

# Das SNCR- Verfahren – eine bewährte Technologie zur deutlichen NO<sub>x</sub>- Minderung bei Abfallverbrennungsanlagen

Zoltan Teuber

1. Einleitung
2. Maßnahmen zur Reduzierung der NO<sub>x</sub>- Emissionen
3. Das SNCR- Verfahren als Sekundärmaßnahme zur NO<sub>x</sub>- Reduzierung
4. Zusammenfassung
5. Literatur

## 1. Einleitung

Beim Einsatz von Kohle, Erdölprodukten, Erdgas sowie Haus- und Sondermüll zur Energieerzeugung in Verbrennungsanlagen entstehen Schadstoffe, die mit dem Rauchgas emittiert werden. Stickoxide (NO<sub>x</sub>), einer der Hauptschadstoffe, bilden sich in erheblichem Maße.

Durch die Reaktion von Stickoxiden mit anderen Atmosphärenbestandteilen entsteht z. B. Ozon und führt zum so genannten Sommersmog. Andere Reaktionsprodukte, z. B. Salpetersäure, werden mit dem Niederschlag (saurer Regen) in Wasser und Boden eingetragen. Die dadurch bedingte Nitratanreicherung wirkt sich negativ auf Menschen, Pflanzen und Tiere aus.

Aus diesen Gründen sind mittlerweile in allen Industrieländern Gesetze erlassen worden, um die Stickoxidemissionen zu begrenzen. Diese Grenzwerte werden dem Stand der Technik stets angepasst und darum periodisch verschärft.

Werden die NO<sub>x</sub>- Emissionen nach Industriesektoren betrachtet, so wird durch die Verbrennungsanlagen mehr als die Hälfte verursacht (Abb. 1) [3].

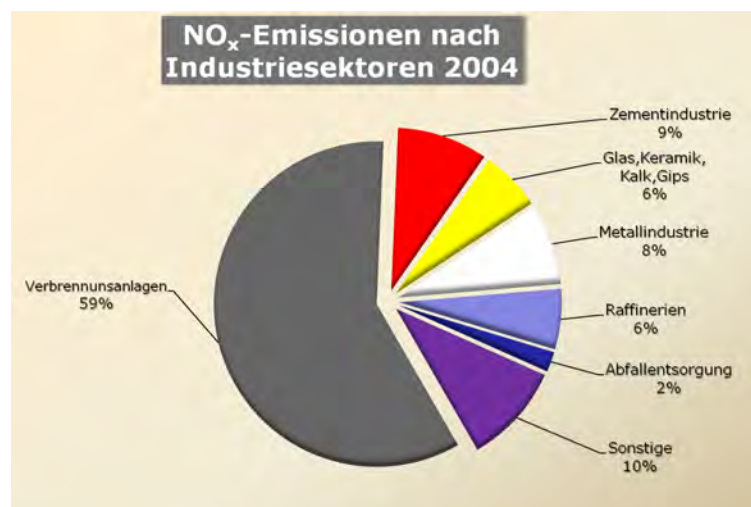


Abb. 1: NO<sub>x</sub>-Emissionen in nach Industriesektoren  
Quelle: Umweltbundesamt: Daten zur Umwelt, 2006, bearbeitet

Stickoxyde bilden sich teils durch die Oxydation des Stickstoffs aus der Verbrennungsluft bei hohen Verbrennungstemperaturen – man spricht in diesem Fall vom so genannten thermischen  $\text{NO}_x$  – teils durch die Oxydation des im Brennstoff organisch gebundenen Stickstoffs. Der Stickstoffgehalt im Brennstoff beeinflusst maßgeblich die Höhe der  $\text{NO}_x$ -Emission (Abb. 2).

