

ECOTUBE® – ein innovatives System zur Optimierung von Verbrennungsverfahren & Emissionsminderung

Ulf Hagström, Eric Norelius, ECOM AB

Klaus Schneider, Ingenieurbüro Klaus Schneider

1 Einführung

Das ECOTUBE® SYSTEM ist eine innovative, kostenwirksame Optimierungsmethode für die meisten Verbrennungsverfahren und besteht im wesentlichen aus ein-/ausfahrbaren Lanzen (ECOTUBES), welche mit Einblasdüsen ausgerüstet sind. Luft und verschiedene Materialien können durch die Düsen mit hohem Druck und hoher Geschwindigkeit in das Innere des Kessels eingeblasen werden. Die ECOTUBES werden strategisch innerhalb des Kessel positioniert, so dass die injizierten Stoffe eine radikal verbesserte Mischung der Verbrennungsprodukte ermöglichen, in dem die laminaren Gasströme zerstört werden und sich vollständig gemischte, turbulente Ablaufmuster einstellen.

Das System besteht aus vier Grundpaketen, ausgelegt für jeden Einsatzzweck:

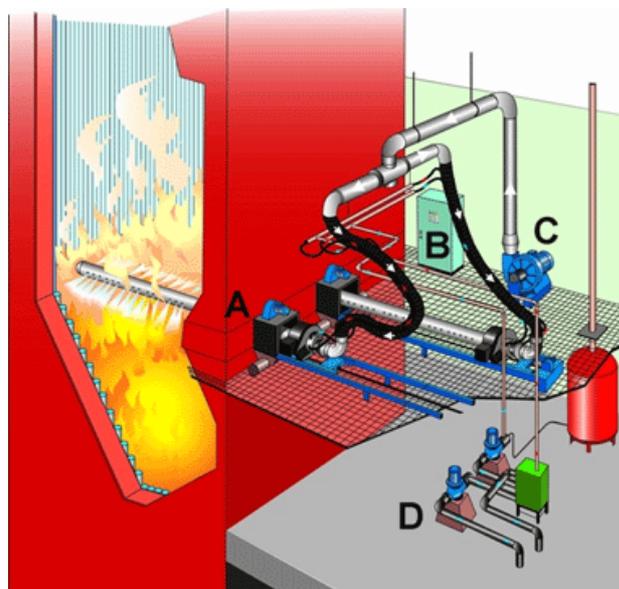
- A** ECOTUBE® mit Zubehör
- B** Steuer- und Kontrollsystem
- C** Luftversorgung
- D** Kühlwasser System

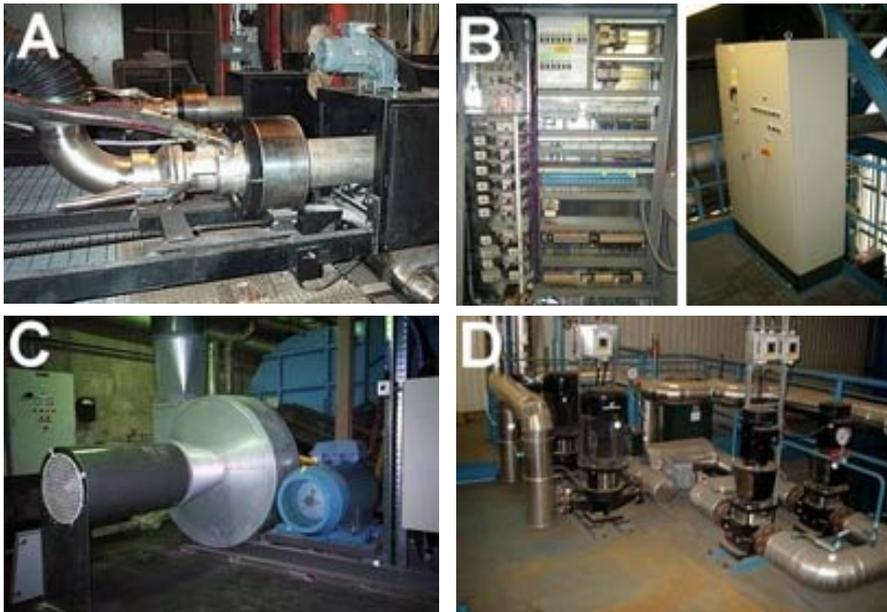
A Jede ECOTUBE® ist ausgerüstet mit:

- Motoren zum Ein- und Ausfahren von ECOTUBE®
- Reinigungsmechanismus, der die Kesselablagerungen automatisch von den ECOTUBE®-Oberflächen entfernt
- Verstellbare ECOTUBE® mit Verteilerdüsen

B Steuer- und Kontroll-System

Ein PLS-basiertes Monitoring- und Kontrollsystem ermöglicht unbeobachteten automatischen Betrieb. Überwachungs- und Alarmdaten werden zur Leitwarte übertragen.





