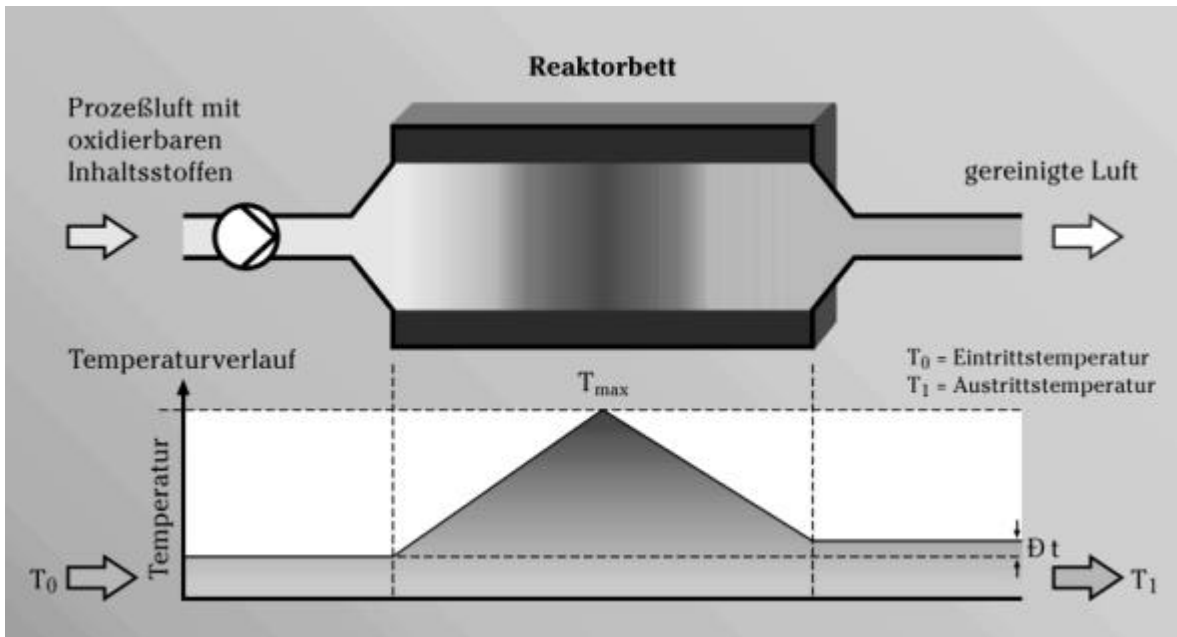


Abb. 1 Temperaturverlauf im Reaktorbett der VocsiBox®

Modulare Anlagen für Volumenströme von 500 Nm³/h bis 45.000 Nm³/h je Modul sind verfügbar. Abbildung 2 zeigt zur Verdeutlichung des Verfahrens das Schnittbild einer Anlage zur nichtkatalytischen Oxidation.