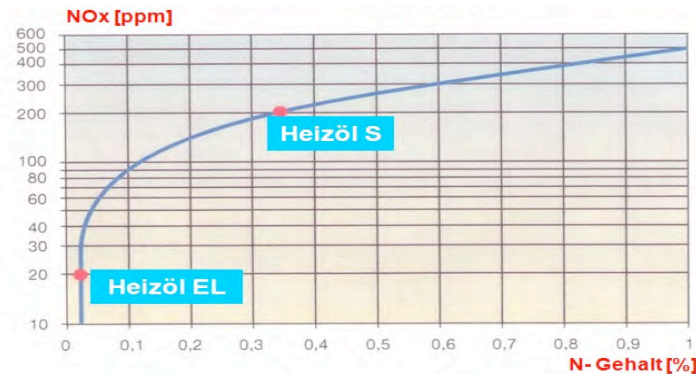


Abb. 2 Einfluss des N- Gehaltes in Brennstoff auf  $\text{NO}_x$ - Emission  
Quelle: BWK

Neulich wird die Betrachtung der  $\text{NO}_x$ - Emissionen mit der Betrachtung weiterer Emissionen korreliert, um daran einerseits das Maß an unerwünschten Nebenemissionen zu ermitteln und andererseits die Qualität der Anwendung gewisser Verfahren zu messen. Zu diesen unerwünschten Nebenemissionen zählen der sogenannte Ammoniakschlupf ( $\text{NH}_3$ ) und die Lachgasemission ( $\text{N}_2\text{O}$ ), sowie deren Folgeerscheinungen.

## 2. Maßnahmen zur Reduzierung der $\text{NO}_x$ - Emissionen

Die im Industrie- und Kraftwerksbereich, aber gleichermaßen auch bei Abfallverbrennungsanlagen, angewendeten Maßnahmen zur  $\text{NO}_x$ - Reduzierung lassen sich grundsätzlich in 2 Kategorien unterteilen:

- **Primärmaßnahmen**, oder vorbeugende Maßnahmen, die die Entstehung von  $\text{NO}_x$  verhindern
- **Sekundärmaßnahmen**, oder nachgeschaltete Maßnahmen, die das bereits vorhandene  $\text{NO}_x$  im Rauchgas wirksam reduzieren

Zu den Primärmaßnahmen gehören:

- die gestufte Luftzufuhr
- die gestufte Brennstoffzufuhr
- die Rauchgasrückführung

Oftmals können bereits in der Projektierungsphase von neuen Verbrennungsanlagen konstruktive Maßnahmen vorgesehen werden – z. B. die gezielte Gestaltung von Feuerräumen – die eine verstärkte  $\text{NO}_x$ -Bildung unterbinden. Primärmaßnahmen wirken weitestgehend in Richtung Reduzierung des thermischen  $\text{NO}_x$ .

Dem gegenüber sind als Sekundärmaßnahmen folgende Methoden verbreitet:

- das SNCR- Verfahren
- das SCR- Verfahren
- die Kombination beider o. g. Verfahren

In diesem Vortrag wird auf die Anwendung des SNCR- Verfahrens bei Abfallverbrennungsanlagen als wirksame Sekundärmaßnahmen hingewiesen. Ziel dieser Maßnahme ist, einen  $\text{NO}_x$ - armen Betrieb, innerhalb der geforderten Grenzwerte, im Dauerbetrieb zu gewährleisten.

### 3. Das SNCR- Verfahren als Sekundärmaßnahme zur $\text{NO}_x$ - Reduzierung

Sollte die Anwendung von Primärmaßnahmen zur Unterschreitung des  $\text{NO}_x$ - Grenzwertes nicht ausreichen, so sind Sekundärmaßnahmen erforderlich. Unter allen bekannten Sekundärmaßnahmen die bei Abfallverbrennungsanlagen praktiziert werden, ist das SNCR- Verfahren das heute am meisten verbreitete.

Eine der ersten – vielleicht die erste in der Bundesrepublik Deutschland errichtete SNCR- Anlage stammt aus dem Jahre 1989, nur für 8 MW, ausgelegt für den rauen Raffineriealltag, an einem mit Schweröl befeuerten Dreizugkessel mit seinen verfahrenstechnischen Besonderheiten.

Das damalige Ziel der  $\text{NO}_x$ - Emission lautete  $450 \text{ mg /Nm}^3$ , bei einem Ausgangswert von etwa  $850 \text{ mg /Nm}^3$ . Begriffe wie  $\text{NH}_3$ - Schlupf, Lachgasemission ( $\text{N}_2\text{O}$ ), Ammoniumhydrogensulfat ( $\text{NH}_4\text{HSO}_4$ ), usw. waren damals noch Fremdworte [1].