C Luftversorgung

Ein Hochdruck-Ventilatorsystem, bestehend aus einem vormontierten Gebläse inkl. Luftleitung und zusätzlichen Komponenten wie Armaturen, Mess- und Regeltechnik etc., sorgt für Turbulenzerhöhung und Vermischung der Rauchgase im Kessel.

D Kühlwassersystem

Das Kühlwasser System, welches den ständigen Betrieb von ECOTUBE® innerhalb des Kessels ermöglicht, besteht aus Pumpen, Wärmetauschern und zusätzlichen Komponenten wie Armaturen, Mess- und Regeltechnik etc. Die so ausgekoppelte Wärme kann für verschiedene Zwecke innerhalb des Kraftwerkes eingesetzt werden.

1.1 ECOTUBE® Lanzen-Einblasanlage

Das System im Überblick

Gestufte Luftzuführung in der Brennkammer verbessert das gesamte Verbrenungsverhalten

ERGEBNISSE:

- Leistungserhöhung
- Geringere Korrosion
- Geringerer Verschleiß
- Reduzierte Flugaschemenge
- Reduziertes Unverbranntes
- Geringere Gasgeschwindigkeiten
- Geringeres NOx
- Geringeres und stabileres CO
- Niedrigere Kosten

Primäre Verbrennungszone

- Reduziertes Luftverhältnis
- Brennstoffreiche Flamme
- Geringe Überschussluft
- Geringere Nox-Bildung



1.2 Vorteile:

Anders als bei anderen Sekundärluftsystemen ist bei der Installation von ECOTUBE® ein vollständiger Zugang zu allen Komponenten von außerhalb des Kessels gewährleistet.

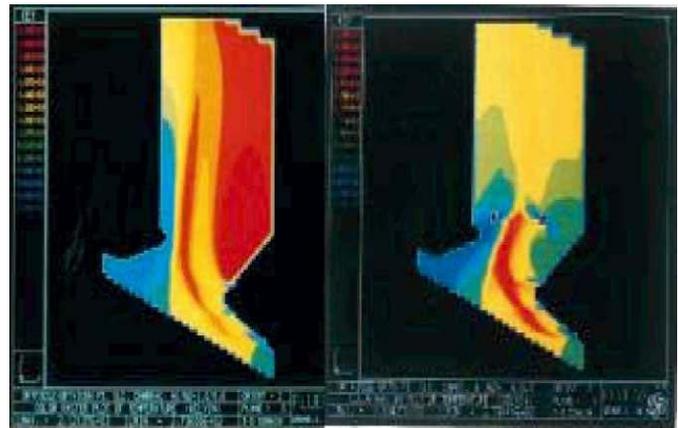
Die verfahrenstechnischen Hauptvorteile sind:

- Verbesserung der Verbrennung in der Brennkammer
- Erhöhung des thermischen Wirkungsgrades

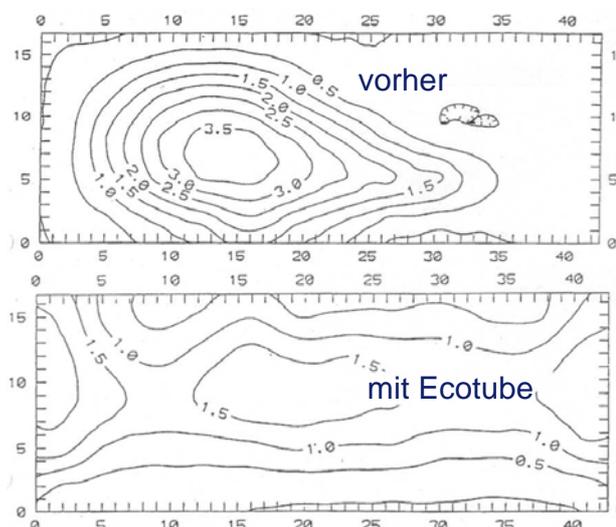
Dafür verantwortlich ist ein radikal verbesserter „turbulenter“ Mischvorgang der Verbrennungsgase innerhalb der Brennkammer. Dieser sorgt für eine effektive Beeinflussung von Temperatur, Verweilzeiten und Turbulenz. Der so optimierte Verbrennungsvorgang reduziert NO_x , CO, VOC, Flugasche und Unverbranntes durch:

