

Schaltungsvarianten des SCR-Verfahrens

Bei den meisten in Deutschland ausgeführten SCR-Anlagen handelt es sich um Nachrüstungen. Dabei waren natürlich Fragen bezüglich des verfügbaren Raumes und eines möglichst kurzen Anlagenstillstandes von entscheidender Bedeutung. Deshalb wurde in der Vergangenheit immer wieder die zweckmäßigste Schaltung der SCR-Anlage diskutiert. Es gibt hier grundsätzlich drei Möglichkeiten:

- Einsatz der SCR-Anlage als „high-dust“-Schaltung direkt nach dem Dampferzeuger bzw. der Verbrennung
- Einsatz der SCR-Anlage „low-dust“-Schaltung hinter Entstauber
- Einsatz der SCR-Anlage „low-dust“-Schaltung hinter REA (tail-end-Schaltung)

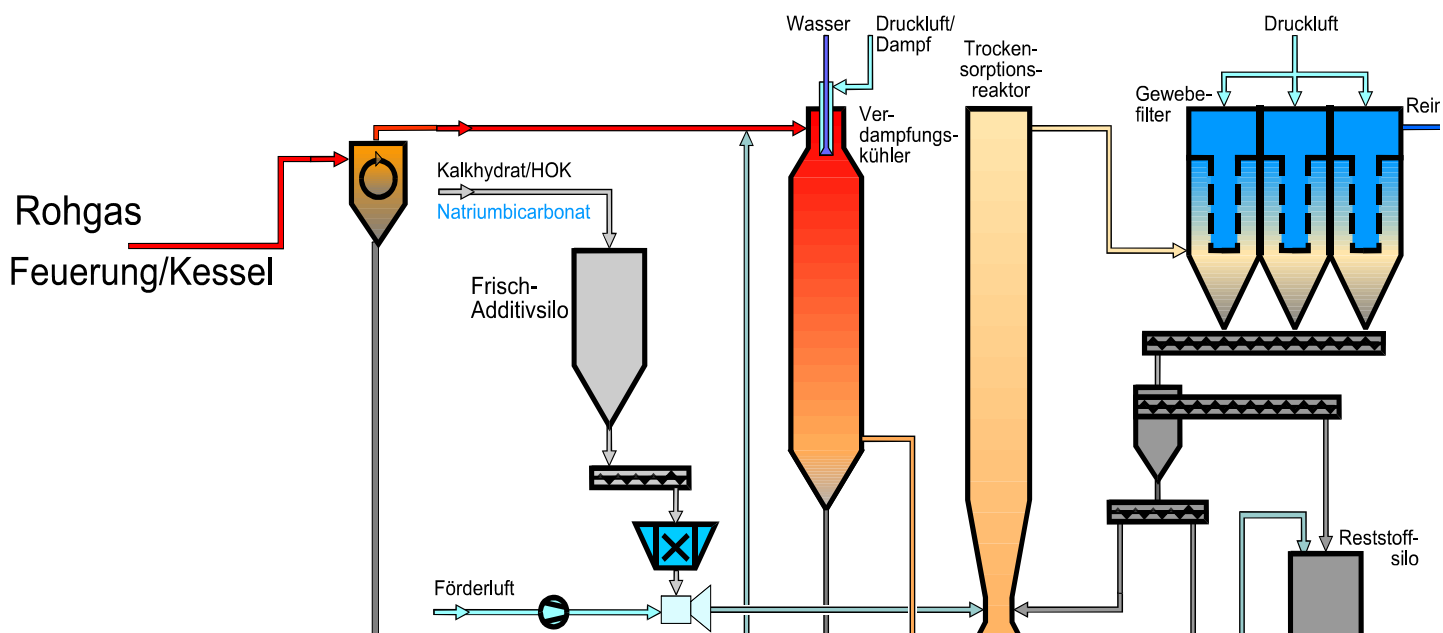
Alle Schaltungen und auch davon abgeleitete Varianten haben spezifische Vor- und Nachteile. Welche Schaltung für den Einzelfall die Richtige ist, muss daher von Standort zu Standort geprüft und entschieden werden.

