

# **Betriebserfahrungen und Optimierungspotenzial von regenerativen thermischen Oxidationsanlagen (RTO) im Anwendungsumfeld der MBA**

**Olaf Neese<sup>1</sup>, Otto Carlowitz<sup>1,2</sup>, Torsten Reindorf<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Clausthaler Umwelttechnik-Institut GmbH, Clausthal;

<sup>2</sup>Institut für Umweltwissenschaften der TU Clausthal, Clausthal

## **Operational Experiences and Potential for Optimization of Regenerative Thermal Oxidation Plants in the Field of MBT**

### **Abstract**

As a consequence of legal regulations with respect to emissions, post-treatment of the exhaust gas streams arising from MBT is necessary. For this purpose thermal post-combustion plants with regenerative pre-heating are widely used. During operation of these plants several problems and outstanding issues arise (e. g. corrosion, deposition growth, compliance with energy demand, that was projected), which are reviewed in this article.

### **Zusammenfassung**

Auf Grund emissionsrechtlicher Verordnungen ist es notwendig, die bei MBA-Anlagen anfallenden Abluftströme zu behandeln. Hierzu werden häufig thermische Nachverbrennungsanlagen mit regenerativer Abluftvorwärmung eingesetzt. Beim Betrieb dieser Anlagen ergeben sich eine Reihe von Problemstellungen (z. B. Korrosion, Belagsbildung und Einhaltung der projektierten Energieverbräuche), die innerhalb dieses Berichtes näher betrachtet werden.

### **Keywords**

Abgasreinigung, regenerative-thermische Oxidation, MBA, Betriebsprobleme, Korrosion, Beläge, Brennstoffverbrauch

exhaust gas treatment, regenerative-thermal oxidation, MBT, operating problems, corrosion, deposits, fuel consumption

## **1 Ausgangssituation**

In der 30. Verordnung zum Bundesimmissionsschutzgesetz (Verordnung über Anlagen zur biologischen Behandlung von Abfällen) sind Regelungen zur Verringerung von gasförmigen organischen Emissionen enthalten. Insbesondere die Begrenzung der Emissionsfracht auf  $55 \text{ g}_{\text{org.C}}/\text{Mg}_{\text{Abfall}}$  hat dazu geführt, dass sogenannte RTO-Anlagen (Anlagen zur regenerativen thermischen Oxidation) in Prozesse der mechanisch-biologischen Aufbereitung (MBA) von Restmüll integriert wurden. Die RTO-Technologie wird schon seit nunmehr etwa 20 Jahren auf dem deutschen Markt angeboten und hat sich in zahlreichen Anwendungsfällen unterschiedlicher Branchen bewährt. Beim Einsatz innerhalb von MBA-Anlagen sind eine Reihe von betrieblichen Aspekten zu be-

rücksichtigen. Auf der Basis der gutachterlichen Praxis sowie eigenen Forschungs- und Entwicklungsvorhaben werden drei als wichtig erkannte Fragenkomplexe innerhalb dieses Berichtes näher diskutiert:

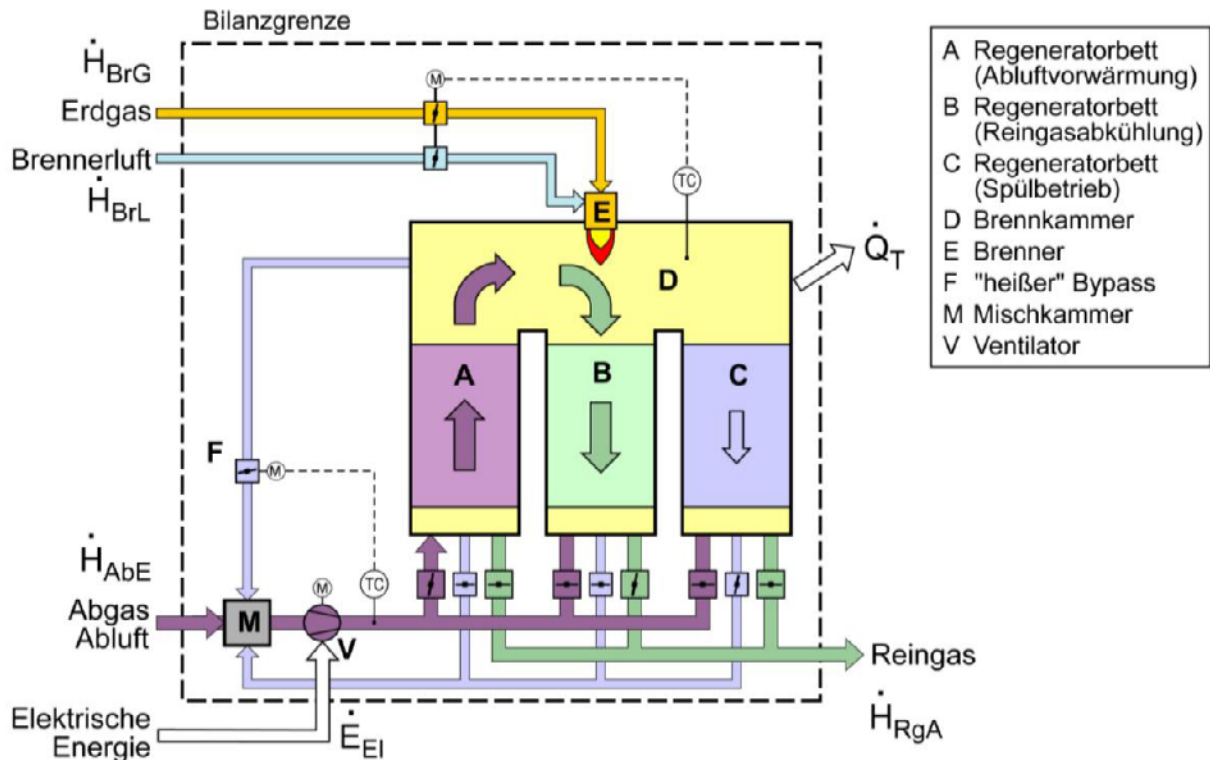
- Verhinderung bzw. Begrenzung von Korrosionsschäden durch säurehaltige Kondensate,
- Umgang mit Belägen bzw. Anhaftungen innerhalb der keramischen Speichermassen und
- Minimierung des Zusatzbrennstoffverbrauches.