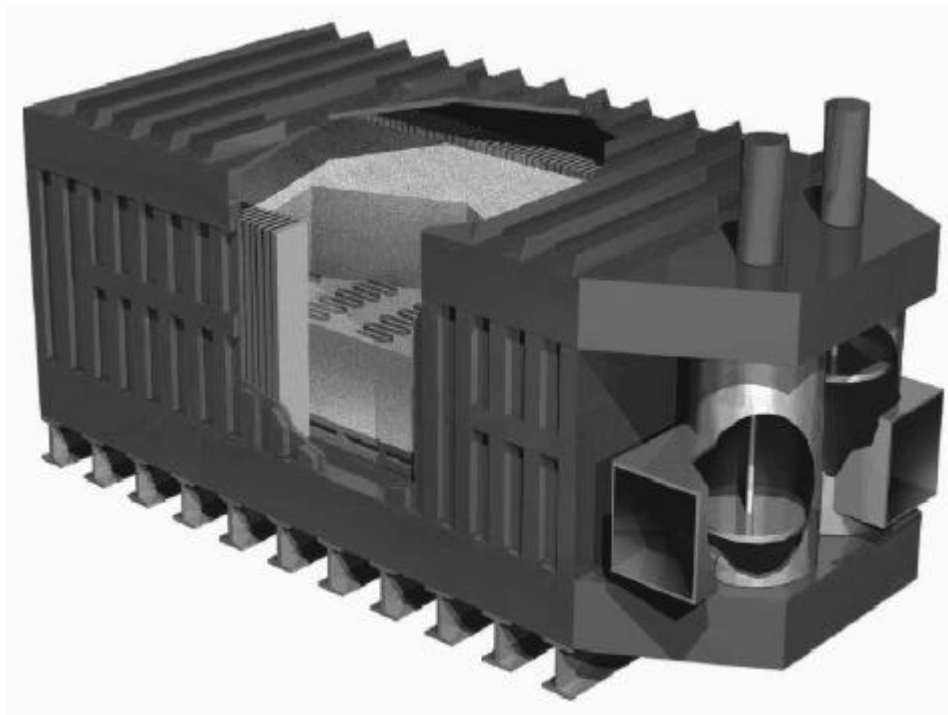


Abb. 2 Schnittbild durch den Reaktor der VocsiBox®

47 Kosten der nichtkatalytischen Oxidation

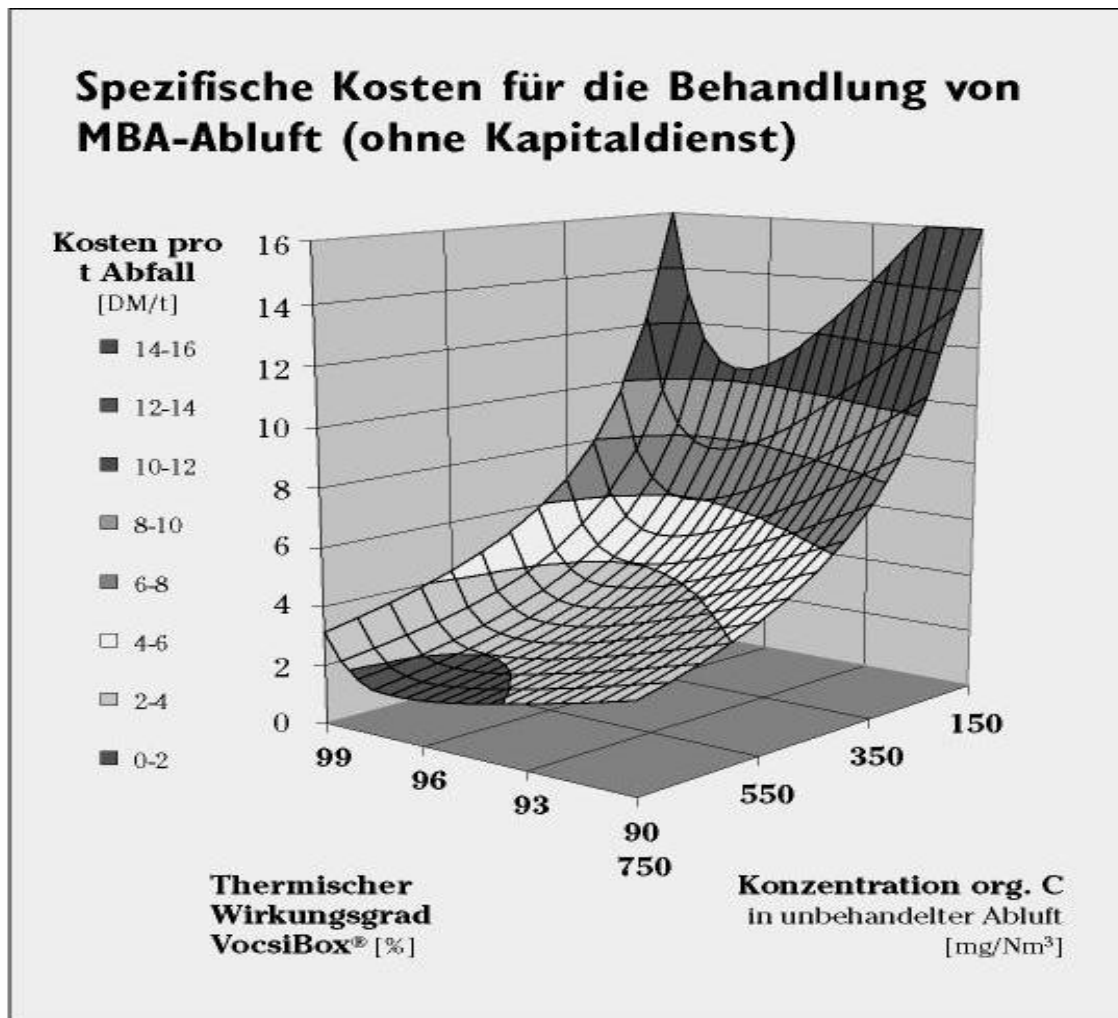
Im Fall der MBA-Abluftbehandlung muß aufgrund des niedrigen Brennstoffgehaltes der zu behandelnden Abluft in der Regel Stützgas in Form von Erd-, Flüssig-, Bio- oder Deponiegas zugeführt werden.

