

Applikation und Optimierung von SCR – Systemen mit innovativer Substrat- Technologie

Klaus Müller-Haas, Dipl.-Ing.

Dr.-Ing. Raimund Müller

Dr.-Ing. Andreas Scheeder

Oswald Holz, Dipl.-Ing.

Abstract:

SCR Technologie wird im Anlagenbau auch für Verbrennungsmotoren schon seit sehr vielen Jahren zur Verringerung der Stickoxide im Abgas eingesetzt. Dort werden unter stationären Bedingungen selbst bei den extrem niedrigen zulässigen Strömungswiderständen NO_x-Konversionen deutlich über 96% über lange Lebensdauer realisiert. Mit Verschärfung der Abgasemissionen EU IV und EU V für On-Road-Fahrzeuge wurden dann SCR Abgasreinigungssysteme für Fahrzeuge in Europa erfolgreich entwickelt. Für HD-Anwendungen in den USA wird ab 2010 die Einführung des verschärften Abgasstandards die zulässigen Stickoxidemissionen auf 0.20 g/bhp-hr absenken und zum Einsatz von SCR in praktisch allen LKW führen. Für den Non-Road Sektor wurden frühzeitig globale, stufenweise strenger werdende Emissionsrichtlinien festgelegt. Spätestens mit der EU Stufe IV bzw. der fast gleichen US Tier 4 final wird die SCR Technologie auch in Non-Road Mobile Machinery (NRMM) Einsatz finden. Schon heute wird dazu der Bauraum bei Fahrzeugneukonstruktionen entsprechend abgesichert.

Unabhängig von der SCR Anwendung wird die Maximierung des SCR Wirkungsgrades angestrebt, denn damit werden motorseitig Kraftstoff-Verbrauchsvorteile möglich. Insbesondere auch für kundentypische Lastkollektive ist die hohe Effektivität dauerhaft sicherzustellen. Dafür müssen Komponenten und Systeme vom heute üblichen Stand weiter optimiert werden. Sonst müsste für eine SCR-Wirkungsgradsteigerung von 85% auf 95% das SCR Katalysatorvolumen um den Faktor 2 steigen - eine Herausforderung, sowohl für die Einhaltung geringer Abgasgedrücke und vor allem auch für das Packaging, insbesondere für Mobile Maschinen und On-Road Fahrzeuge.

Für Lokomotiven- und Schiffsantriebe werden aufgrund der beschränkten Einbauverhältnisse Schalldämpferkonstruktionen mit komplexer interner AdBlue[®]-Aufbereitung notwendig.

In der Ausarbeitung werden dazu die Freiheitsgrade der Metalit-Träger bezüglich integrierter Funktionen zur Ammoniak-Aufbereitung und Homogenisierung sowie der

Maximierung der spezifischen Konvertierungsleistung aufgezeigt. Die Trägergestaltungs-freiheiten für Formen und Matrixstrukturen erlauben die Entwicklung von Hochleistungs-SCR-Systemen bei Beachtung der Anforderungen an Bauraum, Druckverlust und Dauerhaltbarkeit. Integrierte Systemansätze mit multifunktional wirkenden System-Verfahrensstufen werden vorgestellt und diskutiert.