In diesem Zusammenhang stellt sich sehr schnell die Frage der Verantwortlichkeiten insbesondere zwischen Anlagenbetreibern und Anlagenbauern, die natürlich unterschiedliche Standpunkte einnehmen. Hierbei sollte man berücksichtigen, dass – trotz exemplarischer Voruntersuchungen im Rahmen eines Forschungsprojektes [DOEDENS ET AL. 2002] – insgesamt ein neues Anwendungsfeld für die RTO-Technik beschritten wurde, was grundsätzlich mit Risiken behaftet ist. Daher soll dieser Beitrag nicht als Stellungnahme zu einem der beiden konträren Standpunkte verstanden werden, sondern vielmehr als Darstellung des Ist-Zustandes und somit primär als Unterstützung einer sachlich zu führenden Diskussion.

## 2 Betriebsweise von RTO-Anlagen

Innerhalb von RTO-Anlagen werden sehr hohe Abluftvorwärmgrade realisiert, d. h. der zu behandelnde Abluftmengenstrom wird sehr weit vorgewärmt und das nach der Schadstoffoxidation entstandene Reingas entsprechend weit abgekühlt. Dieses effiziente Wärmerecycling ermöglicht beispielsweise bei einer Reaktionstemperatur von 820 °C die Abluft auf 790 °C vorzuwärmen. Die verbleibende Temperaturdifferenz von 30 K muss durch Oxidation der Abluftinhaltsstoffe und – wie i. d. R. im Fall von MBA-Anlagen – zusätzliches Brenngas (z. B. Erdgas, Vergärungsgas oder Deponiegas) überwunden werden. Ein vereinfachtes Schema einer häufig eingesetzten RTO-Anlagentechnik zeigt Abbildung 1. Das Abgas (Luft + Verunreinigungen = Abluft) aus dem Rotteprozess sowie ggf. den Aufbereitungshallen der MBA-Anlage gelangt zunächst in den Regenerator A, der i. d. R. eine aus keramischen Wabenkörpern bestehende, heiße Speichermasse darstellt und wird vorgewärmt. Dort und im sich anschließenden Brennraum D vollzieht sich die Oxidationsreaktion. Die Schadstoffe in Form von Kohlenwasserstoffverbindungen reagieren weitestgehend zu Kohlenstoffdioxid und Wasser. Je nach Abluftzusammensetzung treten in geringen Konzentrationen auch weitere Oxidationsprodukte (z. B. HCl, HF, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) auf. Benötigter Brennstoff zur Aufrechterhaltung des Prozesses kann dem System durch den Brenner E zugeführt werden (Regelung der Brennkammertemperatur auf einen Festwert). Das auf diese Weise gebildete Reingas gibt beim Durch-

strömen des Regenerators B Wärme ab und verlässt schließlich das System. Regenerator C wird zunächst außer Acht gelassen. Diese Verfahrensweise wird einen Zeitraum von ca. 1...2 Minuten beibehalten. Dann wird durch unter den Regeneratoren liegende Umschaltklappen das Abgas dem Regenerator B zugeführt, aufgewärmt und wieder vollzieht sich die Schadstoffoxidation. Nunmehr kühlt sich das Reingas im Regenerator A ab.



**Abbildung 1** Vereinfachtes Schema einer RTO-Anlage mit eingezeichnetem Bilanzkreis.

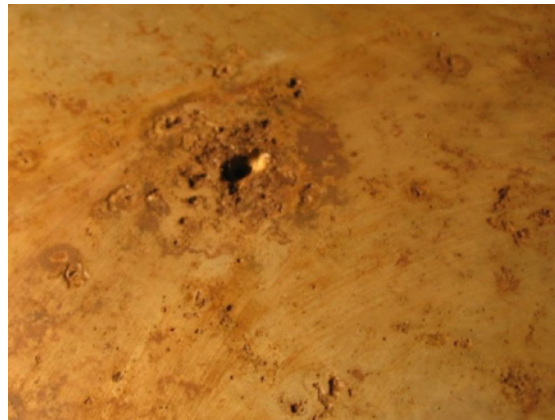
Dieser Zyklus wiederholt sich, er ist jedoch in einem Punkt verfahrens- und umwelttechnisch unvollkommen. Beispielsweise beim Umschalten des Regenerators A von Abluftvorwärmung auf Reingasabkühlung wird das darin befindliche Abluftvolumen mit dem Reingas ausgetragen. Dies dokumentiert sich in Form eines Kohlenwasserstoffkonzentrationspeaks im Reingas. Zur Vermeidung ist ein dritter Regenerator C notwendig, so dass vor dem Umschalten eine Spülung vollzogen werden kann, indem für begrenzte Zeit Reingas in Form eines ECB (Emission Cut Back) durch den Regenerator C gesaugt und dieses Spülgas der Abluft in der Mischkammer M zugegeben wird. Weiter verfügen einige RTO-Anlagen in dem hier beschriebenen Anwendungsfeld über einen „heißen Bypass“ F. Ein Reingasteilstrom wird der Brennkammer D entnommen und dem Abgas zwecks Temperaturerhöhung mit dem Ziel der Vermeidung von Kondensaten im anschließenden Leitsystem zugemischt.