- Erhöhte Verweildauer des Gas-/Brennstoffgemisches
- Reduzierung des laminaren Geschwindigkeitsbereiches
- Verbesserte Gasverteilung
- Reduzierte Gasgeschwindigkeit am Austritt und daher Reduzierung von Unverbranntem und Flugasche am Austritt der Brennkammer
- Reduzierung von NO_x im Bereich von 50% bis 90%

Das nebenstehende Bild zeigt die Verbesserung der Durchmischung in der Brennkammer nach Einführung des ECOTUBE®-Systems. Man erkennt deutlich die Vorteile der gestuften Verbrennung und die geänderte Strömungsführung im Feuerraum. ECOTUBE® sorgt für eine gleichmäßige Gasverteilung im Feuerraum - vor Erreichen der konvektiven Heizflächen.



Das nächste Bild zeigt die Änderung der Gasverteilung zum Feuerraum vor und nach Einführung von ECOTUBE® anhand berechneter Isotachen.



**Externe
Luftindüsung**
mit lokal auftretenden
hohen Gaskonzentrationen

**Ecotube
Einblassystem**
mit gleichmäßiger
Gasverteilung in der
Brennkammer

Die gleichmäßige Verteilung der Verbrennungsgase

- verbessert die Verbrennungseffizienz um ca. 2%
- verlängert die Verweilzeit für das Brennstoff-Luft-Gemisch
- "Abdeckung" der oberen Brennkammer mit gleichmäßig verteilter Luft
 - verringert die Korrosion an den Wänden durch Bildung einer Oxidationsschicht an den Rohren und damit Verhinderung einer reduzierenden Atmosphäre
 - gewährleistet gleichmäßig verteilte Gas-Konzentrationen vor Eintritt in den Konvektions-Zug
 - reduziert Gas- und Flüssigkeitskorrosion an Verdampfer (SH) und Economizer
 - reduziert Unverbranntes in der Flugasche
 - reduziert CO und VOC allgemein und verhindert das Auftreten von CO-Spitzen

2 Funktionsweise

Fortschrittliche Sekundärlufteindüsung:

Gestufte Verbrennung durch Nutzung eines weiterentwickelten Lanzen-Einblasssystems

- Eine, zwei oder mehr Lanzen werden im oberen Bereich der Verbrennungszone installiert
- Luft wird mit hoher Geschwindigkeit eingeblasen (ggf. mit Ammoniak)
- Gestufte Verbrennung erlaubt geringeren Luftüberschuss und damit geringere NO_x-Bildung
- Wesentlich verbesserter Mischvorgang, der den Ausbrand erhöht und so die Umwandlung von NO_x in N₂ wesentlich vereinfacht



2.1 Der ECOTUBE® CO-Reduktions-Prozess

ECOTUBE® reduziert und stabilisiert CO!

(Hauptgrund für die Korrosion an den Kesselkomponenten, insbesondere an Wänden)

Wie wird das erreicht?

Die chemische Reaktion zwischen CO und O₂ bildet CO₂. Ecotube liefert zusätzliches O₂, fördert die gleichmäßige Verteilung und erhöht die Verweildauer, so dass mehr Reaktio-