Legt man einen spezifischen Abluftvolumenstrom von $10.000 \text{ m}^3/\text{Mg}_{\text{Input}}$ und einen Kohlenstoffgehalt der Abluft von $150 \text{ mg}/\text{m}^3$ zugrunde, so liegen die laufenden Energiekosten für Erdgas zur Stützfeuerung und elektrischen Strom zur Überwindung der anlagebedingten Druckverluste in der Größenordnung von $10\text{-}12 \text{ DM}/\text{Mg}_{\text{Input}}$.

Abbildung 3 stellt die laufenden Energiekosten für Strom und Erdgas als Funktion der Schadstoffbelastung der Rohluft, angegeben in Kohlenstoffgehalt mg/m^3 , und des thermischen Wirkungsgrades des rekuperativen Reaktorbettes an.

Speziell bei niedrigem Kohlenstoffgehalt der Abluft sieht man ein ausgeprägtes Minimum der laufenden Kosten als Funktion des thermischen Wirkungsgrades. Während mit fallendem thermischen Wirkungsgrad die Stützfeuerungskosten steigen, steigen mit zunehmendem Wirkungsgrad die Stromkosten, da der höhere thermische Wirkungsgrad bei endlicher Anlagengröße mit höheren Druckverlusten erkauft werden muß. Die Lage des Minimums ist von der Auslegung und von den Investitionskosten der Anlagen abhängig.

Abbildung 3 zeigt zudem eine deutliche Abnahme der Energiekosten mit Zunahme des Kohlenstoffgehalts, also des Brennwertes, der Abluft. Dabei wurde rechnerisch ein Abluftmanagement zugrunde gelegt. Eine Verdopplung des Kohlenstoffgehaltes geht einher mit einer Halbierung des spezifischen Luftbedarfs. Die Energiekosten sinken daher überproportional. Bei einem Kohlenstoffgehalt von $300 \text{ mg}/\text{m}^3$ liegen sie nur noch bei ca. $4 \text{ DM}/\text{Mg}_{\text{Input}}$. Bei noch höheren Schadstoffgehalten und niedrigeren spezifischen Abluftmengen ergeben sich Energiekosten von weniger als $2 \text{ DM}/\text{Mg}_{\text{Input}}$.



Der Abbildung liegen folgende Parameter zugrunde:
 10.000 m³ Abluft pro Mg Abfall bei 150 mg TOC/m³ im Durchluftbetrieb ohne Kreislaufführung.
 Strompreis: 0,135 DM/kWh; Erdgaspreis: 0,045 DM/kWh

Abb. 3 Spezifische Behandlungskosten

Für einen wirtschaftlichen Einsatz der nichtkatalytischen Oxidation sollte daher die Abluftmenge des Gesamtsystems minimiert sowie der Schadstoff- und Methangehalt maximiert werden. Dies bedeutet aber eine möglichst hohe Schadstoffanreicherung und steht zunächst im Widerspruch zur früheren Auslegungspraxis von Rotteverfahren.

Während die v. g. Optimierung bei bereits bestehenden Anlagen einen beträchtlichen investiven Aufwand zur Folge haben kann, halten sich die Zusatzkosten bei Neuanlagen in einem durchaus vertretbaren Rahmen und können betriebswirtschaftlich betrachtet sogar zur Kostenminimierung der spezifischen Behandlungskosten führen.

48 Reduzierung der spezifischen Abluftmenge

Herkömmliche Auslegungen zur Luftführung bei Rotte- und Kompostierungsverfahren legten eine Ablufttemperatur von weniger als 40 °C zugrunde, um bei den nachfolgenden Abluftreinigungssystemen keine Hemmungen hervorzurufen. Aufgrund dieser Tatsache waren in der Vergangenheit sehr hohe spezifische Abluftmengen zu behandeln. Bei der Abluftbehandlung mittels der nichtkatalytischen Oxidation muß die Ablufttemperatur aus dem Rotteprozeß nicht mehr limitiert werden. Abluft-

temperaturen von über 60 °C haben keinerlei negative Einflüsse auf dieses System. An dieser Stelle sei auf das Ergebnis eines Forschungsvorhabens, durchgeführt von der Universität Rostock, verwiesen. Die Ergebnisaussage war hier, daß auch bei Rottetemperaturen von 70 °C keine Hemmung der Abbauraten zu verzeichnen war.