Einleitung

Mit der Großfeuerungsanlagenverordnung wurden ab Mitte der achtziger Jahre des letzten Jahrhunderts in Deutschland die Kohle- und Ölkraftwerke mit SCR-Anlagen nachgerüstet. Die Katalysatoren waren grobzellige, extrudierte Waben oder beschichtete Metall-Plattenkatalysatoren, mit Titanoxid-Vanadium als katalytisch aktiver Komponente, das Reduktionsmittel zunächst reines Ammoniak, später dann Ammoniakwasser. In den neunziger Jahren wurden dann auch kleinere Verbrennungsanlagen, Industriekessel, Müllverbrennungen und sowie Diesel- und Zündstrahl-Gasmotoren (in Energieerzeugung, erste mobile Einsätze auf Schiffen) mit SCR-Anlagen ausgerüstet. Die Systemtechnik wurde dazu aus dem Großanlagenbau auf die kleineren Abgasmengen und transienteren Bedingungen angepasst, im Grundkonzept aber beibehalten. Aufgrund der zunehmend strengeren Genehmigungsaufgaben für Ammoniak führte die Suche nach einer einfacheren Alternative zur Bevorratung des Reduktionsmittels zum inzwischen weit überwiegenden Einsatz von wässriger Harnstofflösung. Während die Lagerung weitgehend unproblematisch ist (Lagertanks werden beheizt, da der Gefrierpunkt der typischer 40-Gew-% konzentrierten Lösung bei etwa 0°C liegt), muß die Verdampfung und quantitative Umwandlung der ins Abgas eingedüsten Harnstofflösung in Ammoniak (Hydrolyse) sowie die homogene Vermischung von Abgas und Ammoniak durch konstruktive Maßnahmen sichergestellt werden. In stationären Anlagen ist meist genügend Platz vorhanden, um dies durch Mischer und Leitbleche zu erreichen. Bei den SCR-Anlagen in Schiffen sind die Herausforderungen schon größer, da räumlich praktisch kaum mehr als der Platz der Schalldämpfer zur Verfügung steht, und die Abgasführung von den Motoren unten im Schiffsrumpf zu Abgasaustritt oben am Schornstein vorgegeben ist. Daraus resultieren die Eindüsung des Reduktionsmittels gegen die Schwerkraft und die Anströmung der Katalysatoren von unten. Letzteres ist im Hinblick auf die Aschereinigung nicht unproblematisch, denn den vorstehenden Anwendungen – mit Ausnahme von Gasmotoren – ist gemeinsam, dass die Kraftstoffqualitätsanforderungen niedrig sind, also die Abgasreinigung mit hohen Staub- bzw. Aschebelastungen, diversen Inhaltsstoffen, die Katalysatorgifte (P, Si, Ca, usw.) oder Promotoren (V) sein können, und natürlich hohe Schwefelgehalte von einigen hundert bzw. bis zu zehntausenden ppm (0,1 -3% S im Kraftstoff) zurecht kommen muß.

Mit der Entwicklung der SCR-Technologie in den neunziger Jahren und der Markteinführung in Europa mit EU IV ab 2005 wurden definierte Rahmenbedingungen für die Kraftstoff-, Schmieröl- und Reduktionsmittelqualität festgelegt: 10 ppm Schwefel im Diesel, aschearme Motoröle (< 1% Sulfatasche) und 32,5% wässrige Harnstofflösung

nach DIN 70070 (AdBlue), für das eine europaweite Infrastruktur aufgebaut wurde. Damit war es möglich, SCR-Systeme in Großserienprozessen zu entwickeln und herzustellen.

SCR-Technologie für mobile Maschinen (NRMM)

Gesetzliche Rahmenbedingungen

Mit der Einführung der europäischen (EU Stufe III B/ Stufe IV) [1,2] und amerikanischen Gesetzgebung (US Tier 4i/ Tier 4 final) werden Partikelemissionen mit 25 mg/kWh, bzw. 20 mg/kWh und zusätzlich Stickoxidemissionen deutlich abgesenkt. Ab 2014 gilt für alle Maschinen der Leistungsklasse über 56 kW der NO_x-Grenzwert von 0,4 g/kWh. Deshalb wird schon frühzeitig eine nachhaltige Motoren- und Fahrzeugentwicklung unter der Berücksichtigung der Bauraumverhältnisse notwendig. Die Stickoxidgrenzwerte für Maschinen unter 56 kW Leistung bleiben unverändert mit 4,7 g/kWh und bieten damit ideale NO_x-Ruß Verhältnisse für kosteneffektive passive Filtersystemlösungen. Hybride Antriebstechnologien erlauben gegebenenfalls einen Leistungs-Downsizing von der Klasse 56 kW ≤ P < 75 kW um eine kostenintensive NO_x Reduktion durch verbrennungstechnische Maßnahmen oder SCR-Technologien zu vermeiden. Erstmals wird neben dem ISO 8178 / NRSC auch ein transients Zyklus (NRTC) für die Zertifizierung gefordert.