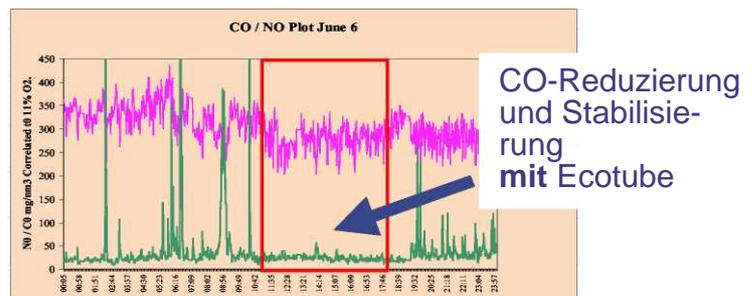
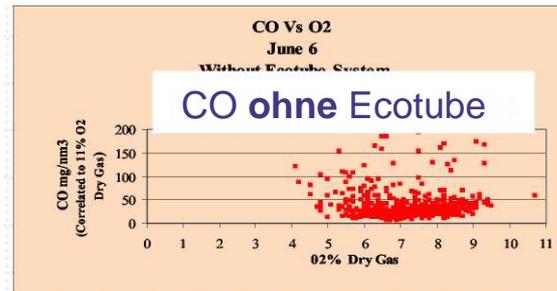
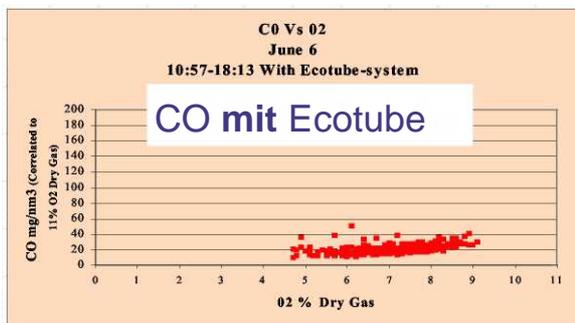
nen im richtigen Temperaturbereich stattfinden. Ein wichtiges Kriterium, wenn es um eine effiziente CO-Reduzierung und -Stabilisierung geht.

Typischer Bereich für die CO-Reduzierung: 750 - 950 °C

- verzögerte Reaktion bei Temperaturen < 750 °C
- verzögerte Reaktion bei Temperaturen > 950 °C

Coventry Plant England, Feasibility-Studie (Stand: Juni 2001); Ecotube erzielte hervorragende Ergebnisse bei der Korrosions- und Verschleißminderung im Kessel:

1. reduziertes O₂
2. geringeres und stabileres CO
3. reduzierte Geschwindigkeiten



2.2 ECOTUBE[®] verhindert Korrosion im Kessel

Korrosion hat seine Ursache normalerweise in:

- hoher Chlor-Konzentration im Brennstoff
- schlechter Verbrennungsführung
- hohen Gastemperaturen
- hohen Wandtemperaturen
- lokalen Bereichen mit reduzierender Atmosphäre
- Verschleiß an der Rohroberfläche

Korrosionsmechanismus „Angriff aus der Gas-Phase“

- Sich ständig ändernde Bedingungen führen in oxidierender/reduzierender Atmosphäre zu Nicht-Gleichgewichtszuständen und chemischen Reaktionen.
- Dies führt zu rapidem Porenwachstum in der Magnetit- und Hämatit-Schutzschicht.
- Glühende unverbrannte Brennstoffpartikel führen zu weiterer Freisetzung von CO- und HCl-Substanzen.
- CO und HCl leitet Reaktionen ein, welche die poröse Schutzschicht durchdringen und somit das Rohrmaterial angreifen.

- Gesinterte Ascheablagerungen verhindern den Zutritt von Sauerstoff und verstärken lokal die reduzierenden Bedingungen in der porösen Schicht.

Korrosionsmechanismus „Salz-Angriff“

- Bei niedriger Temperatur schmelzende Metallchloride reagieren mit der schützenden Eisenschicht, die als Eisenchlorid verschwindet.
- Dies hinterlässt eine (blanke) Metalloberfläche, an der sich Oxidation und anschließende Auflösung als Eisen-Chlorid zyklisch wiederholen.
- Komplexe korrosive Verbindungen aus der Verbrennungszone kondensieren im Konvektionsbereich. Es bilden sich dünne Schichten, die aus sehr korrosiven Flüssigkeiten bestehen. Diese Schichten lagern sich auf der Oxid-Schutzschicht der Rohre ab.

Korrosionsmechanismus „Beschleunigung durch Erosion“

- Erosionsrate auf den Rohren steigt exponentiell mit der Geschwindigkeit ($E \sim v^{3,5}$).
- Schlecht verteiltes Rauchgas mit lokal hohen Geschwindigkeiten führt zusammen mit ausgetragener Flugasche zu beschleunigter Rohr-Erosion.
- Erosion beschleunigt die Gas- und Flüssigkeitsphasenkorrosion, weil die Oxid-Schutzschicht zerstört wird und dadurch korrosive Reaktionen leicht stattfinden können.