In den zwanzig Jahren hat sich viel auf dem Gebiet der Entstickung getan. Das SNCR- Verfahren hat sich in fast allen Bereichen der Verbrennungstechnik durchgesetzt, sowohl im Kraftwerksbereich als auch bei der thermischen Abfallbehandlung.

Immer neuere Anforderungen an die Emissionsgrenzwerte werfen nun die Frage auf, ob die SNCR- Technik noch über das dazu notwendige Entwicklungspotential verfügt und wenn ja, wie sich die Umsetzung in der Praxis bewährt.

Beim SNCR- Verfahren, dem selektiven nicht katalytischen Reduktionsverfahren, wird das Reduktionsmittel Ammoniakwasser oder Harnstoff in den Feuerraum im Temperaturbereich von  $850$  bis  $1.080 \text{ }^\circ\text{C}$  (Abb. 3) eingedüst. Hierbei werden die Stickstoffoxide in Stickstoff ( $\text{N}_2$ ) und Wasser ( $\text{H}_2\text{O}$ ) umgewandelt.

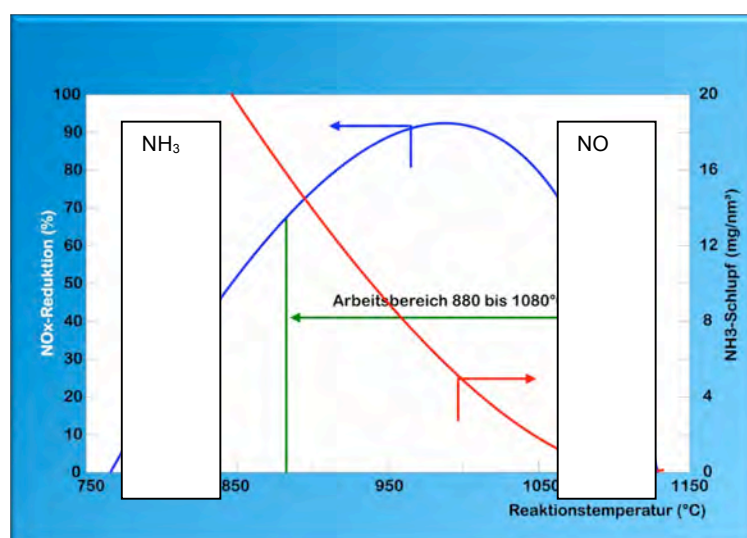
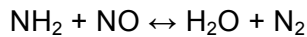
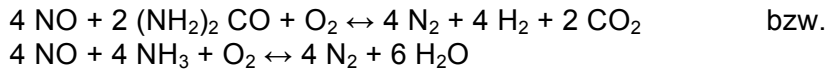


Abb. 3:  $\text{NO}_x$ - Reduktion und  $\text{NH}_3$ - Schlupf in Abhängigkeit der Reaktionstemperatur

Aus den Reduktionsmitteln bilden sich im wirksamen Temperaturbereich von 850 bis 1.080 °C Aminradikale, die in einer homogenen Gasphasenreaktion mit dem aus der Verbrennung stammenden NO zu Stickstoff und Wasser reagieren:



Die Gesamtreaktion beim Einsatz von Harnstoff oder Ammoniak sind:



Gemäß Abb. 3 führen Reaktionstemperaturen außerhalb des wirksamen Temperaturfensters zu unerwünschten Betriebsergebnissen, wie folgt:

- bei zu niedriger Temperatur zu erhöhtem Ammoniakschlupf (durch verringerte Reaktionsgeschwindigkeit)
- bei zu hoher Temperatur zu erhöhter NO<sub>x</sub>- Emission (durch Aufoxydierung des NH<sub>2</sub>)

Es ergibt sich im Bereich über 940 °C das Arbeitsfenster für den Betrieb bei maximaler NO<sub>x</sub>-Reduktion und Einhaltung von < 10 mg/Nm<sup>3</sup> Ammoniakschlupf.

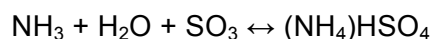
Ammoniakschlupf führt zu möglichen Nebenreaktionen, wie:

- Bildung von Ammoniumsulfat (abhängig von der Konzentration der Reaktionspartner), bei Abgastemperaturen unterhalb von 350 °C



Ammoniumsulfat belastet Flugasche und Abgasbehandlungsrückstände.