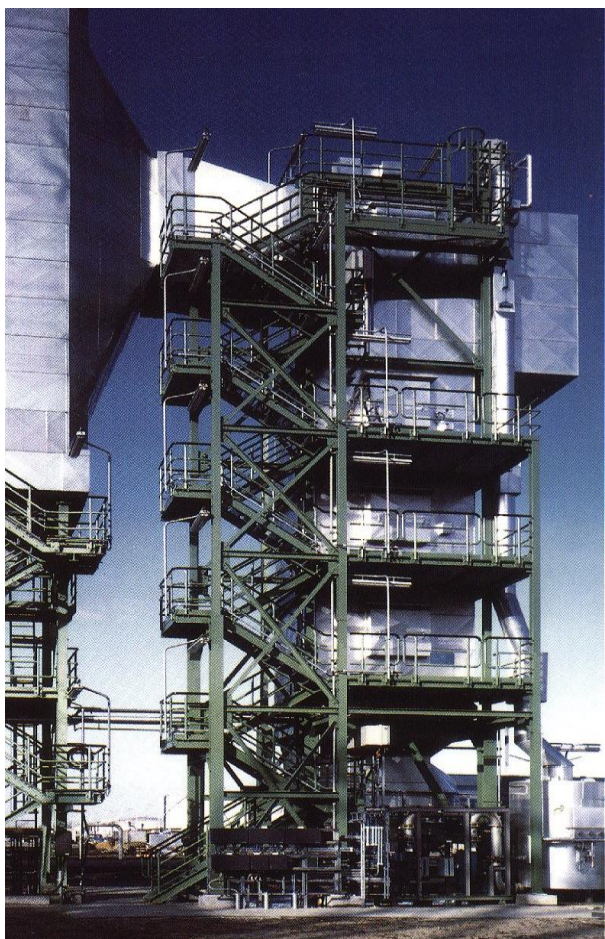


Gesamtanlage mit dem SCR-Part als „low-dust“-Schaltung hinter REA (Trockensorptionsverfahren) für eine Altholzverbrennung

Die high-dust-Schaltung hat den Vorteil, dass das Rauchgas bei Eintritt in den Reaktor die erforderliche Temperatur hat. Eine aufwendige Wiederaufheizung auf Reaktionstemperatur ist daher nicht erforderlich. Oftmals scheitert der Einsatz dieser Schaltung bei Nachrüstungen jedoch an den räumlichen Verhältnissen und/oder an einem relativ langen Anlagenstillstand während der Montage.

Die am häufigsten vorgenommene Platzierung der SCR-Anlage ist die low-dust-Schaltung als tail-end-Anordnung. Hierbei erfolgt die Entstickung als letzte Rauchgasreinigungskomponente nach REA. Dabei wird ebenfalls sichergestellt, dass mit der vorgeschalteten Rauchgasreinigung die auf den Katalysator negativ einwirkenden Schadstoffe (z. B. Arsen) bereits weitgehend abgeschieden sind.





Nachrüstmaßnahme im Raffineriebereich, Entstickung der im Elektrofilter entstaubten Abgase eines Crack-Prozesses

Bei Temperaturen oberhalb 450 °C, ist mit einer verminderten Katalysatoraktivität infolge Versinterung zu rechnen. Im Gegensatz zu den oben beschriebenen Ablagerungen führt dies zu einer irreversiblen Schädigung des Katalysators.

