

## Das SNCR-Verfahren - Verfahrenstechnische Grundlagen

Bernd von der Heide

Bei der selektiven nichtkatalytischen Reduktion (SNCR) von Stickoxiden werden Reduktionsmittel in wässriger Lösung (Ammoniakwasser, Harnstoff) oder gasförmig (Ammoniak) in die heißen Rauchgase eingedüst. Gemäß den Gesamtreaktionen für

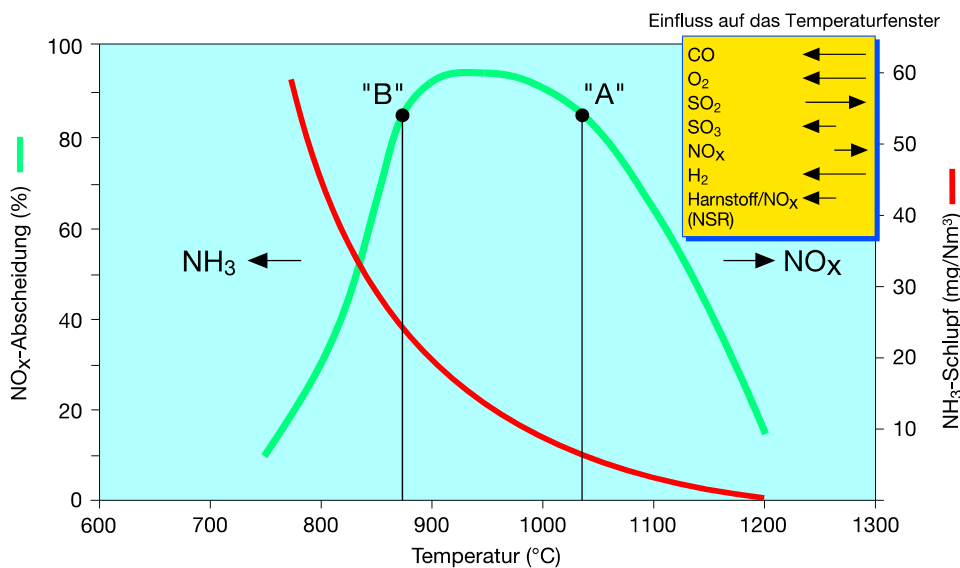


oder für



entstehen molekularer Stickstoff, Wasser und Kohlendioxid. Der optimale Temperaturbereich, in dem eine spürbare NO<sub>x</sub>-Reduktion erzielt wird, liegt abhängig von der Rauchgaszusammensetzung zwischen 900 und 1100 °C. Oberhalb dieses Temperaturbereiches wird in zunehmendem Maße Ammoniak oxidiert, d.h., es bilden sich Stickoxide. (**Bild 1**)

Bei Temperaturen darunter verringert sich die Reaktionsgeschwindigkeit, wodurch Ammoniak-Schlupf entsteht, der im Verlauf des weiteren Rauchgasweges zur Bildung von Ammoniaksalzen und dadurch zu Sekundärproblemen führen kann. Der Ammoniak-Schlupf sollte deshalb möglichst gering gehalten werden.



"A"- Optimale Temperatur für SNCR alleine (niedriger Ammoniak Schlupf)