Damit lässt sich zusammenfassend festhalten:

ECOTUBE® verhindert feuerseitige Korrosions- und Erosionsmechanismen

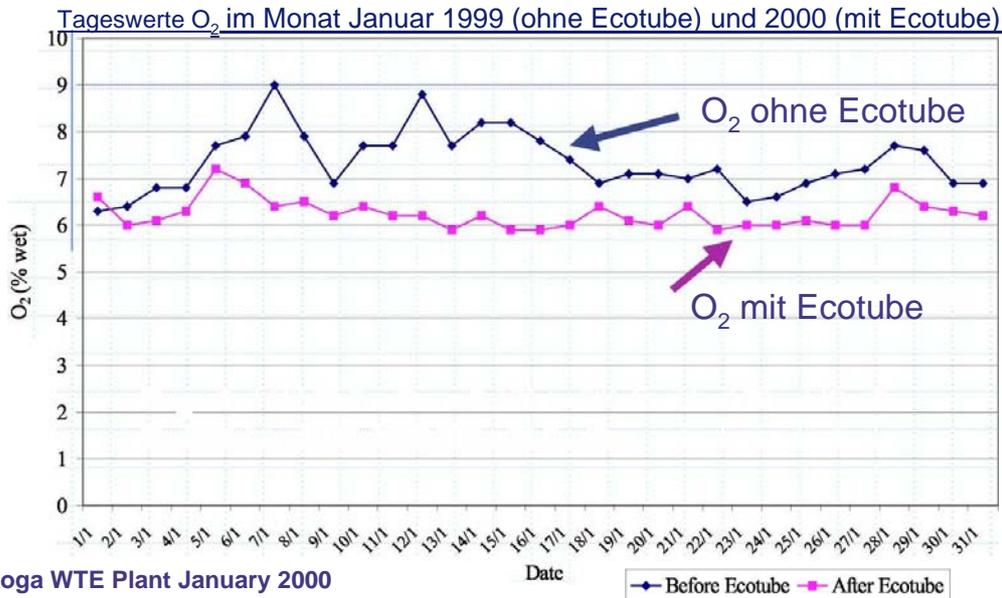
- Garantiert hohe Turbulenz für eine komplette Durchmischung und optimale Verbrennung ohne Rückstände
- Verhindert Temperatursprünge und reduziert Unverbranntes in der Asche
- Chemische Reduzierung und Stabilisierung von CO
- Verteilt und minimiert hohe CO- und HCl-Konzentrationen
- Vermeidet lokale Bereiche mit reduzierender Atmosphäre
- Reduziert Erosionsgeschwindigkeiten und verhindert dadurch eine beschleunigte Gas und Flüssigkeitsphasenkorrosion

2.3 ECOTUBE® ermöglicht eine hohe NO_x-Reduzierung

- Erlaubt niedrigere stöchiometrische Verhältnisse im Kessel und reduziert NO_x bei gestufter Verbrennung
- Erlaubt weniger Überschussluft an den Brennern und sorgt damit für eine Minderung der NO_x-Bildung
- Verlängert Verweilzeit für die Umwandlung von NO zu N₂
- Bringt (falls nötig) Reagentien in die Brennkammer, dorthin wo die NO_x-Formation stattfindet
 - Einblasung von Ammoniak über die Lanzen – bevorzugt für effiziente NO_x-Reduzierung

- Höhere Turbulenz gewährleistet eine effizientere chemische Reaktion
- Reduziert NO_x an der Quelle, statt durch andere (Nachbehandlungs-)Methoden, wie z.B. SCR System oder Einblastechnik weiter hinten im Rauchgassystem