Insbesondere das Ammoniumhydrogensulfat kann im Bereich der Bildungstemperatur (diese ist wiederum abhängig von der SO_3 - und der NH_3 -Konzentration) zu starker Verschmutzung und Korrosion, vor allem von nachgeschalteten Anlagenteilen führen. Durch geeignete verfahrenstechnische und konstruktive Maßnahmen sowie durch den Einsatz entsprechender Werkstoffe sind die angedeuteten Schwierigkeiten heute jedoch sicher beherrschbar.

Reduktionsmittel

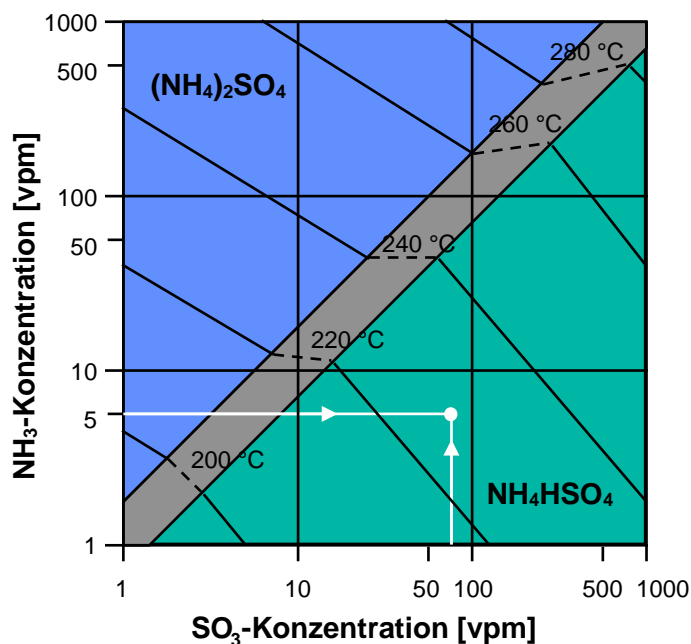
Das zur Reduktion benötigte Ammoniak wurde in der Vergangenheit unter Druck angeliefert und gelagert. Aufgrund der hohen Sicherheitsauflagen des druckverflüssigten Ammoniaks, ging der Trend mehr und mehr zu Ammoniakwasser (NH_4OH). Geringere Investitionskosten und ein einfacheres Handling für den Betreiber sind hierbei die zu nennenden Hauptgründe, welche diesen Trend ausgelöst haben

Bei der Realisierung des Ammoniakwasserlagers ist der Einsatz von zwei Lagerbehältern vorteilhaft, da dann ein Umpumpen des Ammoniakwassers möglich ist. Eine Revision der Lagerbehälter kann dann unabhängig vom Anlagenbetrieb durchgeführt werden.

Die Anlieferung des Ammoniakwassers erfolgt nach den geltenden Vorschriften über die Strasse oder in Kesselwagen auf dem Schienenweg. Entsprechende Verladestationen werden vorgesehen. Das Ammoniakwasser wird anschließend zum Verbraucher gefördert. Mittels Dampf, Heißluft oder Rauchgas wird es vor der Eindüsung in den SCR-Reaktor verdampft.

Bei kleineren Anlagen bietet sich, alternativ zu den stationären Lagertanks, der Einsatz von Leihgebinden an. Hierbei wird das unverdünnte Ammoniak in genormten Fässern angeliefert und in einem dafür vorgesehenen Lagerbereich aufgestellt. Da durch die geringe Bevorratung an druckverflüssigtem Ammoniak die behördliche Mengenschwelle oft nicht erreicht wird, gelten wiederum moderatere sicherheitstechnische Anforderungen. Durch die kleine Anlagenleistung wird die Ammoniakverdampfung elektrisch bereits im Lagerbereich durchgeführt.

Als weitere Alternative bietet sich eine Harnstofflösung ($(\text{NH}_2)_2\text{CO}$) als Reduktionsmittel an. Diese bietet, gegenüber den herkömmlichen Reduktionsmitteln, zusätzliche Vorteile beim Transport und bei der Lagerung.