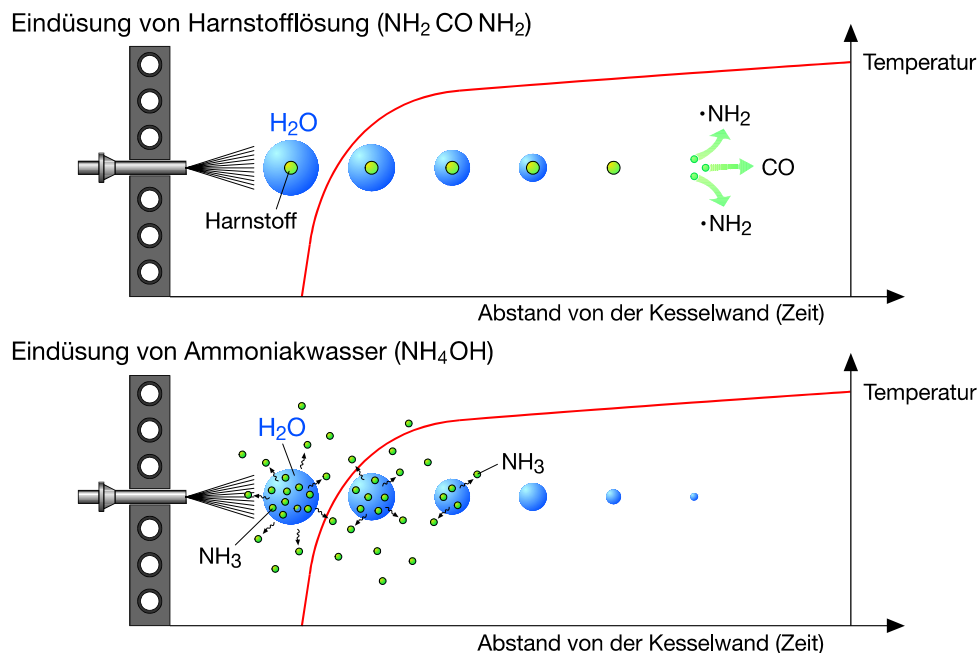
"B"- Optimale Temperatur für SNCR + SCR (hoher Ammoniak Schlupf)

**Bild 1: NO<sub>x</sub>-Abscheidung in Abhängigkeit von der Temperatur**

Grundsätzlich kann für die meisten Anwendungsfälle sowohl Harnstoff als auch Ammoniakwasser verwendet werden. Für eine optimale NO<sub>x</sub>-Abscheidung bei minimalem NH<sub>3</sub>-Schlupf muss das Reduktionsmittel mit den Rauchgasen gut durchgemischt werden. Um den Impuls für die vollkommene Durchmischung zu erreichen, ist dabei für Ammoniakwasser ein erheblich höherer Energieaufwand erforderlich als für Harnstoff. Auf **Bild 2** sind die Unterschiede zwischen beiden Reduktionsmitteln stark vereinfacht dargestellt.

Der in Wasser gelöste Harnstoff kann sich erst in reaktionsfähige Radikale spalten, wenn das Wasser, welches die Harnstoffteilchen umgibt, komplett verdampft ist, weshalb mit relativ geringem Energieaufwand eine hohe Eindringtiefe sichergestellt wird.

Bei der Verwendung von Ammoniakwasser dagegen dampft das Ammoniak unmittelbar nach Eintritt in die Rauchgase aus, so dass die Reaktion vorzugsweise in der Nähe der Kesselwände stattfindet. Der für die optimale Eindringtiefe notwendige Impuls kann bei dem *jetzt gasförmig* vorliegenden Ammoniak wegen der gegenüber einem Wassertropfen geringeren Masse nur durch einen höheren Energieaufwand erreicht werden, wozu die entsprechende Dampf- bzw. Luftmenge deutlich erhöht werden muss.