Beim Einsatz der Haase VocsiBox[®] wird die spezifische Luftmenge nur noch vom Rotteprozeß selbst bestimmt. Hiermit stellt sich die Frage, welche Faktoren nun die spezifische Luftmenge nach unten hin limitieren. In diesem Beitrag werden kurz die folgenden Faktoren diskutiert:

- Biologischer Sauerstoffbedarf
- Wärmetransport
- Wassertransport

Der biologische Sauerstoffbedarf hängt im wesentlichen vom Trockenmasseanteil und Glühverlust des zu behandelnden Abfalls sowie vom geforderten biologischen Abbau der organischen Trockenmasse ab. Je nach Ziel des MBA-Verfahrens bezüglich des Umfangs des biologischen Abbaus und nach Restsauerstoffgehalt im Rotteprozeß werden Luftmengen in der Größenordnung 1.000 bis 5.000 Nm³/Mg_{Input} benötigt. Hierbei wurde unterstellt, daß der biologische Abbau bei einem Restsauerstoffgehalt von 15 - 18 Vol.-% noch nicht beeinträchtigt wird. Die biologisch erforderliche Luftmenge zur Sauerstoffversorgung der Rotte liegt demnach deutlich unterhalb der heute realisierten Luftmengen von ca. 10.000 - 20.000 m³/Mg_{Input}.

Der Wärme- und Wassertransport hängt entscheidend von der Rottetemperatur, dem Zustand der Zuluft sowie den Wärme- und Stoffübergängen vom Rottegut auf die Belüftungsluft ab. Bei Rottetemperaturen von 60°C bis 70°C sind Ablufttemperaturen von 50°C bis 65°C im Rahmen des technisch Machbaren.

Abbildung 4 zeigt den Anstieg des Wasser- und Wärmetransports durch die Belüftung bei 100 %-iger Wasserdampfsättigung der Abluft als Funktion der Ablufttemperatur. Die Werte wurden normiert auf eine Ablufttemperatur von 30°C und konstanten Zuluftmassenstrom. Als Zuluftzustand wurden 10°C - das entspricht in etwa dem Jahresmittel in Deutschland - und 100 % relative Feuchte angesetzt.

Durch den exponentiellen Anstieg des Wasserdampfgehalts der Luft mit zunehmender Temperatur, kann bei höheren Ablufttemperaturen eine vorgegebene Menge Wasser sowie biologisch freigesetzte Wärme mit einem deutlich reduzierten Abluftstrom ausgetragen werden. Bei einer Temperaturerhöhung von 30 °C auf 50 °C kann z. B. bei gleichbleibendem Abluftvolumenstrom ca. 4 mal mehr Wärme und Wasser abtransportiert werden, bzw. der Abluftvolumenstrom kann bei konstanter Verdunstungsleistung um ca. 75 % reduziert werden. Die genannten Zahlen zeigen, daß bei Ablufttemperaturen oberhalb von 50°C auch die für den Wasser- und Wärmetransport benötigte spezifische Luftmenge gegenüber den heute üblichen Werten noch deutlich gesenkt werden kann.

Trotz der Reduzierung der spezifischen Abluftmengen muß das Rottegut zur Aufrechterhaltung eines guten Wärme- und Stoffaustauschs intensiv belüftet werden. Daraus resultiert ein mit Zu- und Abluft kombiniertes Umluftsystem in der Intensivrotte von abgeschlossenen Rottesystemen. Die benötigte Zuluft wird aus den arbeitsschutzrechtlich notwendigen Absaugungen sowie im Bereich der Anlieferung und Nachrotte entnommen und der Umluft im Bereich der Intensivrotte beigemischt. Dort können aufgrund der thermischen Belastbarkeit der nichtkatalytischen Oxidation Umlufttemperaturen von mehr als 60 °C gefahren werden.

Wasser- und Wärmetransport bei 100 % rel. Feuchte der Abluft
Zuluftzustand: 15°C gesättigt