Engine Power	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
P < 19 kW	No limits										
19 ≤ P < 37	US: NO _x + HC = 2.5: PM = 0.6										
	EU: NO _x + HC = 7.5: PM = 0.3										
37 ≤ P < 56	NO _x = 7 PM = 0.4	US: NO _x 4.7 PM 0.3						US: NO _x 4.7 PM 0.02			
		EU: NO _x 4.7 PM 0.4						EU: NO _x 4.7 PM 0.025			
56 ≤ P < 75	US: NO _x 4.7 PM 0.3						US: NO _x 4.7 PM 0.02		NO _x 0.4 PM 0.02		
	EU: NO _x 4.7 PM 0.4						EU: NO _x 4.7 PM 0.025		NO _x 0.4 PM 0.025		
75 ≤ P < 130	US: NO _x 4.0 PM 0.3						NO _x 3.4 PM 0.02		NO _x 0.4 PM 0.02		
	EU: NO _x 4.0 PM 0.3						NO _x 3.3 PM 0.025		NO _x 0.4 PM 0.025		
130 ≤ P < 560	US: NO _x + HC 4.0 PM 0.2						US: NO _x 2.0 PM 0.02		NO _x 0.4 PM 0.02		
	EU: NO _x + HC 4.0 PM 0.3						EU: NO _x 2.0 PM 0.025		NO _x 0.4 PM 0.025		

ULSD (<15ppm) →

 EU Stage III B, Tier 4 Interim (Fokus Partikelreduktion)

 EU Stage IV, Tier 4 (Fokus NO_x Reduktion)

Sicherlich ergeben sich durch neue und weiter optimierte Verbrennungsprozesse weitere Möglichkeiten zur innermotorischen Reduktion der Stickoxide. Wird jedoch eine NO_x -Abgasnachbehandlungstechnik notwendig, finden Lean- NO_x Katalysatoren, welche typischerweise Dieseldieselkraftstoff als Reduktionsmittel verwenden, NO_x -Adsorber Technologien neben der SCR Technologie Einsatzchancen. Für den mobilen Einsatz im On-Road Bereich ist die SCR Technologie in Europa erfolgreich umgesetzt. Hin-gegen wird in den USA erst ab 2010 mit der 100% Grenzwertüberfüllung von 0.27 g/kWh NO_x die SCR Technologie erwartet.

Die Varianz der Applikationen im NRMM Sektor erfordert vielfältig anwendungsspezifische Gesamtlösungen für den Endkunden. Mit steigender Motorleistung steht der Kraftstoffverbrauch im Vordergrund. Für die verbrauchsoptimierte Motorabstimmung sind mit der SCR-Abgasnachbehandlungstechnologie beste Voraussetzungen zur Erfüllung der zukünftigen Emissionsrichtlinien geben. So wurde in den USA in 2008 der erste Traktor mit SCR Technologie erfolgreich mit der Stufe 3A eingeführt [3].

Mit der SCR-Akzeptanz bleibt das Bestreben, den SCR Wirkungsgrad betriebssicher über 8000 Stunden zu maximieren und die Reduzierung der Partikelemissionen durch passive Rußoxidation mit NO_2 zu realisieren. Mit der Applikation eines Oxidationskatalysators kann damit auch die schnelle SCR-Reaktion durch NO_2 , insbesondere im Kaltstart, optimiert werden.

Herausforderungen und Anforderungen für Hochleistungs SCR – Systeme

SCR-Systeme wurden bereits erfolgreich auf dem europäischen Markt eingeführt. In der Zukunft stellen sich nun durch die Einführung des Kaltstarttests, wie im NRTC und auch WHTC, neue Herausforderungen, da die Katalysatoren zunächst sehr schnell auf Betriebstemperaturen aufgeheizt werden müssen. Weiterhin wird im Kaltstarttestzyklus die AdBlue-Dosierfreigabe erst nach Erreichen einer Mindesttemperatur für die Hydrolyse erfolgen können, und das Auskühlen der Katalysatoren in den Wärmesenkephasen muß Beachtung finden. Abbildung 2 zeigt den Temperaturverlauf im NRTC Testzyklus für ein motorfernes SCR System zunächst im Kaltstart und danach im Warmstart. Die NO_x -Reduktion ist aufgrund des Systemaufheizverhaltens im Kaltstart in den ersten beiden Lastzyklen vermindert, aber auch im Warmtests durch Auskühlen beeinflusst.