### 3 Vermeidung von Korrosion

Schon nach einer relativ kurzen Betriebszeit von ca. 1...2 Jahren sind an einer Reihe von Anlagen massive Korrosionserscheinungen aufgetreten. Insbesondere sind davon die kalten Anlagenteile betroffen. Abbildung 2 vermittelt einen Eindruck zu der in verschiedenen Anlagen unterschiedlicher Hersteller aufgetretenen Problematik. Dabei wird beobachtet, dass auch austenitische Stähle (z. B. W1.4571) im Abluftleitsystem der RTO-Anlagen Korrosionsangriffe in Form von Lochfraß aufweisen. Bei ferritischen Stählen ist eher ein flächiger Korrosionsangriff zu verzeichnen.



a) Rohgaskanal (Lochfraß)



b) Lochfraß Detail



c) Strömungsverteilraum



d) Brennkammerwand (innen)

**Abbildung 2** Korrosionsschäden an RTO-Anlagen zur Behandlung von MBA-Abluft.

Das Abgas bzw. die Abluft aus Rotteprozessen weist einen Wasserdampfanteil nahe der Sättigungsgrenze auf, insbesondere wenn das Gas vor Eintritt in die RTO-Anlage einen Wäscher zur Ammoniakentfernung durchläuft. Dies kann zu Kondensat in den Rohgas- bzw. Abluftleitungen führen. Da in diesem alle wasserlöslichen Abluft- bzw. Reingasbestandteile enthalten sind – somit teilweise auch Säuren bzw. Säurebildner –, und das Verdampfen des Kondensats zur lokalen Aufkonzentration führt, wird Korrosion in diesen Bereichen begünstigt. In Anlagenteilen, in denen keine Kondensate auftreten, sind i. d. R. keine bzw. kaum Korrosionsschäden feststellbar.

Korrosionsmindernde Maßnahmen können grundsätzlich auf der Basis von werkstofftechnischen und verfahrenstechnischen Optimierungsansätzen vorgenommen werden.

### **Werkstofftechnische Maßnahmen**

Da die Palette der Korrosion verursachenden Stoffe in der MBA-Abluft sehr groß und eine Kontrolle bzw. Eingrenzung des Inputmaterials meist nicht möglich ist, sind den werkstofftechnischen Maßnahmen deutliche Grenzen gesetzt, sofern man nicht den teuren Weg eines Komplettaustausches der betroffenen Anlagenteile mit einem sehr hochwertigen Werkstoff (z. B. Nickelbasislegierungen) wählen will. Auch das nachträgliche Aufbringen von Beschichtungen erscheint nicht zielführend, da dies absolut fehlerfrei erfolgen muss. Darüber hinaus muss das Material auf Dauer eine ausreichend große Festigkeit – auch unter mechanischen und thermischen Wechselbeanspruchungen aufweisen – um ein Hinterlaufen mit Kondensaten auszuschließen. Weiter ist zu berücksichtigen, dass zugehörige Gewährleistungen meist auch mit Einschränkungen hinsichtlich der auftretenden Stoffe und Betriebsbedingungen verbunden sind.

### **Verfahrenstechnische Maßnahmen**

Ziel von verfahrenstechnischen Maßnahmen muss es sein, das Auftreten von Kondensaten innerhalb der RTO-Anlagen und insbesondere der mit Reingas in Berührung kommenden Komponenten zu verhindern. Hierzu bietet beispielsweise eine Aufheizung des Rohgases auf Temperaturen von ca. 90...110 °C (je nach Wasserdampf- und Säureanteil) an, die zwar einen zusätzlichen apparativen Aufwand verursacht, jedoch auch ein hohes Schutzniveau vor Korrosion sicherstellt. Mit der erhöhten Eintrittstemperatur steigt auch die Reingasaustrittstemperatur, so dass alle medienberührten Anlagenteile außerhalb des Kondensationspunktes betrieben werden, sofern für eine ausreichende Wärmedämmung gesorgt wird (Vermeidung von Wärmebrücken!).

Für die apparative Ausführung stehen folgende Möglichkeiten zur Verfügung:

- Direkte Aufheizung der Abluft mittels Brennern, aufgeheizten Wärmeträgern oder einem heißen Bypass.
- Indirekte Aufheizung der Abluft durch Nutzung der Reingasenthalpie am Kamin mittels eines Vorschaltrekuperators.

Eine direkte Aufheizung der Abluft ist zwar apparativ weniger aufwändig, hat jedoch den Nachteil, dass sich bei einer Temperaturerhöhung um z. B. 50...60 K der Brennstoffbedarf mehr als verdoppelt und somit unzumutbar hohe Betriebskosten entstehen. Im Fall des heißen Bypasses kommt hinzu, dass der Abluft möglicherweise zusätzliche Säurebildner (Oxidationsprodukte) zugemischt werden, die die Korrosion begünstigen. Die gleiche Gefahr besteht auch durch die Spülung der Regeneratoren mit Reingas, die vielfach Anwendung findet.