- Bildung von Ammoniumhydrogensulfat, bei Temperaturen unterhalb von 160 °C



In der Regel bindet die Reaktion zwischen SO<sub>3</sub> und NH<sub>3</sub> das Schwefeltrioxid bereits bei höheren Temperaturen vollständig. Somit entsteht selten Ammoniumhydrogensulfat. Dieses würde auf Wärmetauscherflächen haften und zu Korrosionsschäden führen.

- Bildung von Ammoniumchlorid, bei entsprechenden hohen HCl-Konzentrationen im Reingas und Temperaturen von unter 140 °C



Ammoniumchlorid belastet ebenfalls die Abgasbehandlungsrückstände.

- Bildung von Lachgas und / oder Kohlenmonoxid

Solange die Reaktionstemperatur ausreichend hoch ist, haben die Bildung von Lachgas (N<sub>2</sub>O) und der unvollständige Umsatz von Kohlenmonoxid keinen messbaren Einfluss auf die Reingasqualität.

Ein erhöhter CO- Restwert könnte verursacht werden durch kalte Strahlen, die durch das Kühlen des Abgases mit Wasser an der Eindüsstelle entstehen.

Allerdings wird das Reduktionsmittel, zur Vermeidung von hohen Ammoniakemissionen, oberhalb 900 °C eingesprüht. Somit sind bei modernen Anlagen sowohl CO- Emissionen als auch Ammoniakschlupf und daraus entstehende Nebenprodukte vernachlässigbar.

Zur Verminderung der Nebenreaktionen hat sich neben der Weiterentwicklung der Anlagentechnik auch der Einsatz von Harnstoff anstelle von Ammoniak als effektive Optimierungsmaßnahme erwiesen, weil Ammoniak – entweder als Gas oder aus Ammoniakwasser – bereits bei Temperaturen weit unterhalb 100 °C verdampft und somit der Transport in den Kern des Abgasstromes nur sehr aufwändig, mit einer großen Anzahl an Eindüslanzen und Ebenen, zu realisieren ist. Andernfalls entweicht ein großer Teil des eingedüsten Ammoniaks unverbraucht aus der Reaktionszone und führt zu den oben beschriebenen negativen Folgen.

Dem gegenüber verbleibt Harnstoff, in Wasser gelöst, nach der Eindüsung bis zum vollständigen Verdampfen des Wassertropfens weitgehend inert und generiert dann erst sukzessive die für die Reaktion notwendigen Aminradikale. Die Aminradikale gelangen dadurch direkt in den NO<sub>x</sub>- reichen Abgaskern. Deshalb ist es mit Harnstoff, bei geschickter Einstellung der Verdüsungssysteme, in einfacherer Weise möglich, den Ammoniakschlupf weitestgehend zu minimieren. Das erlaubt die Verwendung einer geringeren Anzahl an Eindüslanzen und Eindüseebenen.

Heute gelten für Abfallverbrennungsanlagen als NO<sub>x</sub>- Emissionsgrenzwert noch 200 mg/Nm<sup>3</sup>. Für den NH<sub>3</sub>- Schlupf ist kein genereller Grenzwert festgesetzt. Zukünftig werden die Grenzwerte für NO<sub>x</sub> und NH<sub>3</sub> 100 bzw. 10 mg/Nm<sup>3</sup> sein.

Dieser Sprung stellt für SNCR- Anlagen eine Herausforderung dar, zumal das konkurrierende Verfahren dazu die selektive katalytische Reduktion (SCR) ist. Um einen NO<sub>x</sub>- Emissionswert von 100 mg/Nm<sup>3</sup> im Tagesmittel sicher zu unterschreiten, sind Betriebswerte von < 90 mg/Nm<sup>3</sup> anzustreben. In der öffentlichen Diskussion wird häufig darauf hingewiesen, dass die 100/10- Werte in sehr vielen Abfallverbrennungsanlagen mit der SCR- Technologie bereits heute sicher eingehalten werden und dass nur wenige SNCR- Anlagen dieses Ziel erreichen. Die Erklärung für dieses Ungleichgewicht ist einleuchtend: wenn *nur* 200 mg/Nm<sup>3</sup> gefordert werden, dann wird jeder Betreiber aus Kostengründen seine Investition und seinen Betriebsmitteleinsatz hierauf abstellen.