Reduktion von Stickoxiden (DeNOx)

Das SCR-Verfahren

Eines der am häufigsten eingesetzten katalytische Verfahren ist die sogenannte „Selective Catalytic Reduction“ (SCR). Das SCR-Verfahren beruht auf der Reduktion des im Rauchgas enthaltenen Schadstoffes in Anwesenheit eines Katalysators und des entsprechenden chemischen Reaktionspartners. Bei den meisten in Deutschland ausgeführten SCR-Anlagen handelt es sich um Nachrüstungen an bereits bestehenden Rauchgasreinigungsanlagen.

Das Verfahren beruht auf der selektiven katalytischen Reduktion der im Rauchgas enthaltenen Stickoxide (NO_x) mit Ammoniak (NH_3) in Anwesenheit eines Katalysators. Hierbei wird die Eigenschaft des Katalysators genutzt, kinetisch gehemmte chemische Reaktionen soweit zu beschleunigen, dass sie in technischen Anlagen zu hinreichenden Umsatzraten führen.

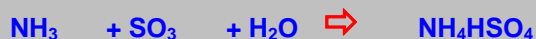
Die Stickoxide, die üblicherweise aus ca. 95 Vol.-% NO und ca. 5 Vol.-% NO_2 bestehen, werden zu molekularem Stickstoff (N_2) und Wasserdampf (H_2O) reduziert, wobei folgende Hauptreaktionen ablaufen:



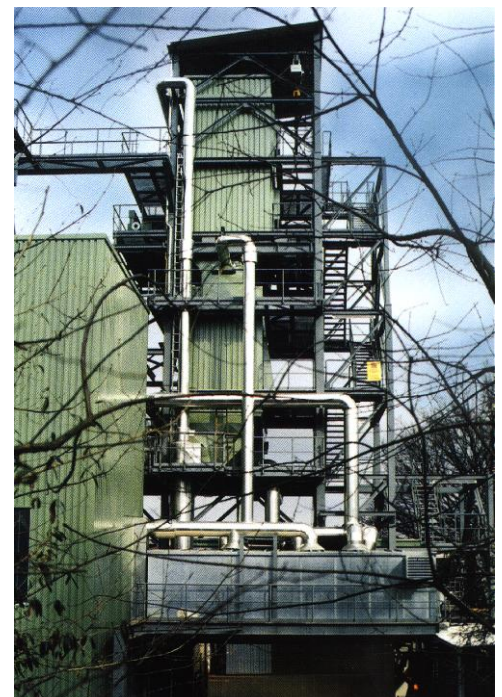
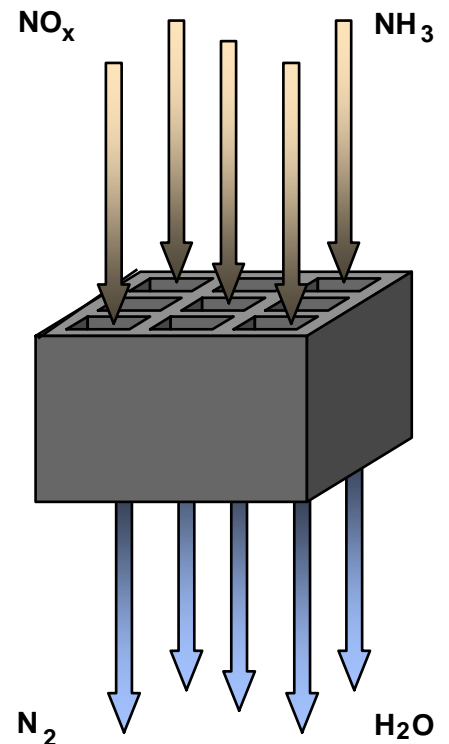
Normalerweise liegt die Reaktionstemperatur hierfür in einem Bereich von ca. 1000 - 900 °C. Diese lässt sich jedoch mit Hilfe eines Katalysators auf ca. 450 - 200 °C herabsetzen. Unter bestimmten Voraussetzungen lassen sich inzwischen Betriebstemperaturen für den Katalysator unterhalb 170 °C realisieren.