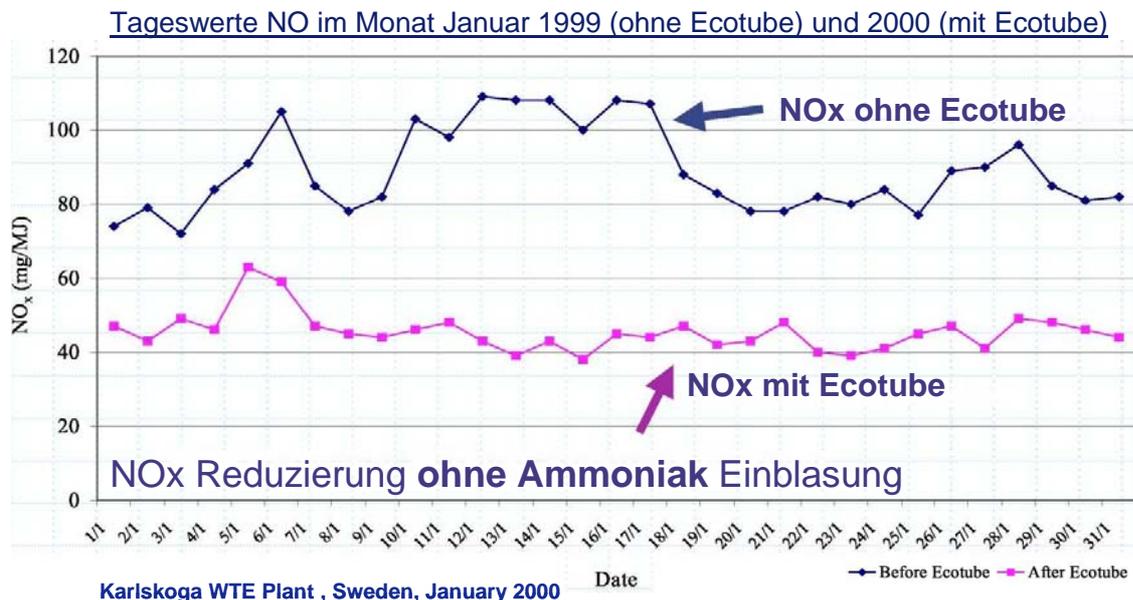
2.3.1 ECOTUBE[®] Lanzeneinblasung – gestufte Sekundärlufteinblasung verhindert NO_x-Bildung durch Reduzierung von O₂



Obiges Bild zeigt die Reduzierung des O₂-Gehaltes an einer Müllverbrennungsanlage in Schweden nach Einführung von ECOTUBE[®].

2.3.2 ECOTUBE[®] Reduzierung NO_x

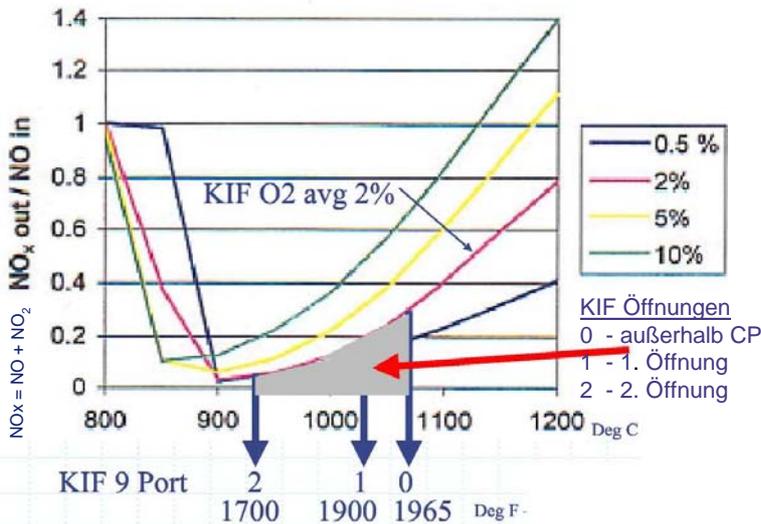
Das folgende Bild zeigt die zugehörige NO_x-Minderung im gleichen Zeitraum bei Einsatz von ECOTUBE[®].



2.3.3 SNCR NO_x-Reduzierung

Will man eine weitere NO_x-Reduzierung erreichen, bietet sich die Verwendung einer SNCR an, die in die Ecotubes integriert werden kann.

Coal Fired Plant Chemical NO_x Reduction Model, Abo Akademi University – Finland for ECOMB AB, Feb 2001 und Messungen von TVA U9 bei KIF Plant (Kingston Fossil Plant)



Bereich der NO_x-Reduzierung

- * Start mit 70% Reduzierung bei 1965 deg. F
- * weitere Reduzierung bis 96% bei 1700 deg. F.