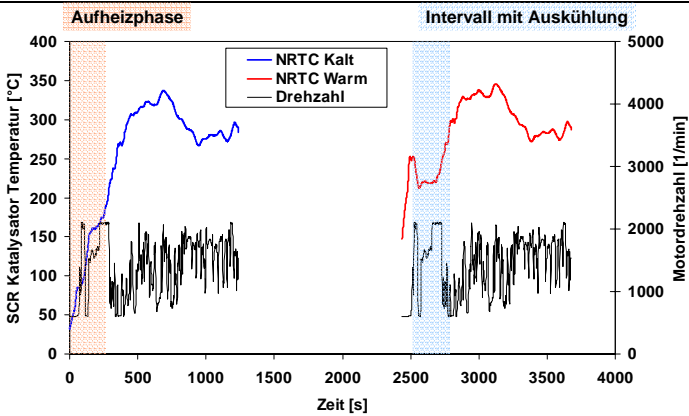
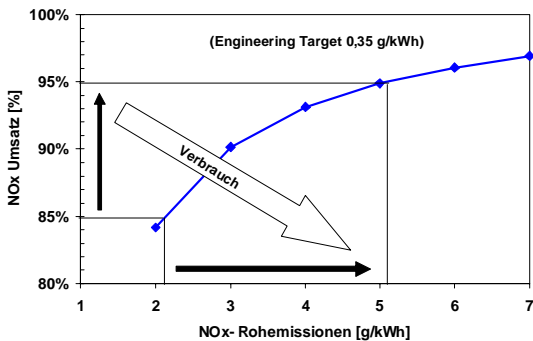


Abbildung 2: Transienter Temperaturverlauf im SCR Katalysator im NRTC Test Zyklus

Unter Berücksichtigung und Wichtung des NRTC-Kaltstarts wurde der erforderliche NO_x -Reduktion zum Erreichen von EU Stufe IV als Funktion der Rohemissionen berechnet (Abbildung 3). Es ergibt sich die erforderliche NO_x -Reduktionsleistung von 90% für Rohemissionswerte von 3 g/kWh. Mit einem Hochleistungs-SCR-System wäre damit eine verbrauchsoptimierte Motorabstimmung mit niedrigen Kühlleistungen für Motoren mit Abgasrückführung oder auch für zwei-stufig aufgeladene Motoren. In den folgenden Kapiteln werden die Herausforderungen und Lösungen dazu aufgezeigt.



Entwicklung von Hochleistungs-SCR-Systemen für NRMM

Neben den thermischen Anforderungen bestimmt die Geschwindigkeit der AdBlue® Verdampfung sowie die Ammoniakbildung und homogene Vermischung mit dem Abgas eine entscheidende Rolle. Insbesondere bei kompakten, motornahen Systemen ist die NH₃-Verteilung und -Mischung aufgrund der reduzierten Rohrlängen extrem kritisch. In einer SCRi®-Anordnung kann der NH₃-Aufbereitungsprozess deutlich verbessert und weiterhin die NH₃-Gleichverteilung integriert werden. Abbildung 4 zeigt den Aufbau des SCRi®-Systems mit Funktion der einzelnen Katalysatoren. Der Systemaufbau zeigt einen Oxidationskatalysator (DOC) mit anschließender AdBlue-Dosierung, den PM-Metaliten mit TiO₂-Beschichtung für die Hydrolyse und dem SCR Katalysator.