Die Aktivität des Katalysators und damit der Reduktionsgrad sind unter anderem temperaturabhängig. Somit muss bei niedrigen Temperaturbereichen ein deutlich größeres Katalysatorvolumen in Kauf genommen werden. Das aufeinander abgestimmte Optimum hinsichtlich wirtschaftlicher und verfahrenstechnischer Belange wird durch uns für jeden speziellen Anwendungsfall erarbeitet und in einem auf den Kunden zugeschnittenen Konzept dargeboten.

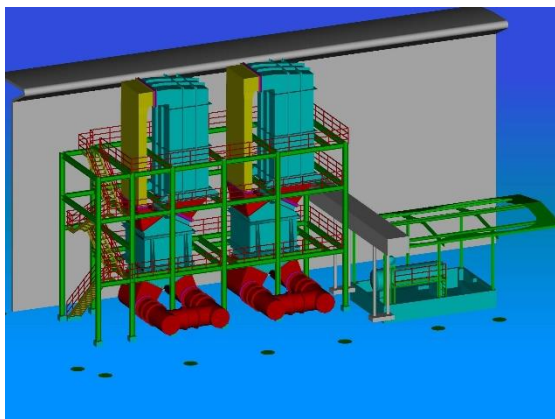
Bei einer Überschreitung bestimmter SO_3 -Konzentrationen verbietet sich der Einsatz des Katalysators im Niedertemperaturbereich, aufgrund der Gefahr von Ablagerungen. Nach der Gleichung



entsteht das nicht erwünschte Ammoniumhydrogensulfat. Ammoniak kann mit SO_2 auch zu Ammoniumsulfat reagieren. Bei einem Unterschreiten der Temperaturgrenze kann das gebildete Ammoniumsulfat und Ammoniumhydrogensulfat durch eine Fahrweise bei höheren Temperaturen thermisch zersetzt werden.



Nachrüstung als Endstufe einer bestehenden Rauchgasreinigung in einer kommunalen Müllverbrennung



Die Anordnung der SCR-Anlage hinter einem Entstauber (z. B. Elektrofilter) bietet gegenüber der low-dust-Schaltung nach REA nur dann einen Vorteil, wenn ein Heiß-Elektrofilter zum Einsatz kommt, damit wie bei der high-dust-Schaltung, die Rauchgastemperatur zur Entstickung ausreicht.

der
Wärmeaustausch
Zusatzheizung
Edelbrennstoffe

Hieraus wird
Schaltung zwar
kommen und
Betriebsmittel zur
stehen dem
Katalysatoren,
Rauchgase
Randbedingungen
gegenüber den



Mit der low-dust-Schaltung nach REA ist eine Nachrüstung einer SCR-Anlage ohne Aufstellungsprobleme und mit kurzen Stillstandzeiten möglich.

Da für den Katalysator eine höhere Betriebstemperatur benötigt wird, wie dies nach der REA der Fall ist, muss das Rauchgas wieder aufgeheizt werden. Hierzu reicht ein Wärmeverschiebungssystem in Form eines Gas/Gas-Wärmetauschers alleine nicht aus. Zur Überwindung Temperaturdifferenz zwischen den im stehenden Medien wird eine ständige erforderlich. Einsetzbar sind nur wie Gas und Öl oder mit Dampf beheizte Wärmeaustauscher.

ersichtlich, dass bei einer tail-end-höhere Investitionskosten zum Tragen zusätzliche laufende Kosten für Entstickung notwendig sind. Allerdings gegenüber längere Standzeiten der welche sich durch die vorgereinigten begründet. Unter der Betrachtung der ist auch das benötigte Katalysatorvolumen vorgenannten Varianten geringer .