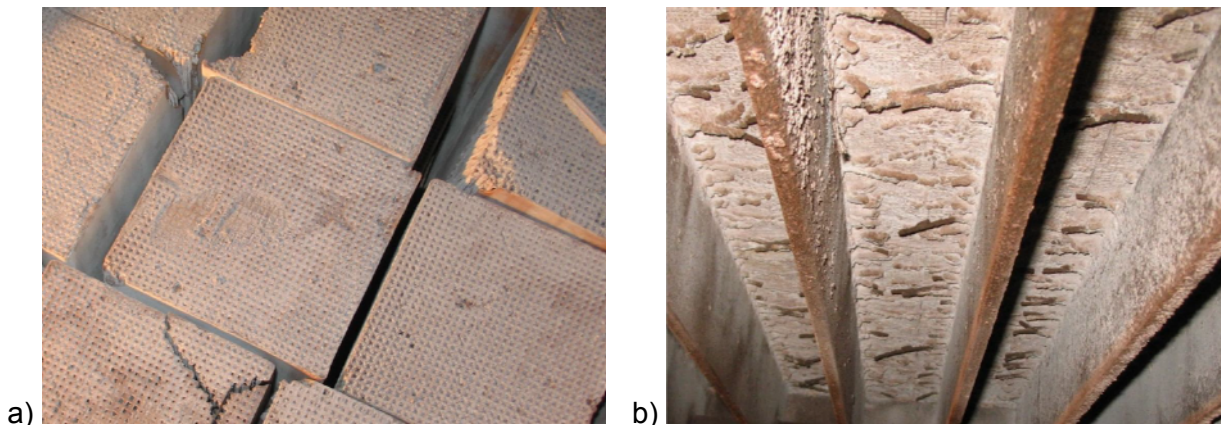


Die Nutzung der Reingasenthalpie am Kamin durch einen Vorschaltrekuperator ggf. auch mit Zwischenschaltung eines Wärmeträgermediums (z. B. Thermalöl) hat den großen Vorteil, dass durch die zusätzlich eingebrachte Wärmeübertragungsfläche kein Brennstoffmeherverbrauch auftritt. Auch das Temperaturniveau am Kamin bleibt nahezu unverändert, während die Abluft und Reingas führenden Systeme (Ventilator, Verteiler, Klappen) der RTO-Anlage bei deutlich höheren Temperaturen arbeiten. Allerdings muss die Werkstoffauswahl für den Wärmeübertrager mit Sorgfalt getroffen werden und es ist ein zusätzlicher Druckverlust zu überwinden (etwas erhöhter Elektroenergiebedarf). Dieser Lösungsweg zur Vermeidung von (stofflich andersartigen) Kondensaten hat in Branchen der produzierenden Industrie bereits erfolgreich Anwendung gefunden.

Weiter wird vermerkt, dass RTO-Anlagen mit einer Außenisolierung auch im Bereich der Regeneratoren und der Brennkammer versehen sein sollten. Da die Innenisolierung aus keramischer Faser nicht gasdiffusionsdicht ist, können sich Kondensate an den kalten Innenseiten der Apparatewände niederschlagen. Durch die Außenisolierung wird die Taupunktunterschreitung an diesen Stellen verhindert.

#### 4 Bildung von Belägen aus den Oxidationsprodukten

Ein weiteres Problemfeld, das vor dem Einsatz von RTO-Anlagen bei der mechanisch-biologischen Abfallaufbereitung nicht in dem Maße abzusehen war, ist die Bildung von Belägen innerhalb der keramischen Speichermassen.



**Abbildung 3** Beläge auf den Wabenkörpern von RTO-Anlagen zur Behandlung von MBA-Abluft: a) im Brennraum, b) im unteren Anströmbereich.

Abbildung 3 zeigt die beiden am häufigsten auftretenden Belagsformen. Im Brennraum der RTO-Anlagen (Abbildung 3a) setzen sich die Wabenkörper vorwiegend mit amorphem Siliziumdioxid ( $\text{SiO}_2$ ) zu, das als Oxidationsprodukt von siliziumorganischen Verbindungen, die in der Abluft in geringem Maße enthalten sind, gebildet wird. Man geht davon aus, dass sich diese Verbindungen (z. B. Silane, Siloxane) während des biologischen Abbauprozesses aus den Inhaltsstoffen der weggeworfenen Produkte (Cremes,

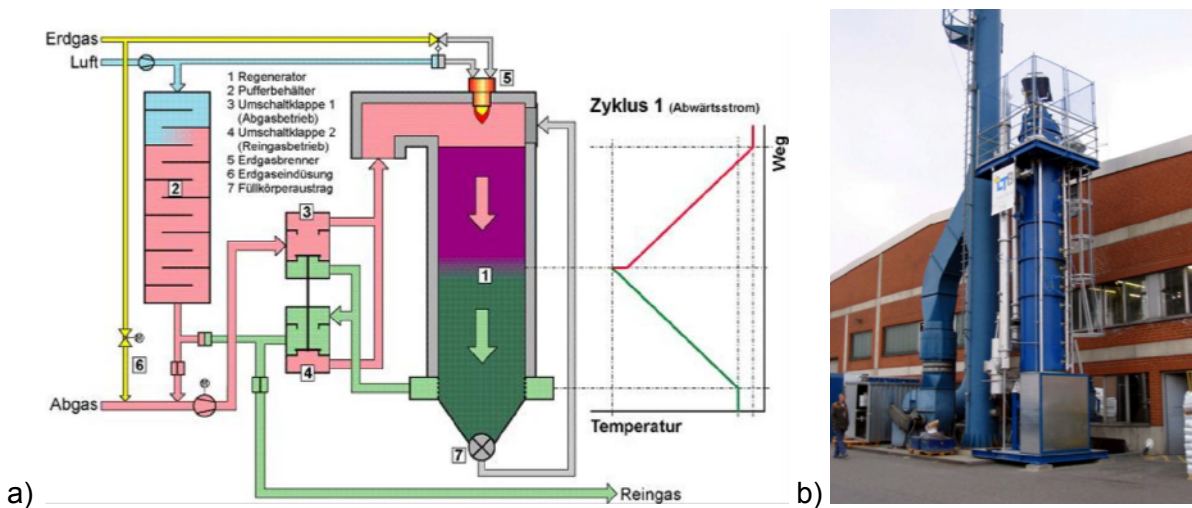
Shampoos) oder aus Verpackungsresten bilden. Da - nach Aussagen der Hersteller von Silanen und Siloxanen - diese Grundstoffe mit steigender Tendenz eingesetzt werden, ist mit einer Zunahme der Problematik zu rechnen.

