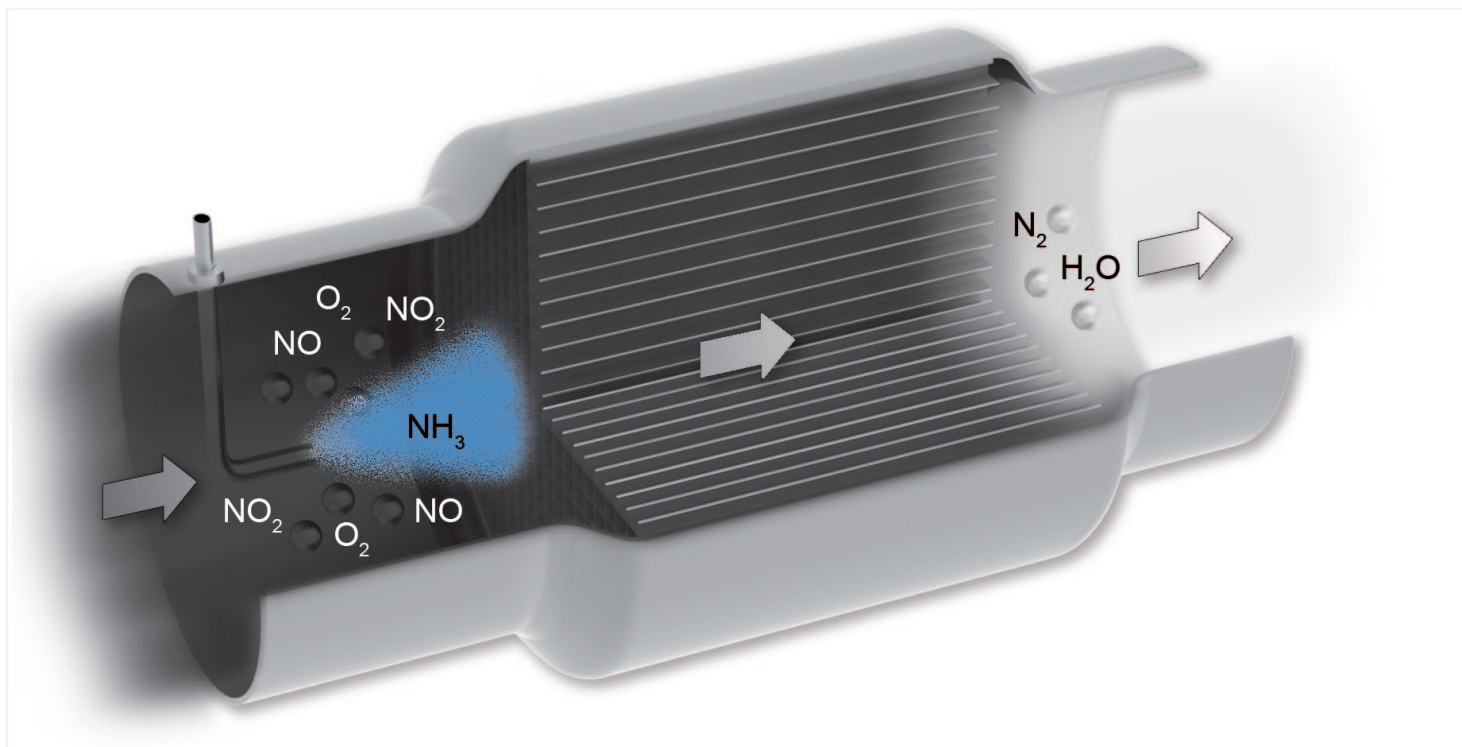


Selektive katalytische Reduktion: Abgasnachbehandlung zur Verringerung von Stickoxidemissionen



Autoren:

Dr. Holger Sinzenich

Teamleiter Systemintegration Abgasnachbehandlung

Klaus Wehler

Teamleiter Konstruktion Abgasnachbehandlung

Ralf Müller

Forschung und Technologieentwicklung, Abgasnachbehandlung

Mit dem Begriff „selektive katalytische Reduktion“ (selective catalytic reduction, kurz: SCR) bezeichnet man eine chemische Reaktion, bei der schädliche Stickoxide (NO_x) im Abgas in Wasser (H_2O) und Stickstoff (N_2) umgewandelt werden. In Kombination mit innermotorischen Technologien wie der Abgasrückführung (AGR) können so äußerst niedrige Stickoxidemissionen bei niedrigem Verbrauch erreicht werden.