Ausführungsbeispiel der SCR-Anlage als Endstufe nach einer nassen Rauchgasreinigung

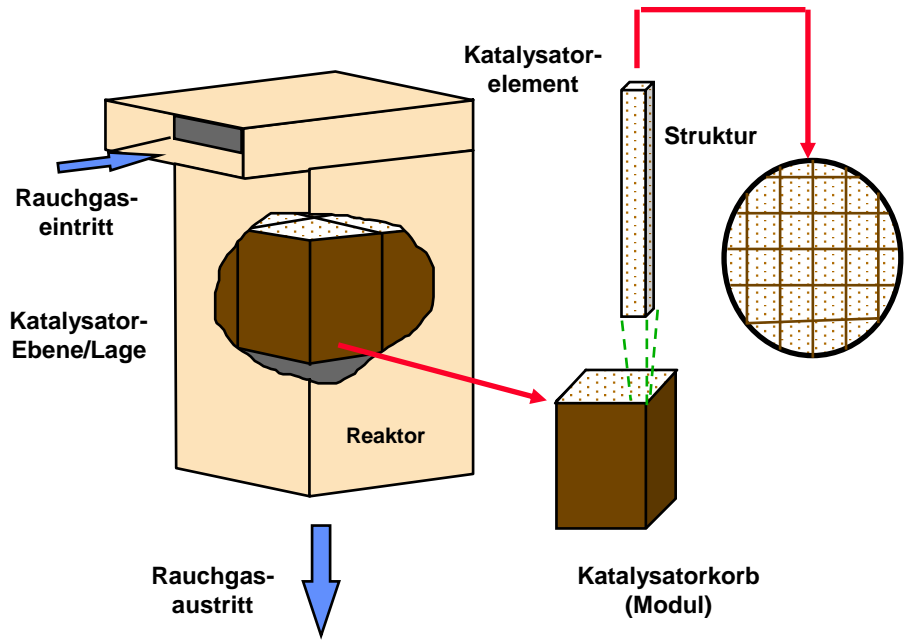
Hauptreferenzen

Auftraggeber, Land	Standort	Gasmenge m ³ /h
Landkreis Fürth Deutschland	Zirndorf Hausmüll	30.000
Shell AG Hamburg Deutschland	Hamburg Abgase Petrochemie	60.000
AGR Essen Deutschland	Herten, IM 2 Sondermüll	70.000
Stadtwerke Landshut Deutschland	Landshut Hausmüll	65.000
Fischer Recycling GmbH Deutschland	Zapfendorf Holzverbrennung	50.000
MGC Schweiz	Muttenz Radioaktiver Müll	7.000
KataLeuna GmbH Deutschland	Leuna Chemieabgase	12.000

Katalysatoren

Das Herzstück des SCR-Verfahrens ist der Katalysator. Bei den von Petersen Engineering eingesetzten Katalysatoren handelt es sich üblicherweise um keramische Elemente mit Wabenstruktur. Der Katalysatorkörper ist homogen, sodass bei Erosion die Aktivität nicht verloren geht.

Die Hauptbestandteile sind Titandioxid als poröses Grundmaterial, welches von der aktiven Substanz - meist Vanadumpentoxid - durchsetzt ist. Durch Variation bei der genauen Zusammensetzung und im Herstellungsprozess können die Katalysatoren an die jeweiligen Anforderungen angepasst werden.



Die einzelnen Katalysatorelemente werden zu Modulen zusammengefasst. Diese werden dann in mehreren Lagen in den Reaktor eingebaut. Die Anordnung in mehreren Lagen wird dadurch erforderlich, dass sowohl eine bestimmte Anströmgeschwindigkeit als auch eine gewisse Raumgeschwindigkeit (Kehrwert der Verweilzeit) einzuhalten sind.