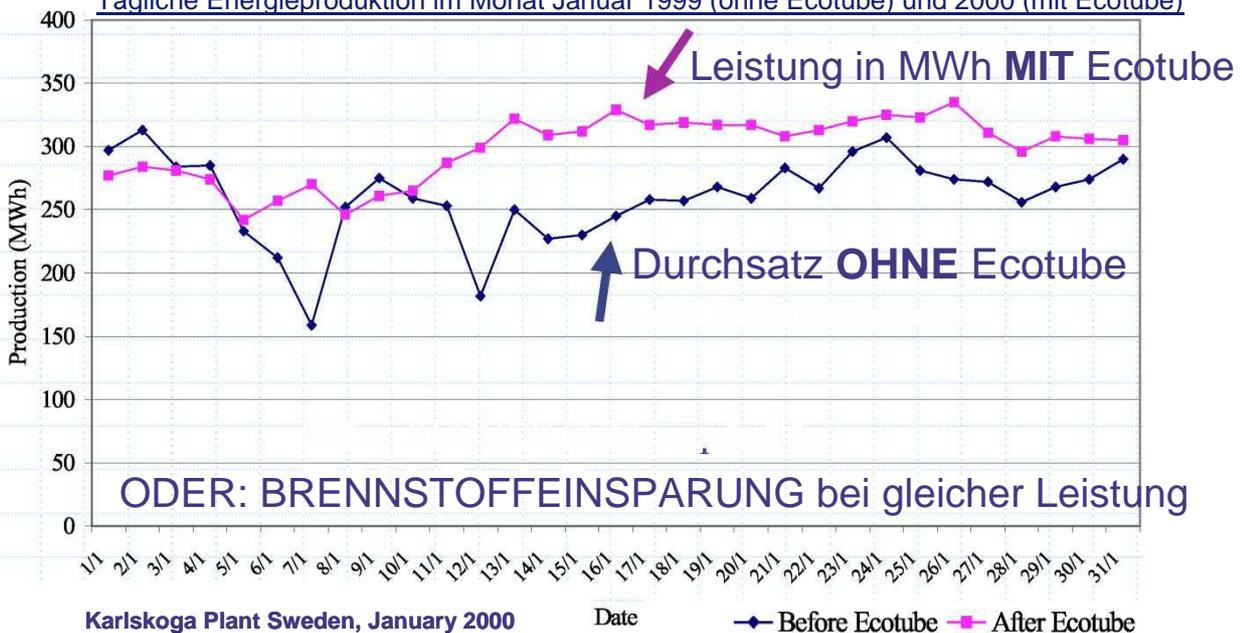
Das Ecotube System garantiert im gekennzeichneten Bereich nahezu vollständige Entstickung mit SNCR!

2.3.4 ECOTUBE[®] erhöht die Leistung!

Als weiteren Zugewinn erreicht man eine Leistungssteigerung der Gesamtanlage und damit beträchtliche wirtschaftliche Vorteile.

Das folgende Bild zeigt die Maßwerte (Tageswerte) der gleichen Anlage für denselben Zeitraum wie für die beiden vorigen Bilder.

Tägliche Energieproduktion im Monat Januar 1999 (ohne Ecotube) und 2000 (mit Ecotube)



3 Implementierung und Praxiserfahrungen

3.1 Implementierung in mehreren Stufen

ECOTUBE® bietet durch stufenweises Vorgehen die Möglichkeit, die Systemleistung ohne große Investitionskosten zu testen :

Phase I

- Engineering plus Systemkonfiguration – Datensammlung/-erfassung an der Anlage inklusive umfassendem Bericht und Basic-Engineering
- Anlagen/Systeminstallation „einzelner“ Komponenten und Versuche mit manueller Verstellung

Phase II

- Installation der kompletten Anlage für den Dauerbetrieb inklusive Steuerung und evtl. Additiveinblasung

3.1.1 Phase I: Engineering

- Ermitteln des anlagespezifischen Kesselverhaltens
 - Temperaturprofil
 - Videoerfassung der Strömungsverhältnisse
 - NO_x-Profil
 - Anlagenkonfiguration
- Integration von ECOTUBE® in die bestehende Anlagenkonfiguration
- Ermittlung der möglichen Verbesserungen durch Ecotube

3.1.2 Phase I: Manuelle Installation von Ecotube

- Installation des ECOTUBE®-Lanzen-System mit partieller Ausrüstung für manuelle Bedienung
 - Manuelles Ein- und Ausfahren der Ecotube
 - Manuelle SNCR-Einblasung falls notwendig
- Auswertung der erreichten Verbesserungen
- Ermittlung der optimalen ECOTUBE®-Einstellungen für die NO_x-Reduzierung
- Einstellung der Konfiguration für die Dauerinstallation von ECOTUBE®
- Ermittlung der Leistungsgarantie

3.1.3 Phase II: Permanente Installation von Ecotube

- Einbau des vollständigen Ecotube-Systems
 - Rohr-Lanzen-System
 - Elektrische Steuerung (PLC-System)
 - Ventilatoreinbau
 - Wärmeaustauscher und Kühlsystem für die Lanzen
 - Automatisches SNCR-Ammoniak-Einblssystem

- Schulung des Bedienpersonals, Sicherheitseinweisung, Projektübergabe usw.