**Bild 2: NO<sub>x</sub>-Abscheidung mit Harnstoff im Vergleich zu Ammoniakwasser**

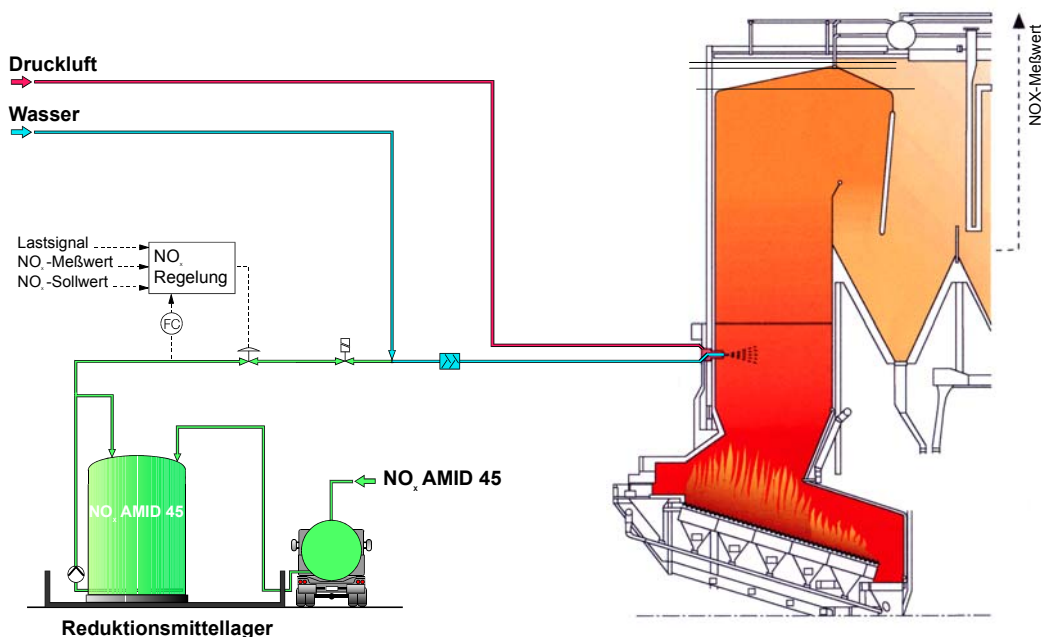
Zusätzlich zu den höheren Betriebskosten, die sich aufgrund der höheren Energieverbräuche ergeben, sind die Investitionskosten für eine mit Ammoniakwasser betriebene Anlage

aufgrund der Sicherheitsanforderungen wesentlich höher. Ammoniak ist ein giftiges Gas, welches sich bei Umgebungstemperatur leicht im Wasser lösen lässt. Als optimal hat sich eine 25%-ige Lösung von Ammoniakwasser erwiesen, aus der mit steigender Temperatur das Ammoniak jedoch relativ schnell ausdampft. Bei 38°C erreicht der Partialdruck von Ammoniak bereits 1 bar.

Wegen der chemischen Bindung von Ammoniak im Harnstoffmolekül können dagegen Harnstofflösungen bis 106 °C erwärmt werden, ohne dass Ammoniakgas ausdampft. Die Zerlegung von Harnstoff in Ammoniak- und Kohlendioxidgas beginnt erst bei 130 °C und erreicht ein Maximum bei ca. 380 °C. Da diese hohen Temperaturen bei der Lagerung nicht erreicht werden können, sind die für Ammoniakwasser notwendigen Sicherheitsvorkehrungen nicht nötig.

Harnstofflösung ist gemäß des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) der Wassergefährdungsklasse 1 zuzuordnen. Das heißt, dass nur sichergestellt sein muss, dass Harnstoff nicht in das Grundwasser gelangen kann, wozu eine Auffangwanne für den Lagertank ausreichend ist.

Ammoniakwasser hingegen wird der Wassergefährdungsklasse 2 zugeordnet und unterliegt darüber hinaus wegen des hohen Gefährdungspotentials für die Umwelt den technischen Richtlinien für Dampfkessel TRD 451 + 452.



**Bild 3: Verfahrensfließbild**

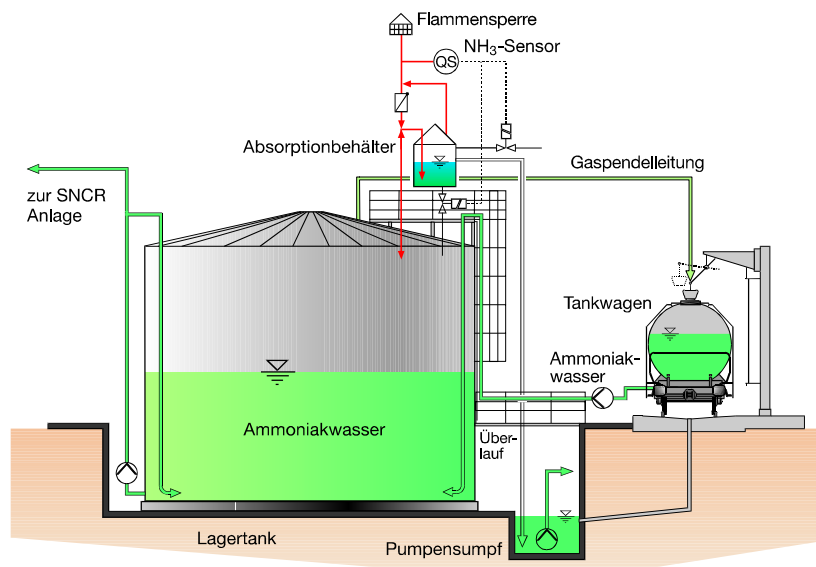
Das vereinfachte Verfahrensfließbild (**Bild 3**) zeigt die Funktion und den Lieferumfang einer typischen SNCR-Anlage für Harnstofflösung als Reduktionsmittel, wie sie von M & S geplant