Abb. 4 zeigt das vereinfachte Verfahrensfliessbild einer SNCR- Anlage, die mit einem Reduktionspotential bis zu 60 % der Anforderung 200 mg/Nm<sup>3</sup> bei einem NH<sub>3</sub>-Schlupf zwischen 5 und 15 mg/Nm<sup>3</sup> genügt.

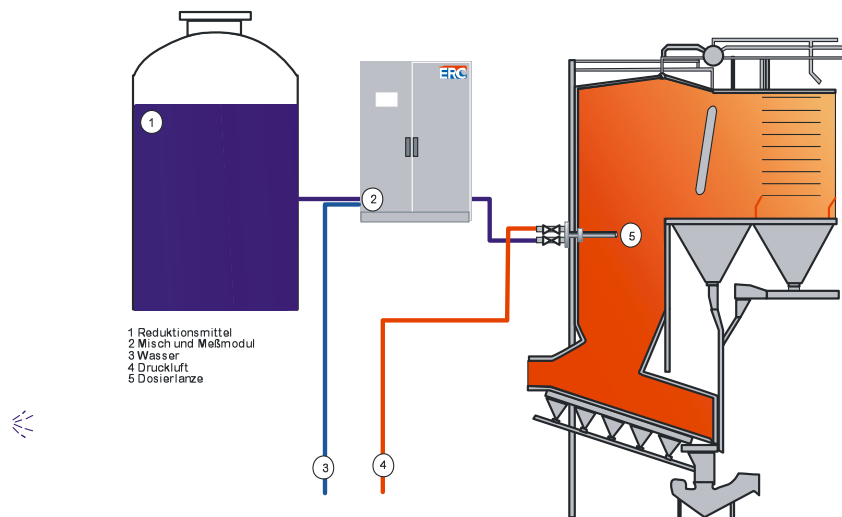


Abb. 4 Verfahrensschema einer SNCR- Anlage mit einer Standard-Dosieranlage für das Reduktionsmittel Harnstoff

Gekennzeichnet wird diese Anlage durch in Schutzrohre montierte Wandlanzen, verteilt in eine oder in zwei Verdüsungsebenen. Damit konnten bei günstigen Bedingungen auch  $\text{NO}_x$ - Werte unter  $100 \text{ mg/Nm}^3$  erreicht, aber nicht garantiert werden.

Einflussgrößen wie

- Kesselschmutzung während der Reisezeit,
- Temperatur- und Mengenschief lagen,
- große Feuerräume mit zum Teil mehreren parallelen Rostbahnen
- Grenzwerte 100/10

bedingen eine Aufrüstung entsprechend Abb. 5.

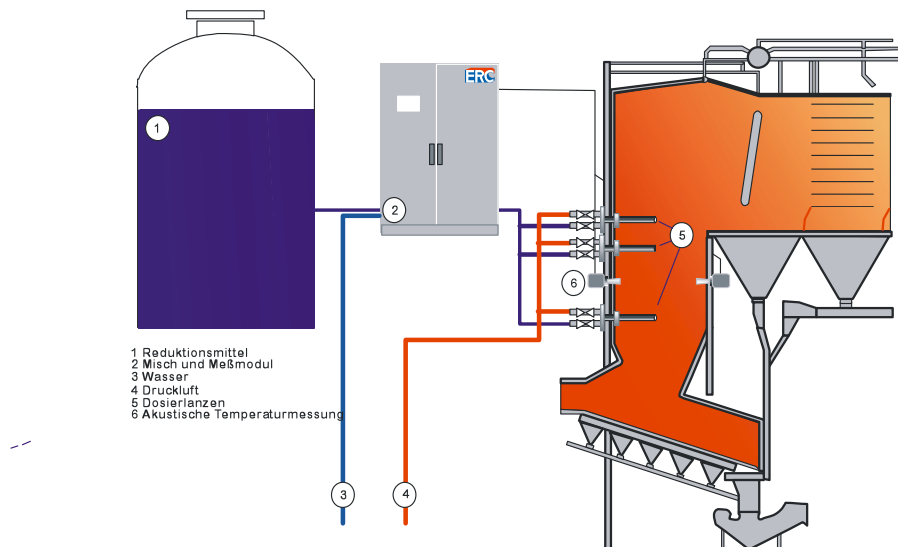


Abb. 5 Verfahrensschema einer SNCR- Anlage mit 3 Eindüsungsebenen und Temperaturmessung