Im relativ kalten Anströmbereich unter den Regeneratoren (Abbildung 3b) sind vorwiegend Salzablagerungen festzustellen (z. B. Ammoniumsalze). Auch hierbei handelt es sich um Reaktionsprodukte, die im Verlauf der Oxidation der Abluftinhaltsstoffe gebildet werden, die aber, aufgrund ihrer besonderen Stoffeigenschaften, erst in den kälteren Anlagenteilen desublimieren. Da diese Salze umgekehrt aber auch bei relativ geringen Temperaturen (um etwa 200...300 °C) wieder verdampfen, können die Beläge durch ein spezielles Temperaturprogramm verhältnismäßig leicht wieder entfernt werden (Burn-Out-Schaltung).

Alle bisherigen Bestrebungen, die vielfach amorphen Anhaftungen mit Siliziumdioxid im Brennkammerbereich zu verhindern bzw. den Effekt relevant abzumildern, sind ohne den erhofften Erfolg geblieben. Ein für siliziumorganische Verbindungen sicher geeignetes Anlagenkonzept mit regenerativer Abluftvorwärmung steht derzeit nicht zur Verfügung. Behelfsweise werden die Ablagerungen heute periodisch abgesaugt oder nach Ausbau der keramischen Wabenkörper z. B. durch Dampfstrahlen gereinigt.

Vor diesem Hintergrund wurde im Rahmen eines von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderten Forschungsvorhabens eine neue Anlagentechnologie pilotiert, deren Grundgedanke darin besteht, die entstehenden Beläge zwar zunächst in Kauf zu nehmen, jedoch die keramische Regeneratormasse periodisch (z. B. monatlich) automatisiert zu entnehmen, zu reinigen und wieder einzufüllen. Projektpartner waren dabei die Firma LTB (Lufttechnik Bayreuth), Goldkronach als Anlagenbauer, die CUTEC-Institut GmbH, Clausthal als Forschungseinrichtung sowie die Firma ALBIS Plastic, Hamburg als (erster) Anwender.

Eine besondere Herausforderung bestand darin, alle drei für RNV-Anlagen charakteristische Zyklen (Rohgas vorwärmen, Reingas abkühlen und Regenerator spülen) in einer Anlage mit Ein-Turm-Bauweise zu realisieren, wobei die Aufheizung mittels eines konventionellen Brennersystems erfolgen sollte. Abbildung 4 zeigt eine Prinzipskizze des Anlagenkonzeptes (a) und die Pilotanlage im Feldtest bei einem industriellen Anwender (b). Über die Realisierung dieses neuen Anlagenkonzeptes wurde bereits an anderer Stelle ausführlich berichtet, z. B. [CARLOWITZ 2005, REINDORF 2005, REINDORF 2006].



**Abbildung 4** Neuer Technologieansatz: a) Funktionsprinzip, b) Pilotanlage im Einsatz bei einem Kunststoffverarbeitungsbetrieb (Albis Plastic GmbH, Hamburg).

Die Pilotanlage ist fertig gestellt, und – nach ausführlichen Versuchen im Technikum - bereits einem etwa halbjährigen Feldtest bei einem industriellen Anwender unterzogen worden (Fa. ALBIS Plastic, Hamburg). Die Ergebnisse der vorgenommenen Untersuchungen sind zielführend, so dass nunmehr die zweite Phase des Vorhabens, innerhalb derer eine Hauptausführung geplant und gebaut werden soll, in Angriff genommen wird. Auch der Betrieb der Pilotanlage bei weiteren potenziellen Anwendern in unterschiedlichen Branchen ist vorgesehen.

## 5 Realisierung eines minimalen Zusatzbrennstoffverbrauchs

Eine Energie- und Massenbilanz am (quasi-)stationär arbeitenden Regeneratorsystem gemäß Abbildung 1 liefern die Gleichungen

$$\dot{H}_{BrG} = \dot{Q}_T + \dot{H}_{RgA} - \dot{E}_{El} - \dot{H}_{AbE} - \dot{H}_{BrL} \quad (1)$$