Wege zur Verringerung von Stickoxidemissionen

Durch die weltweit immer strengeren Emissionsrichtlinien sind Motorenhersteller gezwungen, sowohl den Ausstoß von Rußpartikeln (PM) als auch von Stickoxiden erheblich zu senken. Der von MTU primär verfolgte Weg ist eine schadstoffärmere Verbrennung, also eine innermotorische Lösung. Dabei muss allerdings eine prinzipielle Abhängigkeit berücksichtigt werden: Verbrennt der Kraftstoff mit hoher Temperatur

im Zylinder, entstehen zwar wenig Rußpartikel, aber viele Stickoxide. Bei niedriger Verbrennungstemperatur sind die Stickoxidemissionen gering, aber es bilden sich mehr Rußpartikel. Für das richtige Gleichgewicht müssen alle Schlüsseltechnologien, die die Verbrennung beeinflussen, optimal aufeinander abgestimmt werden. Insbesondere im Zusammenspiel mit der Einspritzung und Turboaufladung führt die Abgasrückführung zu einer erheblich stickoxidärmeren Verbrennung.

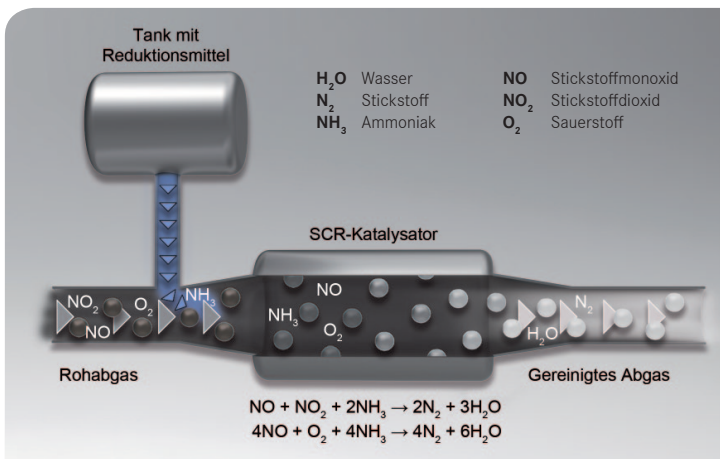


Abb. 1: Schematische Darstellung des SCR-Systems

Die selektive katalytische Reduktion bezeichnet ein Verfahren zur Minimierung des Stickoxid-Gehalts in den Abgasen. Eine Harnstoff-Wasser-Lösung wird vor dem SCR-Katalysator in den Abgasstrom eingespritzt. So entstehen während der selektiven katalytischen Reduktion Stickstoff und Wasser.

Der zweite Weg zur Reduzierung von Stickoxidemissionen ist die Abgasnachbehandlung mit einem SCR-Katalysator. Sehr niedrige Grenzwerte für Stickoxide können ein solches SCR-System erforderlich machen. Es entfernt ca. 90 Prozent der beim Verbrennungsprozess entstandenen Stickoxide nachträglich aus dem Abgas, je nach Anwendung sind sogar noch höhere Reduktionsraten möglich.

Zusatzvorteil des SCR-Systems ist eine Partikelreduzierung von bis zu 60 Prozent. Häufig kann dadurch – in Abhängigkeit von der jeweiligen Emissionsnorm – auf einen zusätzlichen Dieselpartikelfilter (DPF) im Abgasstrang verzichtet werden.

Funktionsweise des SCR-Systems

Bei der selektiven katalytischen Reduktion wandelt ein Katalysator die im Abgas enthaltenen Stickoxide zu Wasserdampf und Stickstoff um. Dazu wird ein Reduktionsmittel durch ein Do-

siermodul kontinuierlich in den Abgasstrang eingespritzt. Im Abgasstrom reagiert die Flüssigkeit innerhalb von Sekundenbruchteilen zu Ammoniak (NH₃). Diese chemische Verbindung bewirkt dann die Stickoxidumsetzung im SCR-Katalysator (Abb. 1).