3.2 Praxiserfahrungen

3.2.1 ECOTUBE[®]-System – Vorteile durch die Praxis bestätigt

- ERHÖHT VERBRENNUNGSWIRKUNGSGRAD
 - Radikal verbesserte Turbulenz und damit perfekte Mischung der Verbrennungsgase
 - Niedrigeres stöchiometrisches Verhältnis, wodurch sich der thermische Wirkungsgrad erhöht
 - Überschussluft sinkt um 1 % oder mehr
- REDUZIERUNG NO_x
 - Reduzierung NO_x um 30 – 50 % durch gestufte Sekundärluft
 - Zusätzliche NO_x-Reduzierung um 60 –90 % durch Verwendung von Ammoniak-Einblasung möglich
 - Reduzierung des Ammoniak Slip ~ 5 - 10 ppm
- REDUZIERUNG von CO sowie Minimierung von CO-Spitzen bis < 200 ppm
- REDUZIERTER BRENNSTOFFVERBRAUCH bzw. entsprechende LEISTUNGS-ERHÖHUNG im Bereich von 2 – 10 %
- REDUZIERTE KORROSION an Heizflächen, Überhitzern und Economizer
 - Reduziert Korrosion in der Gasphase
 - Reduziert Korrosion in der Flüssigphase
- REDUZIERT EROSION – da die Systemgeschwindigkeiten herabgesetzt werden und dadurch weniger Verschleiß an den Rohren auftritt
- REDUZIERT FLUGASCHE und Verluste durch Unverbranntes
- GERINGERER LEISTUNGSBEDARF für FD-/ID-Ventilatoren
- Ermöglicht IN ZUKUNFT STRENGERE UMWELTAUFLAGEN zu erfüllen
- Minimale Stillstandzeiten (nur 3 - 4 Tage) zur Installation erforderlich
- Einsetzbar als Nachrüstsatz in bestehenden **MVA's**
- Keine großen Kanal- oder Kesselmodifikationen erforderlich

3.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung und Wettbewerb

3.3.1 Warum ECOTUBE[®] SYSTEM?

- Industriell genutzte Technologie für
 - Gestufte Verbrennung :
 - Langzeiterprobte und kundenakzeptierte Lösung zur Erhöhung der Verbrennungseffizienz; beseitigt Korrosion, Erosion an der Wand und begrenzt die Bildung von NO_x mit über 200.000 Stunden Betriebserfahrung
 - Selective Non-Catalytic Reduction (SNCR):
 - Langzeiterprobte und kundenakzeptierte Lösung zur Umwandlung von NO_x in unschädliches N₂

- Neue fortgeschrittene Technologie erhöht die Systemzuverlässigkeit signifikant
- Reduziert NO_x

3.3.2 Wirtschaftliche Vorteile und Kosteneinsparung

- Niedrigere Wartungs- und Reparaturkosten und weniger Produktionsausfälle/Stillstandszeiten durch Korrosion/Erosion an Rohrwänden
- Erhöhung der Produktion um 2 bis 10 % durch besseren Kesselwirkungsgrad
- Reduzierung der NO_x-Werte, um europäische Standards zu erfüllen

4 Zusammenfassung

ECOTUBE[®] SYSTEM ist ein innovatives System zur Optimierung von Verbrennungsverfahren. Eine Methode, die durch geringere Abgasemissionen, Wartungs- und Betriebskosten wirtschaftliche Vorteile bringt:

- Signifikante Reduzierung von Korrosion/Erosion im Kessel und zweiten Zug einschl. Economizer
- Signifikante Erhöhung der Zuverlässigkeit und Leistung, Flexibilität und Produktion
- Reduzierung von CO, NO_x und VOC

Kontaktinformation:

Dipl.-Ing. Ulf Hagström, ECOM AB, Box 2017, SE-15102 Södertälje, email: ulf@ecomb.se

Dipl.-Ing. Eric Norelius, ECOM AB, Box 2017, SE-15102 Södertälje, e-mail: eric@ecomb.se

Dipl.-Ing. Klaus Schneider, Ingenieurbüro Klaus Schneider, Melchiorstr. 11, D-50670 Köln, e-mail: schneider@enviro-engineering.de