Kennzeichnend dafür sind

- Gruppen- oder Einzelschaltung von Lanzen
- schnelle Umschaltung der Verdüsungsebenen
- Erfassung der Temperaturverteilung im Kessel (z. B. durch verschiedene Temperaturmesssysteme)
- Steuerung der Ebenen, der Gruppen- oder der von Einzellanzen durch Temperatur geführte Änderung der Eindüsmengen und Eindüspunkte
- optimierte Feuerungsführung



Mit diesem Maßnahmenpaket sind Emissionswerte für NO<sub>x</sub>, bzw. NH<sub>3</sub> von 100 / 10 mg/Nm<sup>3</sup> sicher einzuhalten. Erste Anlagen mit höherer Abscheideleistung sind schon seit Jahren in Betrieb und haben die Zuverlässigkeit dieser Technik bewiesen, siehe beispielsweise Abb. 6, in der der Betrieb über 1 Monat dargestellt ist.

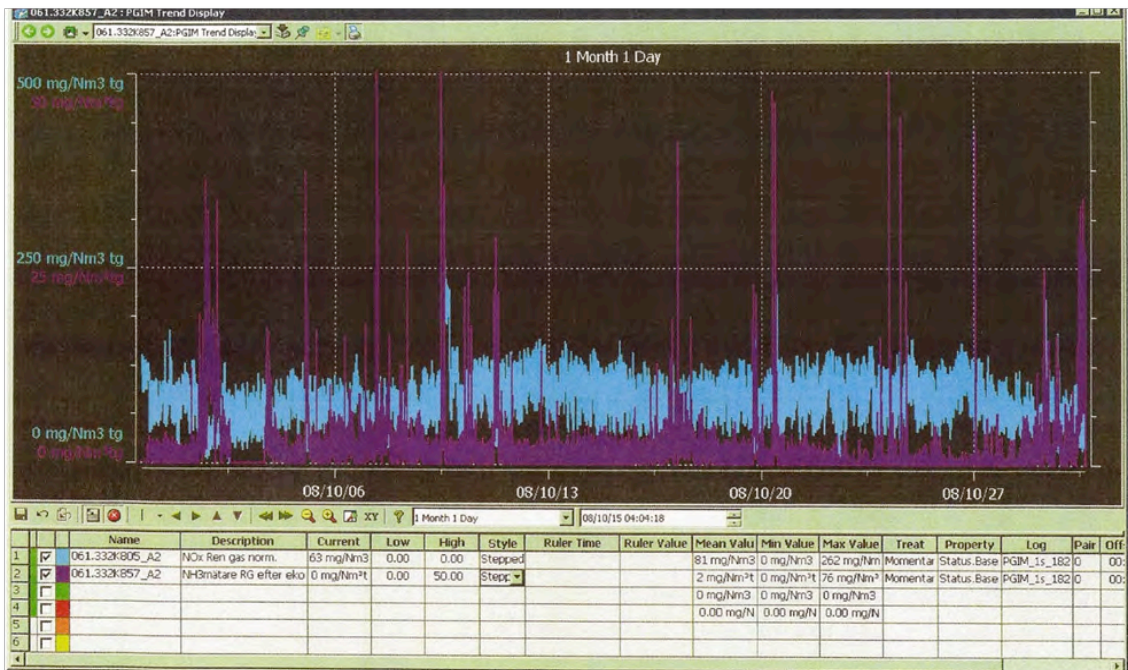


Abb. 6 NO<sub>x</sub>- Emission und NH<sub>3</sub>- Schlupf in einer Abfallverbrennungsanlage über eine Betriebsdauer von 1 Monat

In Tabelle 1 sind die Betriebsdaten weiterer bereits existierender Anlagen, die o.g. Forderungen erfüllen, zusammengefasst.