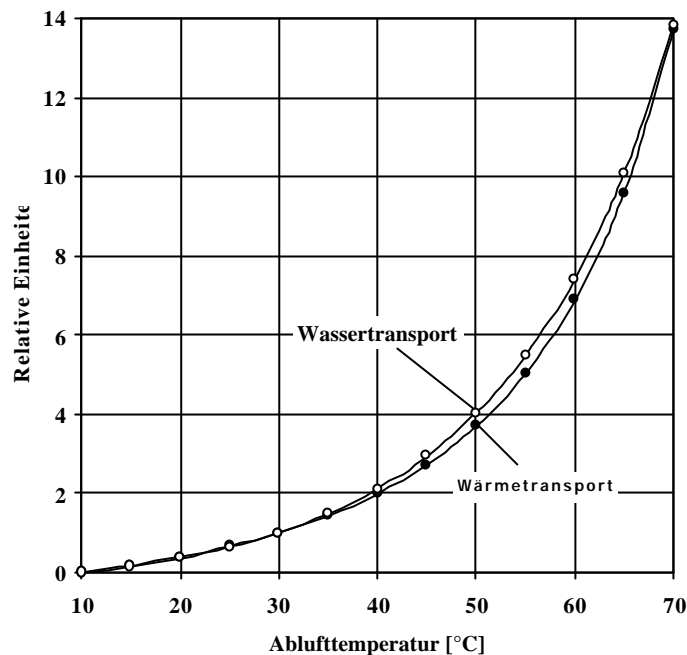


Abb. 4 Wasser- und Wärmetransport als Funktion der Ablufttemperatur

Aufgrund der höheren zulässigen Ablufttemperaturen in der Abluftbehandlung kann daher die zu behandelnde Abluftmenge auf das im Rotteprozeß verfahrenstechnisch notwendige Mindestmaß begrenzt werden. Dies wirkt sich sowohl auf Investitions- als auch Betriebskosten der Abluftbehandlung positiv aus.

49 Optimierungspotential

Es ist offensichtlich, daß bei Einsatz der nichtkatalytischen Oxidation zur Abluftbehandlung bei MBA-Anlagen die Auslegungsparameter der Intensivrotte sowie das Anlagenkonzept insgesamt zusammen mit den Möglichkeiten der thermischen Abluftbehandlung neu optimiert werden müssen. Dabei können bisher unerwünschte Effekte wie z. B. die Methanbildung gezielt genutzt werden. Durch intelligentes Luftmanagement kann der Schadstoff- und Methangehalt der Abluft im Hinblick auf eine autotherme Fahrweise des Verfahrens weiter optimiert werden. Eine Erhöhung dieser Gehalte begrenzt die benötigte Hilfsenergie für die Stützgaszugabe auf ein Minimum.

Interessant ist in diesem Zusammenhang auch die Frage nach dem für das Gesamtsystem MBA mit thermischer Abluftbehandlung optimalen Restsauerstoffgehalt in der Intensivrotte. Dieser bestimmt wie erwähnt die biologisch benötigte Luftmenge mit. Auch hier liegt noch einiges an Optimierungspotential im Verborgenen. Dies ist umso wichtiger, da bei Einsatz von Anlagen zur Umluftkonditionierung - Kühlung und Entfeuchtung - die spezifische Luftmenge bis auf das biologisch benötigte Maß reduziert werden kann.

Ob eine Um- oder Abluftkonditionierung vor der thermischen Abluftbehandlung oder höhere Betriebs- und Investitionskosten bei der Abluftbehandlung insgesamt günstiger sind läßt sich zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht abschließend beantworten, da hier u.a. eine Optimierung zwischen Abluft- und Abwasserbehandlung unter Berücksichtigung von Standortfaktoren durchgeführt werden muß.

50 Zusammenfassung

Die neuen Anforderungen im Rahmen der Genehmigungsfähigkeit von MBA-Anlagen führen zur überfälligen Sicherheit bei der Planung derartiger Anlagen. Daß bei der Behandlung von hier anfallenden Abluftströmen neue Wege zu beschreiten sind, sollte kein Hinderungsgrund sein diese innovativen Techniken wie die hier beschriebene thermisch regenerative 'nichtkatalytische Oxidation' einzusetzen. Die CO₂-Bilanz im Vergleich zu anderen Verfahren ist selbst unter Beachtung der notwendigen Stützgaszugabe ausgeglichen, da alle wirksamen Treibhausgase wie FCKW, Methan und sonstige Kohlenwasserstoffe einer direkten Oxidation unterzogen werden. Die spezifischen Kosten zur Implementation und zum Betrieb der hier beschriebenen Technik sind vertretbar. Obwohl noch keine großtechnischen Betriebsergebnisse für diese Abluftbehandlungstechnik aus MBA-Anlagen vorliegen, wird sich die hier beschriebene Technik auch für diesen Anwendungsfall durchsetzen.

Anschrift des Autors:

Dr. Roland Kahn
Haase Energietechnik GmbH
Gadelander Str. 172
24531 Neumünster
email: info@haase-energietechnik.de
internet: www.haase-energietechnik.de