$$\dot{m}_{RgA} = \dot{m}_{BrG} + \dot{m}_{BrL} + \dot{m}_{AbE} \quad (2)$$

mit  $\dot{E}_{El}$  Elektrische Energie

$\dot{H}$  Enthalpiestrom

$\dot{m}$  Massenstrom

$\dot{Q}_T$  Transmissionswärmeverlust

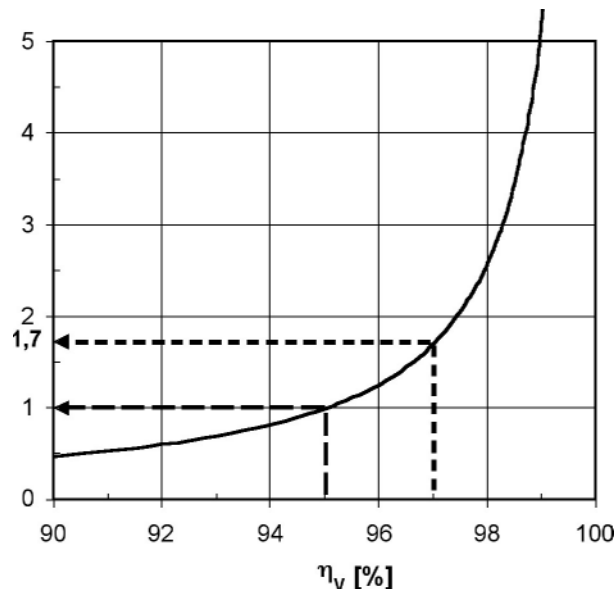
Indices: *Br* Brenner, *Ab* Abluft, *Rg* Reingas, *G* Gas,  
*L* Luft, *A* Austritt, *E* Eintritt



Als Beurteilungsgröße für die Abluftvorwärmung und damit auch für den Brennstoffverbrauch in einer RTO-Anlage wird vielfach der sog. Abluftvorwärmgrad  $\eta_v$  gebildet [VDI2442 2006]. Dieser stellt einen Wirkungsgrad der Abluftvorwärmung dar, wobei der tatsächlich zur Abluftvorwärmung genutzte Energiestrom auf den maximal nutzbaren bezogen wird. Aus dieser Projektierungsgröße ergibt sich die notwendige Wärmeübertragerfläche. Unter bestimmten Annahmen und Vereinfachungen [NEESE ET AL. 2006] ergibt sich zwischen dem Vorwärmgrad und der Wärmeübertragerfläche die Proportionalität:

$$A_{WÜ} \sim \left[ \frac{\eta_v}{1 - \eta_v} \right] \quad (3)$$

Gleichung (3) und deren graphische Darstellung in Abbildung 5 machen deutlich, dass die Wärmeübertragerfläche  $A_{WÜ}$  für Abluftvorwärmgrade  $\eta_v$ , die dem Wert Eins zustreben, extrem stark ansteigt.



**Abbildung 5** Abhängigkeit der Wärmeübertragerfläche vom Vorwärmwirkungsgrad (normiert auf die Fläche des Auslegungsvorwärmgrades von 95 %).

RTO-Anlagen werden heute in der Praxis vielfach auf Abluftvorwärmgrade von 95 % ausgelegt, wobei  $\eta_v$  i. d. R. als Gewährleistungswert festgeschrieben wird. Würde die Abluft keine brennbaren Stoffe beinhalten, müssten die restlichen 5 % durch Zusatzbrennstoff aufgebracht werden. Erreicht eine Anlage „nur“  $\eta_v = 93$  %, ist dies gleichbedeutend mit einem Mehrverbrauch an Brennstoff von (maximal) 40 %. Der apparative Aufwand für eine Steigerung des Abluftvorwärmgrades von beispielsweise 95 % auf 97 % ist jedoch gemäß Gleichung (3) erheblich. Die benötigte Wärmeübertragerfläche steigt etwa um den Faktor 1,7, was mit einer Erhöhung der Regeneratorbetten bei gleichem Strömungsquerschnitt (leer) um 70 % gleichzusetzen ist (vgl. Abbildung 5).

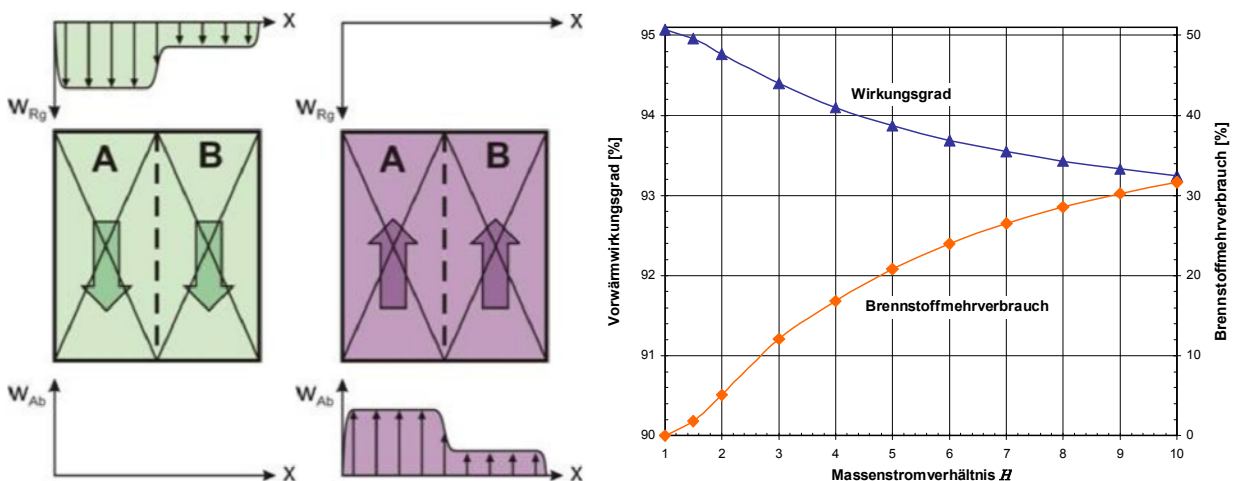
Vor diesem Hintergrund ist es besonders bedeutsam, einen Erhalt der genutzten Wärmeübertragungsfläche in den RTO-Anlagen sicherzustellen, die sich z. B. durch Beläge drastisch verringern kann.