Das ungiftige und geruchslose Reduktionsmittel ist bei Nutzfahrzeuganwendungen weit verbreitet und in Europa seit 2004 sowie in den USA seit 2010 flächendeckend erhältlich. In Europa wird es unter der Handelsbezeichnung „Ad Blue“ vertrieben. Es besteht aus einer 32,5-prozentigen Lösung von hochreinem Harnstoff in entionisiertem Wasser. Der Bedarf an Reduktionsmittel beträgt ca. fünf bis sieben Prozent des Kraftstoffverbrauchs. Als zweiter Betriebsstoff neben dem Kraftstoff wird es in einem separaten Tank gelagert und über Leitungen zur Dosiereinrichtung am Abgasstrang geführt. Um die hohe Reinigungsrate der Stickoxidemissionen von teilweise über 90 Prozent bei jedem Betriebszustand des Antriebs sicherzustellen, stimmt die elektronische Steuerung die Reduktionsmittelmenge exakt auf wichtige Motorparameter wie Betriebstemperatur und Drehzahl ab.

wenig Dieselpartikeln, dafür zu großer Stickoxidentwicklung. Da der SCR-Katalysator die Stickoxide nachträglich aus dem Abgas entfernt, können die Entwickler mit seiner Hilfe die Verbrennung im Zylinder auf einen besonders geringen Kraftstoffverbrauch auslegen und gleichzeitig die gesetzlichen Emissionsgrenzwerte einhalten (Abb. 2).

Vorteile des SCR-Systems bei MTU

MTU passt das SCR-System individuell auf den jeweiligen Motor und die Anwendung an. Dabei wird der Antrieb besonders auf geringen Kraftstoffverbrauch und wenig Bauraumbedarf der SCR-Bauteile optimiert. Soweit möglich nutzt MTU bewährte SCR-Komponenten aus dem Nutzfahrzeugbereich. Der Kunde erhält damit eine dauererprobte Serienlösung mit langer Lebensdauer, die optimal an das Package des Motors angepasst ist. Antriebe mit SCR-System von MTU sind, was Änderungen der Betriebsbedingungen betrifft, robust konstruiert. Die Kunden können ihre Anwendungen daher sehr flexibel einsetzen und in einem breiten Einsatzbereich nutzen.

Potential beim Kraftstoffverbrauch durch SCR

Bei der Kraftstoffverbrennung im Zylinder besteht neben der Wechselbeziehung zwischen Stickoxid- und Dieselpartikelbildung auch eine zwischen Kraftstoffverbrauch und Stickoxiden. Dabei gilt generell: Hohe Verbrennungstemperaturen führen zu einem günstigen Verbrauch und

Verglichen mit anderen Maßnahmen zur Emissionsreduzierung, wie zum Beispiel Dieselpartikelfilter, erhöht ein SCR-Katalysator den Gegendruck im Abgasstrang weniger stark. Das Aufladesystem muss folglich gegen einen geringen Widerstand arbeiten und kann mit höherem Wirkungsgrad betrieben werden.

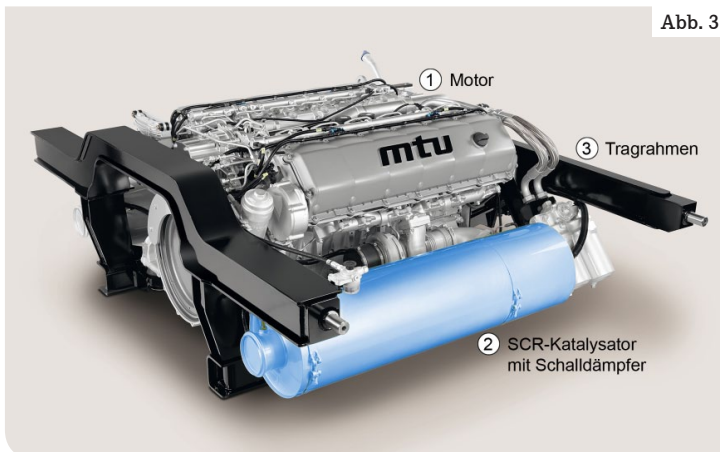
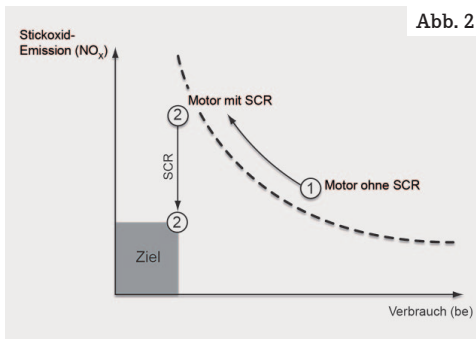