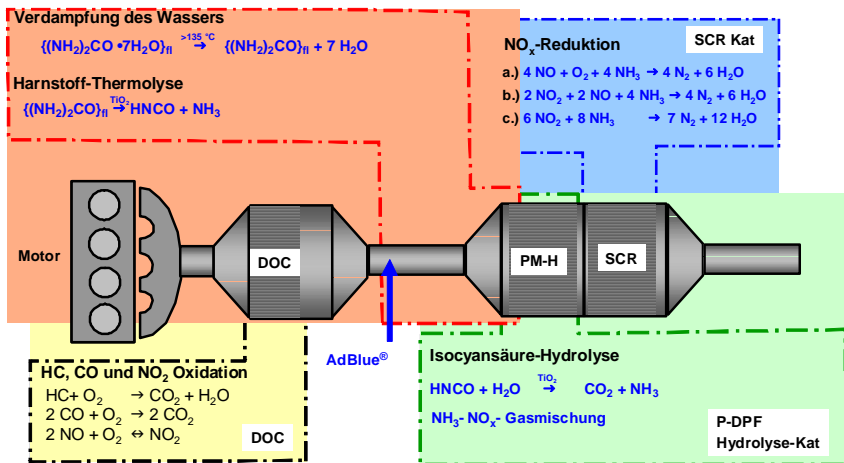


Abbildung 4: SCRi®-System- Konfiguration und Funktion [4,5,6]

In Tabelle 1 sind der Aufbau und die Ergebnisse eines SCRi®-Systems als Funktion der AdBlue-Injektorposition und des Injektortyps (Sprühwinkel, Tropfenverteilung) zusammengefasst. Das System besteht aus einem vorgeschalteten Oxidationskatalysator mit separater PM-Filter mit integrierter Hydrolysefunktion und SCR-Katalysator-Einheit. Zum schnelleren Aufheizen wurde das System in kaskadenbau-

Applikation und Optimierung von SCR – Systemen mit innovativer Substrat-Technologie

weise ausgeführt. Im System A war der AdBlue-Injektor direkt vor dem PM-H-Träger und im System B im Eingangstrichter positioniert. Für System B wurde eine Düse mit flachem Sprühkegel und im System A ein flacher Spraykegel verwendet. Beide Positionen wurden mit Hilfe einer Thermobildkamera bewertet. Dazu wird ein Metallvlies, welches die Katalysatorfläche darstellt, im Abgassystem eingeflanscht und bei Eindüsung die Temperaturänderung ausgewertet.

Die Bilder zeigen dazu die ermittelten Temperaturverteilungen unmittelbar nach Doserstart bei einem mittleren Lastpunkt. Für System B ist die Temperaturverteilung deutlich gleichmäßiger und ein NH_3 -Uniformity Index von 0.89 erreicht (Abbildung 5).

Die NO_x -Reduktionsrate und der zugehörige NH_3 Schlupf sind für beide Systeme in Abbildung 6 gegenübergestellt. Bei hohen Abgasmassenströmen zeigt die Systemkonfiguration B höhere NO_x -Wirkungsgrade im Vergleich zu System A bei gleichzeitig niedrigerem NH_3 Schlupf.

System A	System B
DOC Katalysator: Volumen = 1,6 ltr; Pt-only 40 g/ft ³ ; RG 250 k/hr; 300/ 600 LS Technologie SCR Katalysator: Volumen = 5,5 ltr; Fe-Zeolithe; RG = 88 k/hr; 300/ 600 LS Technologie Distanz zwischen PM-H und SCR = 65 mm	
AdBlue Injektor: SMD 100µm Cone Angle 26° Distanz zum PM-H 50mm	AdBlue Injektor: SMD 50µm Cone Angle 40° Distanz zum PM-H 250mm
Temperaturverteilung der benetzten PM-H Frontfläche 	Temperaturverteilung der benetzten PM-H Frontfläche

Tabelle 1: NO_x Reduktion as Funktion der AdBlue-Aufbereitung in kompakter SCRi[®]-Bauweise

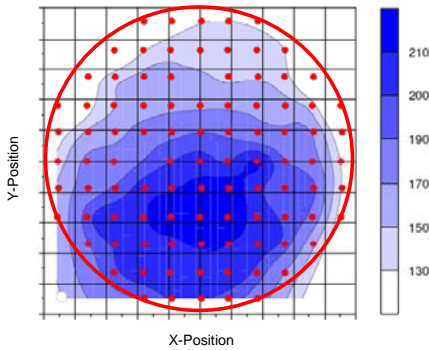


Abbildung 5: Gemessene NH₃-Verteilung nach PM-Metalit für System B (UI = 0.89)