### Ungleichmäßige Durchströmung der Speichermassen

Auch eine ungleichmäßige Durchströmung der Wärmespeichermassen, die durch ungünstige Anströmbedingungen und Verstopfung von Teilen des Strömungsquerschnittes auftreten kann, erhöht den Brennstoffverbrauch. Der Einfluss dieses Phänomens wird an Abbildung 6 deutlich. Im Rahmen einer modellhaften Berechnung gemäß [NEESE ET AL. 2006] wurde der Wirkungsgrad eines Regenerators bestimmt, bei dem eine Hälfte (B) weniger durchströmt wird, als die andere Hälfte (A). Abhängig vom Massenstromverhältnis

$$\xi = \frac{\dot{m}_A}{\dot{m}_B} \quad \text{mit} \quad \dot{m} = \dot{m}_A + \dot{m}_B = \text{const.} \quad (4)$$

ergibt sich eine Verringerung des Wirkungsgrades und ein Brennstoffmehrverbrauch als Folge ungleichmäßiger Durchströmung ( $\xi > 1$ ) nach Bild 6. Betrachtet man ein System mit einem Abluftvorwärmgrad von  $\eta_V \approx 0,95$  müssen Verluste des Vorwärmwirkungsgrades bis 1,8 Prozentpunkte (bei vollständiger Verstopfung einer Hälfte des Regenerators) hingenommen werden. Dies entspricht wiederum einem Brennstoffmehrverbrauch von 31 %. In dieser Darstellung nicht berücksichtigt ist die z. B. durch eine Verstopfung hervorgerufene Verringerung der Wärmeübertragerfläche, die zu einer weiteren Erhöhung des Brennstoffverbrauchs führt.



**Abbildung 6** Zum Einfluss einer ungleichmäßigen Regeneratordurchströmung auf den Abluftvorwärmgrad.

## Flüssigkeitströpfchen in der Abluft

Im vorangegangenen Kapitel ist angemerkt worden, dass der Feuchtegehalt in der Abluft erheblich sein kann und Kondensationserscheinungen auftreten. Da die Nachverbrennungsanlagen i. d. R. unter leichtem Überdruck betrieben werden, das zugehörige Gebläse also in der Abluft positioniert ist, neigt die Abluft vor Eintritt in das RTO-System zusätzlich zur Tröpfchenbildung. Diese Wasserpartikel werden in den Regeneratorbetten der Nachverbrennungsanlage verdampft, die zugehörige Verdampfungswärme ist also aufzubringen und vermehrt den Brennstoffbedarf. Flüssigkeitströpfchen von  $10 \text{ g/m}^3_n$  in der Abluft können schon bei üblichen Abluftvorwärmgraden bis zu 30 % mehr an Zusatzbrennstoff bedeuten.

## Brennerluft, Spülgasmengenstrom und Reingasauskopplung

Dass Brennerfrischluft in Nachverbrennungssystemen zu deutlichen Brennstoffmehrverbräuchen führt, sofern das Abgas bzw. die Abluft für die Oxidation der Abluftschadstoffe und des Zusatzbrennstoffes ausreichend Sauerstoff beinhaltet, wird in [VDI2442 2006] auch anhand von Beispielen belegt. Ist der Brenner richtig eingestellt und arbeitet bei einem Luftüberschuss über den insgesamt benötigten Regelbereich (dieser muss auch nach unten ausreichend groß bemessen sein, weil sonst bei kleinen Abluftmengen Übertemperaturen im Brennraum auftreten können) von nicht mehr als 20 %, muss durch Einsatz von Brennerfrischluft bei üblichen Abluftvorwärmgraden um  $\eta_V = 95 \%$  mit einem Brennstoffmehrverbrauch von 15...25 % gerechnet werden. In diesem Zusammenhang ist die direkte Einspeisung nur des Brenngases unmittelbar in die heiße Brennkammer sinnvoll.

Der Spülgasmengenstrom und ein ausgekoppelter Heißgasmengenstrom (siehe Bypass F in Abbildung 1) vergrößern den insgesamt durch die Anlage durchgesetzten Gas-mengenstrom und das Eintrittstemperaturniveau in das Regeneratorsystem. Beide Effekte vergrößern den Zusatzbrennstoffverbrauch

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen der vorstehenden Ausführungen sind Ansatzpunkte zur Lösung von ausgewählten Problemen bei der Abgasreinigung durch RTO innerhalb mechanisch-biologischer Abfallaufbereitungsanlagen aufgezeigt worden. Dabei haben drei Problemkreise im Vordergrund gestanden:

- Vermeidung von Korrosion.

Hauptursache für die Korrosion ist das Auftreten von wässrigen Kondensaten mit sauren Reingasbestandteilen (z. B. HCl, HF, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Eine sichere Vermeidung dieser Kondensate gelingt am wirkungsvollsten durch eine Anhebung des Roh-

gaseintrittstemperaturniveaus. Da eine direkte Aufheizung mit einer drastischen Erhöhung des Brennstoffverbrauchs einhergeht, bietet sich die Nutzung der Reingasenthalpie am Anlagenaustritt mittels eines zusätzlichen Rekuperatorsystems an. Weiter sollte die RTO-Anlage mit einer Außenisolierung versehen werden, damit – insbesondere in der kalten Jahreszeit – keine Kondensatbildung am Blechmantel der Regeneratorkörperwände auftreten kann.

■ Beläge in Regeneratoren.