Schüttgutkatalysatoren bilden die Ausnahme und sind meist durch zu hohe Reststaubgehalte im Abgas nicht einsetzbar.

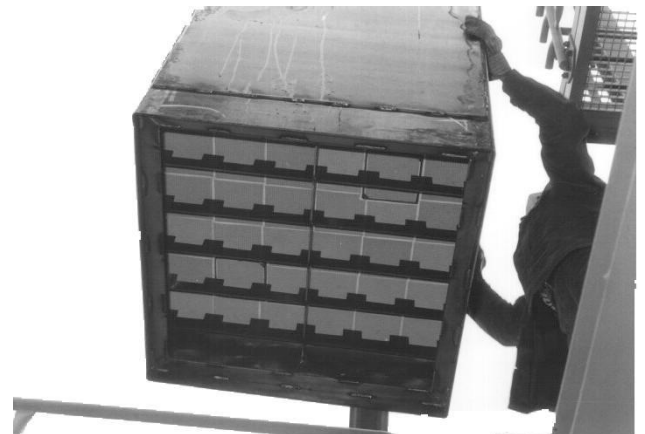
Die Auslegung eines Katalysators wird durch drei voneinander abhängigen Größen bestimmt:

- der NO_x -Reduktionsgrad
- der NH_3 -Schlupf
- das Katalysatorvolumen

Grundsätzlich gilt, dass bei sonst gleichen Bedingungen ein bestimmter Reduktionsgrad entweder durch ein großes Katalysatorvolumen und einen kleinen Ammoniakslupf oder aber durch ein kleines Katalysatorvolumen und einen größeren Ammoniakslupf erreicht werden kann.

Um zu gewährleisten, dass eine gleichmäßig Anströmung des Katalysators erreicht wird und um weitere Ungleichförmigkeiten im Rauchgasstrom auszugleichen, kommen spezielle Leitbleche und statische Mischsysteme zum Einsatz.

Diese, in der praktischen Anwendung erprobten und bewährten Kombinationen, kompensieren weitestgehend die unerwünschten Effekte, die durch Strahlenbildung und ungleichmäßige Schadstoffkonzentrationen auftreten können.



Lebensdauer

Die Auslegung des Katalysators erfolgt normalerweise - und darauf basieren auch die allgemeinen Berechnungsgrundlagen - für einen definierten, stationären Betriebspunkt, wie er für das Ende der Garantiezeit festgelegt wurde. Der Katalysator zeigt aber über die gesamte Lebensdauer ein instationäres Verhalten, aufgrund der abnehmenden Aktivität. Dies hat zur Folge, dass bei einem neuen Katalysator entweder der Reduktionsgrad wesentlich höher oder aber der Ammoniakslupf entsprechend geringer ist. Aufgrund der bereits erwähnten Bildung von Ammoniumhydrogensulfat (die Menge wird normalerweise vom geringeren NH_3 -Gehalt diktiert) empfehlen wir, die Reserven eines neuen Katalysators in der Form zu nutzen, dass der NO_x -Grenzwert konstant gehalten und dafür mit niedrigerem Schlupf gefahren wird. Diese Fahrweise ist auch regelungstechnisch einfacher zu realisieren.

Standzeiten von 24.000 - 32.000 Betriebsstunden lassen sich heute bei den verschiedenen Anwendungsfällen problemlos garantieren.

Die Garantiezeit des Katalysators gilt dann als überschritten, wenn sowohl der festgelegte NH_3 -Slupf als auch der ebenfalls fixierte NO_x -Gehalt nach dem Reaktor überschritten werden. Es ist aber nicht erforderlich den gesamten Katalysator auszuwechseln, da dieser noch über eine relativ hohe Restaktivität verfügt. Bereits nach dem Wechsel einer Lage können die Garantiebedingungen wieder erreicht werden.

Verbrauchter Katalysator wird durch uns bzw. den Hersteller zurückgenommen.

Katalysatorwechsel-Strategie