Tabelle 1

Brennstoff Anlage Land	Hausmüll Klemetsrud (N)	Altholz Holz & Stock (CH)	Hausmüll Amsterdam (NL)	Hausmüll Linköping (S)
Leistung	2 x 10 t/h	11 MW	2 x 113 t/h	1 x 68 MW
NO <sub>x</sub> -Ausgangswert (mg/Nm <sup>3</sup> )	400	400	350	320
NO <sub>x</sub> -Emissionswert (mg/Nm <sup>3</sup> )	< 100	< 80	< 70	< 65
NH <sub>3</sub> -Schlupf (mg/Nm <sup>3</sup> )	< 10	< 10	< 10	< 10
Reduktionsmittel	carbamin (Harnstoffträger)	carbamin (Harnstoffträger)	Ammoniakwasser	carbamin (Harnstoffträger)
Anzahl der Lanzen	1 x 3	1	2 x 12	1 x 6

Quelle: Pachaly, R.: Erfahrungen mit SNCR-Technologie für Stickoxidgrenzwerte unter 100 mg/Nm<sup>3</sup>. Vortrag auf der Fachtagung Optimierung in der thermischen Abfall- und Reststoffbehandlung – Perspektiven und Möglichkeiten.

Die größte Brennkammer einer Abfallverbrennungsanlage, die mit einer SNCR-Anlage ausgerüstet wurde, hat die Maße 6 x 13,2 m. Die niedrigste NO<sub>x</sub> -Emission, die aktuell kontinuierlich mit einer SNCR erreicht wird, liegt bei < 55 mg/Nm<sup>3</sup>, trocken im Tagesmittel bei einem Ammoniakslupf von unter 10 mg/Nm<sup>3</sup>, im trockenen Abgas.

#### **4. Zusammenfassung**

Primärmaßnahmen allein sind nicht immer ausreichend zur Erfüllung der Anforderung hinsichtlich der NO<sub>x</sub>- Emissionen.

Der ideale Weg zum Erreichen der NO<sub>x</sub>- Anforderungen ist die Ausschöpfung der Primärmaßnahmen und die ergänzende Anwendung von Sekundärmaßnahmen, vorzugsweise des SNCR- Verfahrens.

Die SNCR- Technik hat heute einen Entwicklungsstand erreicht, der den strengsten Emissionsgrenzwerten genügt. Nach fachgerechter Umrüstung können auch bestehende SNCR- Anlagen den strengeren Anforderungen genügen.

#### **5. Literatur**

[1] Reynolds, T.; Meurer, J.-D.: Industrieller Einsatz von Heizöl S unter Einsatz der SNCR- Technik. Die Industriefeuerung 61, Vulkan-Verlag Essen

[2] Umweltbundesamt: Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen 1990 – 2006. Emissionsentwicklung in Deutschland seit 1990 nach Quellgruppen, NO<sub>x</sub>-Emissionen.

[3] Tebert, C.: NO<sub>x</sub>-Minderung in der Zementindustrie. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Energie aus Abfall, Band 4. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2008

[4] Umweltbundesamt: Daten zur Umwelt, 2006

[5] Pachaly, R.: Erfahrungen mit SNCR- Technologie für Stickoxidgrenzwerte unter 100 mg/m<sup>3</sup>, Vortrag auf der Fachtagung Optimierung in der thermischen Abfall- und Reststoffbehandlung – Perspektiven und Möglichkeiten. Potsdam, Februar 2008, Texocon, Potsdam

[6] Reynolds, T.: Mit SNCR- Technik werden die Grenzwerte der 37. BImSchV erreicht. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Energie aus Abfall, Band 5, Neuruppin, TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2008, S. 461-472



Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

**WASTE MANAGEMENT**, Volume 2

Waste Management, Recycling, Composting, Fermentation,  
Mechanical-Biological Treatment, Energy Recovery from Waste,  
Sewage Sludge Treatment

Karl J. Thomé-Kozmiensky, Luciano Pelloni.

– Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011

ISBN 978-3-935317-69-6

ISBN 978-3-935317-69-6 TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

Copyright: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky  
Alle Rechte vorbehalten

Verlag: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky • Neuruppin 2011

Redaktion und Lektorat: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky,

Dr.-Ing. Stephanie Thiel, M. Sc. Elisabeth Thomé-Kozmiensky, Janin Burbott

Erfassung und Layout: Janin Burbott, Petra Dittmann, Sandra Peters,

Martina Ringgenberg, Ginette Teske

Druck: Mediengruppe Universal Grafische Betriebe München GmbH, München

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien, z.B. DIN, VDI, VDE, VGB Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.