Derzeit sind die als amorphes Siliziumdioxid erkannten Verstopfungen der Regeneratorkörperwaben hinzunehmen und müssen behelfsweise in regelmäßigen Abständen manuell entfernt werden. Es befindet sich jedoch ein Regeneratorsystem auf der Basis von Keramikugeln in der Entwicklung, das eine periodische automatisierte Entnahme der Speichermasse ermöglicht und damit die Entfernung der  $\text{SiO}_2$ -Anhaftungen handhabbar macht. Salzablagerungen können mit Hilfe einer Burn-Out-Schaltung entfernt werden.

■ Verringerung des Brennstoffbedarfes.

Es ist deutlich geworden, dass sehr hohe Abluftvorwärmgrade und damit niedrige Brennstoffbedarfe extrem große Regeneratoren aus keramischen Speichermassen erfordern. Weiter können ungleichmäßige An- und Durchströmungsbedingungen den Vorwärmgrad verringern. Befinden sich Wassertröpfchen in der Abluft, ist die zugehörige Verdampfungswärme in Form von Zusatzbrennstoff zu kompensieren. Auf Brennerfrischluft sollte soweit wie möglich verzichtet werden, weil sie den Brennstoffbedarf ebenfalls deutlich erhöht. Auch eine Heißgasauskopplung eines Reingasteilstroms aus der Brennkammer und dessen Zumischung zur Anhebung des Ablufttemperaturniveaus zwecks Kondensatvermeidung steigert den Brennstoffbedarf, ebenso ein nicht auf ein Minimum hin optimierter Spülgasstrom.

Abschließend soll ausdrücklich betont werden, dass MBA-Anlagen ein relativ neues Anwendungsfeld für die RTO-Technologie darstellen und alle Beteiligten aufgetretene Probleme mit Augenmaß einer tragbaren Lösung zuführen sollten.

## 7 Literatur

- VDI 2442 2006 VDI-Richtlinie 2442: Abgasreinigung – Verfahren und Technik der thermischen Abgasreinigung. März 2006.
- Carlowitz, O.; Neese, O. 2005 Ansatzpunkte zur konzeptionellen und betrieblichen Optimierung von thermischen Abgasreinigungsanlagen mit regenerativer Abluftvorwärmung. Reinhaltung der Luft 65 (2005) Nr. 7/8. S. 320-327.
- Carlowitz, O.; Neese, O.; Reindorf, T. 2005 Entwicklung einer thermischen Abgasreinigungsanlage mit regenerativer Abluftvorwärmung für Abgase mit siliziumorganischen Verbindungen. VDI-Berichte 1893, VDI Verlag, Düsseldorf, 2005, S. 45-62.
- Doedens, H. et al. 2002 Abschlussbericht zum BMBF-Verbundvorhaben „Erprobung einer nichtkatalytischen thermischen Oxidation zur Behandlung von Abluft aus der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung“; Förderkennzeichen 0330240 und 03361257; Bundesministerium für Bildung und Forschung; 2002.
- Reindorf, T.; Carlowitz, O.; Neese, O. 2005 Übersicht über Anwendungsgebiete, Funktionsweise und Entwicklungsbedarf der thermischen Abgasreinigung mit regenerativer Abluftvorwärmung; in: Kühle-Weidemeier, M. (Hrsg.); International Symposium MBT 2005; Tagungsband; wasteconsult international; Cuvillier Verlag; Göttingen; 2005; ISBN 3-86537-665-7; S. 234-249.
- Reindorf, T.; Carlowitz, O.; Neese, O.; Dammeyer, K.-H. 2006 Behandlung von Abluft mit siliziumorganischen Inhaltsstoffen; in: Aufbereitungstechnik 2006 – Entgasungsprozesse in der Aufbereitungstechnik; Tagungsband zur Jahrestagung Aufbereitungstechnik 2006; VDI-Gesellschaft Kunststofftechnik; Köln 8.-9.11.2006; ISBN 3-18-234279-7.



Neese, O.; Carlowitz, O.; Reindorf, T. 2006 Probleme bei der Abgasreinigung durch RTO bei mechanisch-biologischen Abfallaufbereitungsanlagen; in: Thomé-Kozmiensky, K.-J., Beckmann, M. (Hrsg.); Energie aus Abfall, Band 1, TK Verlag, Neuruppin, 2006.

### **Anschrift der Verfasser**

Dipl.-Ing. Olaf Neese  
Clausthaler Umwelttechnik-Institut GmbH  
Leibnizstr. 21+23  
D-38678 Clausthal-Zellerfeld  
Telefon +49 5323 933-203  
Email: [olaf.neese@cutec.de](mailto:olaf.neese@cutec.de)  
Website: [www.cutec.de](http://www.cutec.de)

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Otto Carlowitz  
Clausthaler Umwelttechnik-Institut GmbH  
Leibnizstr. 21+23  
D-38678 Clausthal-Zellerfeld  
Telefon +49 5323 933-120  
Email: [otto.carlowitz@cutec.de](mailto:otto.carlowitz@cutec.de)  
Website: [www.cutec.de](http://www.cutec.de)

Dipl.-Ing. Torsten Reindorf  
Institut für Umweltwissenschaften der TU Clausthal  
Leibnizstr. 21+23  
D-38678 Clausthal-Zellerfeld  
Telefon +49 5323 933-234  
Email: [torsten.reindorf@tu-clausthal.de](mailto:torsten.reindorf@tu-clausthal.de)  
Website: [www.iuw.tu-clausthal.de](http://www.iuw.tu-clausthal.de)