Abb. 2 Zusammenhang zwischen Kraftstoffverbrauch und Stickoxidemissionen

Hohe Verbrennungstemperaturen führen zu einem günstigen Verbrauch, aber auch zu großer Stickoxidbildung. Ein SCR-System kann bis zu 90 Prozent der beim Verbrennungsprozess entstandenen Stickoxide nachträglich aus dem Abgas entfernen.

Abb. 3 Unterflur-Bahnpowerpack mit SCR-System

MTU unterstützt die Kunden auch bei der Auslegung der Reduktionsmittelversorgung des SCR-Systems. Für das Unterflur-Bahnpowerpack mit 12V-Motor der Baureihe 1600 entwickelte MTU ein SCR-Komplettsystem, das neben Katalysator und Dosiereinrichtung auch Reduktionsmittelentank, Heizung und Leitungssatz umfasst.

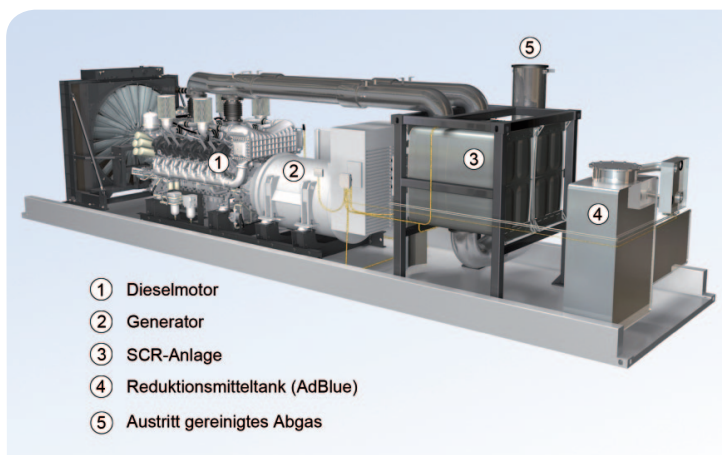


Abb. 4: Ausführungsbeispiel einer SCR-Anlage an einem Stromaggregat mit einem 16-Zylinder-Motor der Baureihe 4000

Systementwicklung bei MTU

MTU besitzt eine umfangreiche Kompetenz bei SCR-Systemen. Das versetzt das Unternehmen in die Lage, die Potenziale der Abgasnachbehandlung im Zusammenspiel mit dem Motor optimal zu nutzen. Durch moderne Simulationswerkzeuge passt MTU dabei unter anderem die Durchströmung des Katalysators exakt auf die Betriebsbedingungen des Motors an. Bei der Konstruktion des Katalysatorgehäuses fließen die Ergebnisse dieser Berechnungen zusammen. Auch das Packaging verbessert MTU durch Simulationen. Da MTU Antrieb und SCR-System aus einer Hand liefert, kann das Unternehmen Motortechnologien wie Verbrennung und Turboaufladung optimal auf die Bedürfnisse der Abgasreinigung abstimmen. Damit ist beispielsweise gewährleistet, dass die Betriebstemperatur des SCR-Systems eingehalten wird.

Bei Antrieben im unteren Leistungsbereich wie den Baureihen 1000, 1100, 1300, 1500 und 1600 nutzt MTU verlässliche SCR-Komponenten aus dem Nutzfahrzeugsegment, die auf die besonderen Anforderungen des Industrieinsatzes adaptiert sind. Dieses Großserien-Know-how hat MTU auch auf größere Motoren mit einer Leistung bis 3.000 kW übertragen und ein wirtschaftliches Modulkonzept für SCR-Dosiereinrichtung und -Katalysator entwickelt. Pro Modul kommen dabei zwei Dosiereinrichtungen zum Einsatz.