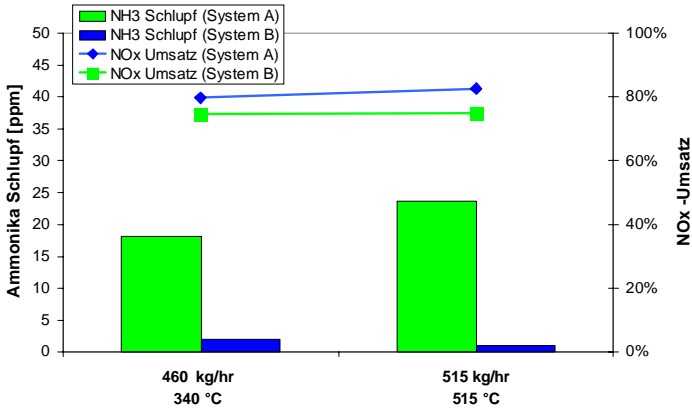


Abbildung 6: Vergleich der NO_x Reduktion und NH₃ Schlupf für System A und B

Mit dem Anspruch für höchste NO_x-Umsätze ist der NH₃/NO_x –Verteilungsindex zu optimieren. Nach den SCR-Reaktionsgleichungen für die Standardreaktion und „fast SCR“ ergibt sich über das Mol-Verhältnis für jeden Standard Kanal i die Gleichung.

$$NH_3 = (NO_{x_{in}} - NO_{x_{out}}) + NH_{3_{Slip}} \quad (1)$$

Bei einem stöchiometrischen NH_3/NO_x -Verhältnis ist theoretisch eine 100%ige NO_x -Reduktion möglich und bei überstöchiometrischem NH_3 Angebot Ammoniak Schlupf gegeben. Abbildung 7 zeigt dazu die berechneten maximale NO_x -Umsatzraten und den NH_3 -Schlupf als Funktion des Verteilungsindex UI_{NH_3} . Mit zunehmendem Gleichverteilung steigt die NO_x -Umsatzrate und gleichzeitig sinkt der NH_3 -Schlupf. Bei einer Dosierrate von $\text{Alpha} = 0,8$ ist der NH_3 Schlupf für $\text{UI}_{\text{NH}_3} > 0,9$ kleiner 10 ppm. Bei einer Dosierrate von 0,95 wird bei gleichem NH_3 -Schlupf von 15ppm ein $\text{UI}_{\text{NO}_x} > 0,937$ erforderlich.

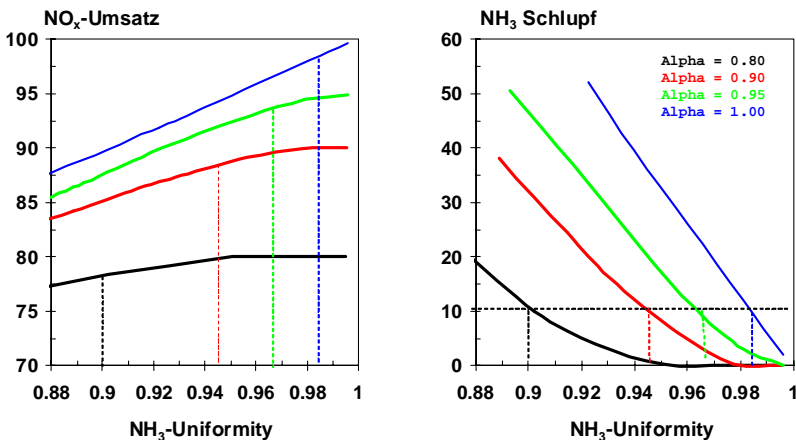


Abbildung 7: NO_x Reduktion und NH_3 -Schlupf als Funktion der Ammoniakverteilung im SCR-Katalysator

Ist das ideale lokale NH_3/NO_x -Verhältnis durch begrenzte Gasmischung vor dem SCR Katalysator nicht gegeben, ermöglichen Katalysatorträger mit LS-PE und PE-Struktur internen Strömungsausgleich.