und geliefert wird. Eine betriebsfertige Anlage besteht im Wesentlichen aus den nachstehend beschriebenen Hauptkomponenten.

### Reduktionsmittellager

Das Reduktionsmittel NOxAMID besteht in der Regel aus einer 45%-igen Harnstofflösung mit speziellen Additiven zur Verhinderung von Kalkablagerungen im Rohrleitungssystem und den Düsen. Beim Betreiber wird NOxAMID in drucklose Behälter gefüllt, die im Allgemeinen so ausgelegt sind, dass die für zwei Wochen Grundlastbetrieb zu erwartende Menge gelagert werden kann. Der Lagertank wird zumeist in GFK ausgeführt und mit allen notwendigen Armaturen und Alarmen ausgerüstet. Er wird in einer Auffangwanne aufgestellt oder doppelwandig ausgeführt, so dass keine Reduktionsmittel in das Grundwasser gelangen können. Vom Lagertank wird das NOxAMID durch eine Kreislaufleitung und über ein Druckhalteventil direkt wieder zurück in den Tank gepumpt. Eine Stichleitung zweigt von dieser Ringleitung ab und führt zu den Misch- und Messmodulen. Der Tank und die Rohrleitungen werden falls erforderlich isoliert und mit einer elektrischen Heizung ausgerüstet, um Kristallisationen, die bei Temperaturen unter 12 °C auftreten können, zu verhindern. Die Pumpeinheiten bestehen aus zwei Pumpen, von denen eine redundant ist, so dass die Anlage auch bei Ausfall einer Pumpe weiter betrieben werden kann.

Wegen der strengeren Sicherheitsanforderungen wird der Lagerbehälter für Ammoniakwasser in der Regel aus Edelstahl ausgeführt. Das ausdampfende Ammoniak wird in einem Absorptionsbehälter niedergeschlagen und in den Tank zurückgeführt. Zu der umfangreichen sicherheitstechnischen Ausrüstung gehören außerdem z.B. Ammoniaksensoren, Flammensperre, Gaspendelleitung usw. (**Bild 4**).



**Bild 4: Lagertank für Ammoniakwasser**

Der Vorteil von Ammoniakwasser ist, dass Isolierungen und Heizungen am Tank und an den Rohrleitungen entfallen können, da der Gefrierpunkt des Wassers mit dem Ammoniakgehalt sinkt und die Kristallisation von Ammoniak nicht möglich ist.

### Misch- und Messmodul

Das Misch- und Messmodul enthält die notwendigen Mess- und Regeleinrichtungen für die Durchflussmengen und die Drücke der Reduktionsmittel, der Druckluft und des Prozesswassers. Der Mischer zur Vermischung der Reduktionsmittel mit dem Prozesswasser ist darin ebenfalls eingebaut. **(Bild 5)**

Der Druck der Flüssigkeiten und der Druckluft hängt von den geforderten Wurfweiten und der Tropfengröße ab und liegt in den meisten Fällen zwischen 3,5 und 4 bar am Eintritt der Düsenlanzen.

Das Misch- und Messmodul erfüllt im wesentlichen folgende Zwecke:

- Messen von allen Durchflussmengen (Reduktionsmittel, Wasser, Luft)
- Mischen des Reduktionsmittels mit Prozesswasser
- Verteilung der Flüssigkeiten und der Zerstäubungsluft zu den Eindüslanzen
- Absperrern der Reduktionsmittelversorgung im Falle von Betriebsstörungen.