Derzeit entwickelt MTU das flexible Modulkonzept für die Motoren der Baureihen 2000

und 4000 weiter: Ein Modul wird die Motoren der Baureihe 2000 komplett abdecken, zwei baugleiche Module kommen bei der Baureihe 4000 zum Einsatz. Neben geringeren Kosten und hoher Zuverlässigkeit sprechen für das Modulkonzept auch Bauraumvorteile, da sich einzelne kleinere Module besser in das Motorpackage integrieren lassen als ein großes Bauteil. Zudem unterstützt MTU die Kunden bei der Auslegung der Reduktionsmittelversorgung des SCR-Systems. Für das Unterflur-Bahnpowerpack mit 12V-Motor der Baureihe 1600 entwickelt MTU sogar ein SCR-Komplettsystem, das neben Katalysator und Dosiereinrichtung auch Reduktionsmittelbehälter, Heizung und Leitungssatz umfasst (Abb. 3).

SCR-Einsatzbeispiele bei MTU-Antrieben

Ein Beispiel für besonders niedrige Abgasgrenzwerte ist die US-amerikanische Norm EPA Tier 4 final. Vom Jahr 2015 an limitiert sie die Stickoxidemissionen von Motoren für Stromaggregate über 560 kW Leistung auf 0,67 g/kWh und zugleich den Partikelaustritt auf 0,03 g/kWh. Diese strengen NO_x-Vorschriften wird MTU mithilfe eines SCR-Systems erfüllen (Abb. 4).

Für Antriebe unter 560 kW Leistung im Bereich Bau- und Industrie gilt seit diesem Jahr die Tier-4-final-Richtlinie. Diese schreibt einen maximalen Ausstoß von 0,4 g/kWh Stickoxiden und 0,2 g/kWh Rußpartikel vor. Um diese strenge

gesetzgebung einzuhalten, nutzt MTU bei den neuen Motoren der Baureihen 1000, 1100, 1300 und 1500 ein Technologiepaket aus Abgasrückführung und SCR-Katalysator.

Zusammenfassung

Ein SCR-System entfernt teilweise über 90 Prozent der Stickoxide aus dem Abgas. Zusätzlich lässt sich der Motor sehr partikelarm abstimmen. Damit werden strenge Emissionsrichtlinien für Dieselmotoren sicher erfüllt. Gleichzeitig spart der Betreiber Kraftstoffkosten, denn der Motor kann mit einem SCR-System innermotorisch auf besonders geringen Kraftstoffverbrauch ausgelegt werden. Extrem niedrige Emissionsgrenzwerte erfordern allerdings eine Kombination aus innermotorischer Optimierung mittels Abgasrückführung und außermotorischer Optimierung mittels Abgasnachbehandlung durch einen SCR-Katalysator und gegebenenfalls auch einen Dieselpartikelfilter.

MTU liefert Motor und SCR-System aus einer Hand und kann dadurch beide Komponenten optimal aufeinander anpassen. Entwicklungsschwerpunkte dabei sind vor allem der geringe Kraftstoffverbrauch und wenig Bauraumbedarf der SCR-Bauteile. MTU wird SCR-Systeme unter anderem bei Motoren für Stromaggregate über 560 kW Leistung sowie in Antrieben für den Bau- und Industriebereich bis 560 kW Leistung einsetzen, um die besonders strengen Auflagen der US-Norm EPA Tier 4 final zu erfüllen.

MTU Friedrichshafen GmbH

A Rolls-Royce Power Systems Company

www.mtu-online.com

Januar 2014

MTU ist eine Marke der Rolls-Royce Power Systems AG. Schnelllaufende MTU-Motoren und Antriebssysteme sind in Schiffen, Schienenfahrzeugen, Landwirtschafts-, Industrie- und Bergbaufahrzeugen, militärischen Fahrzeugen, in Energiesystemen und in der Öl- und Gasindustrie im Einsatz. Das Portfolio umfasst Dieselmotoren mit einer Leistung bis 10.000 Kilowatt (kW), Gasmotoren bis 2.150 kW und Gasturbinen bis 35.320 kW. Für die Steuerung und Überwachung der Motoren und Antriebsanlagen entwickelt und produziert das Unternehmen maßgeschneiderte Elektroniksysteme.



Power. Passion. Partnership.