Abbildung 8 und 9 zeigen den Aufbau und Funktion der Homogenisierung als Funktion der Kanalstruktur für den PM-Metalit und die LS/PE-Foileinstruktur [7,8]. Die Konstruktion des PE- und LS/PE Metaliten ähnelt dem Aufbau eines Katalysatorfachwerks mit mehreren Katalysatorebenen und erlaubt damit einen internen radialen Konzentrations- und Strömungsausgleich.

Applikation und Optimierung von SCR – Systemen mit innovativer Substrat-Technologie

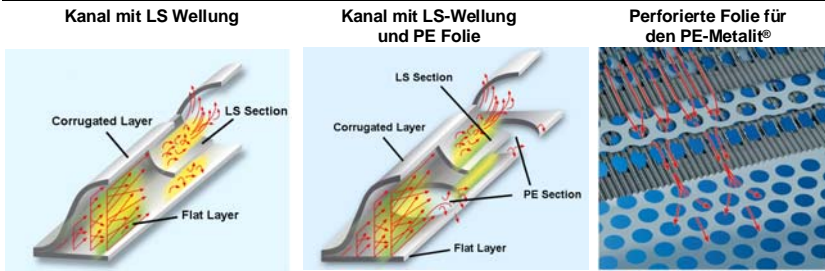


Abbildung 8: Aufbau des LS- und LS-PE Metaliten [6]

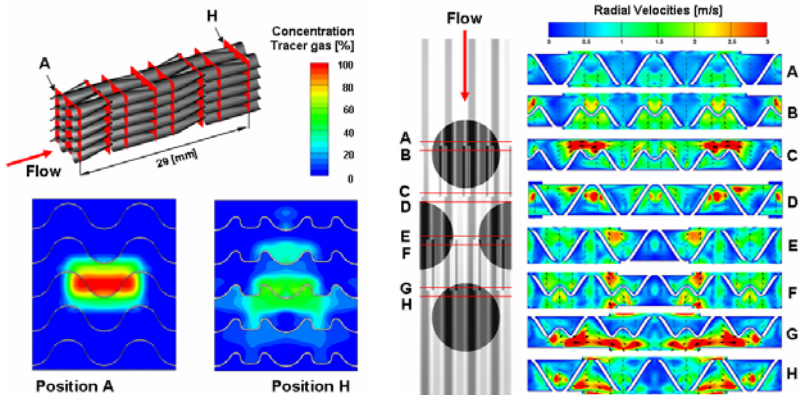


Abbildung 9: Berechnete Konzentrationsverteilung für einen PM-Metalit (links) und für einen Katalysator mit LS/ PE Struktur (rechts) [7,8]

Zur Darstellung anspruchsvoller NH_3 -Gleichverteilungen vor dem SCR-Katalysator ist die Aufbereitung des eingedüsten AdBlue[®] durch Hydrolysekatalysatoren deutlich begünstigt. Die Hydrolysefunktion wird dazu im PM-Metalit[®] mit einer TiO_2 -Beschichtung realisiert und garantiert damit eine verbesserte NH_3 -Aufbereitung bei geringem Bauraumbedarf (vgl. dazu Abbildung 6). Eine Verbesserung der NH_3/NO_x -Mischung wird weiterhin durch turbulente Gasströmung vor dem SCR Katalysator möglich. Abbildung 10 zeigt dazu den Aufbau eines modifizierten Systems mit Zwischenrohr mit 850 mm Länge. Die Reynoldszahl ist über die Länge der Abgassys-

Applikation und Optimierung von SCR – Systemen mit innovativer Substrat-Technologie

tems schematisch dargestellt. Im Abgasrohr sind typischerweise Reynolds-Zahlen deutlich über 50.000 vorhanden wo hingegen im Katalysator laminare Strömungsbedingungen mit Reynolds-Zahlen unter 500 bestehen.