Alle Teile eines Moduls sind auf einen Grundrahmen montiert. Zum Schutz der Instrumente insbesondere gegen Staub und Spritzwasser ist das Modul in einem Schrank eingebaut.

### Eindüssystem

Für die optimale NO<sub>x</sub>-Abscheidung werden Düsen verwendet, die für die Größe und Geschwindigkeit der Tropfen, die Kesselgeometrie und die Rauchgasbedingungen ausgelegt sind. Auf jeder Eindüslanze befinden sich eine oder mehrere Düsen, wodurch eine



**Bild 5: Misch- und Messmodul**

gleichmäßige Verteilung der in Wasser gelösten Reduktionsmittel im Rauchgas sichergestellt wird. Wegen der einfacheren Handhabung wird vorzugsweise Druckluft an Stelle von Dampf als Treibmittel verwendet. Aus verfahrenstechnischer Sicht sind jedoch beide Treibmittel geeignet. Vorzugsweise werden Wandlanzen eingesetzt. Für spezielle Anforderungen können auch wassergekühlte Lanzen geliefert werden, die in die Rauchgase hineinragen.

### **Prozessregelung**

Bei SNCR-Verfahren ist verfahrensbedingt keine zeitgleiche Messung der Roh- und Reingaswerte möglich, da die Messungen erst im kälteren Rauchgas nach Kessel durchgeführt werden können. Wegen der Zeitverzögerung zwischen der Eindüsung in die Feuerung und der NO<sub>x</sub>-Messung nach Kessel z.B. im Kamin, muss die Reduktionsmittelmenge in Abhängigkeit von der Kessellast vorausberechnet werden, um den wechselnden Betriebsbedingungen so schnell wie möglich folgen zu können.

Dies erfolgt mit Hilfe eines Lastsignals, dem festgelegten NO<sub>x</sub>-Reingaswert und der sich daraus ergebenden NO<sub>x</sub>-Fracht. Abhängig vom tatsächlich gemessenen NO<sub>x</sub>-Reingaswert wird die Menge dann ständig korrigiert. Die Prozessregelung kann über das Prozessleitsystem der Gesamtanlage oder eine autarke SPS erfolgen. Eine Visualisierung kann über eine Busanbindung mit der Warte hergestellt werden.

### **Wirtschaftlichkeit und Anwendungen**

Die Investitionskosten werden im wesentlichen durch die abzuscheidende NO<sub>x</sub>-Menge, den Entstickungsgrad, den NO<sub>x</sub>-Reingasgehalt, die Lagerkapazität für Reduktionsmittel und die Anforderungen des Betreibers an die Regelungstechnik bestimmt. Sie liegen in der Regel zwischen 10 und 20 Prozent der Investitionskosten für katalytische Verfahren.

M & S bietet SNCR-Verfahren für fast alle Brennstoffe der unterschiedlichsten Feuerungsanlagen an. Das Verfahren ist an vorhandenen Verbrennungsanlagen leicht nachrüstbar und ist besonders wirtschaftlich, wenn die abzuscheidende NO<sub>x</sub>-Fracht relativ gering ist oder nur niedrige bis moderate Entstickungsgrade verlangt werden. Besonders geeignet sind daher

- Müllverbrennungsanlagen
- Holzverbrennungsanlagen
- öl- und kohlegefeuerte Kesselanlagen
- Wirbelschichtfeuerungen für unterschiedlichste Brennstoffe wie Klärschlämme, Papierabfälle, etc.
- Glaswannen
- Verbrennungsanlagen mit wenigen Betriebsstunden pro Jahr oder kurzer Restlaufzeit

Bei M & S liegen sowohl mit Harnstoff als auch mit Ammoniakwasser einschlägige Erfahrungen vor, so dass wir für unsere Kunden „maßgeschneiderte“ Vorschläge zur kostengünstigen Lösung der NOx-Probleme anbieten können, womit die vom Gesetzgeber gestellten Anforderungen erfüllt und in vielen Fällen sogar übertroffen werden.

---

Mehldau & Steinfath Umwelttechnik GmbH

Alfredstraße 279  
45133 Essen

Tel.: 0201 43 783 - 0 Fax: 0201 43 783 - 33