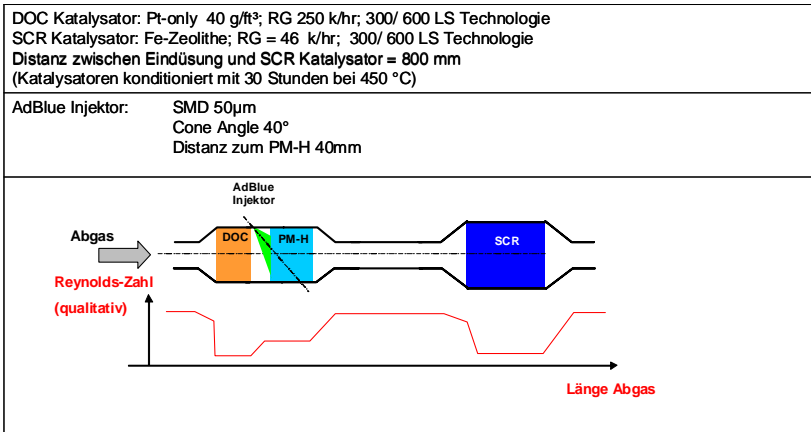


Abbildung 10:SCRi[®]-Systemaufbau mit Zwischenrohr zur Turbulenzerzeugung und Verbesserung der NH₃/NO_x Homogenität

Das System wurde am Motorenprüfstand bei konstantem Motorlastpunkt und SCR Katalysatortemperatur von 430 °C mit 540 kg/ Abgasmassenstrom stabilisiert. Die ermittelten NO_x-Reduktionsraten und die gemessenen Ammoniak-Schlupfwerte als Funktion der Dosiermenge sind in Abbildung 11 zusammengefasst. Die homogene NH₃-Verteilung zeigen NO_x-Reduktionsraten über 96% bei sehr niedrigen Ammoniak Schlupf.

Wird diese hohe NH₃/NO_x-Gleichverteilung mit motornahen Systemen nicht erfüllt wäre ein Abgassystem mit geteiltem SCR Katalysator denkbar. Sicherlich ergeben sich mit der SCR-Katalysator-Splittung weitere Herausforderungen für die AdBlue[®]-Dosierregelung.

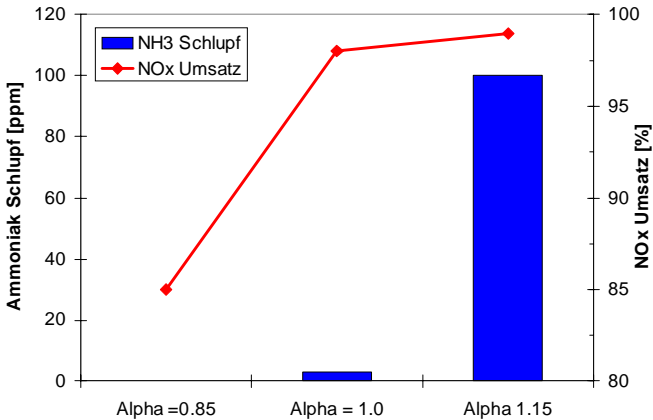


Abbildung 11: SCR Wirkungsgrad als Funktion der Dosiermenge unter stationären Motorbetrieb (T= 420 °C, SCR RG = 46 k/hr)

Sind die Rahmenbedingungen für die Aufbereitung des eingedüsten Reduktionsmittels gegeben, wären bei ausreichender Dimensionierung der Katalysatoren die hohen NO_x-Reduktionsraten in stationären Lastzuständen darstellbar. Unter transienten Betriebszuständen jedoch, wie im NRTC Testzyklus, sind die AdBlue-Dosierregelparameter auf das thermische Verhalten der Katalysatorkomponenten zu optimieren. Motornahe Katalysatoren erfahren deutlich höhere Temperaturwechsel als motorferne Systeme. In einer SCRi[®]-Anordnung wird die SCR Katalysatortemperatur im dynamischen Betrieb durch die Wärmekapazitäten des Oxidationskatalysators und des PM-Metaliten beeinflusst. Abbildung 12 links zeigt dazu die mittlere Temperatur und die Temperaturspanne für verschiedene Messstellen im System NRTC.

Im Lastsprung bei Sekunde 608 steigen die NO_x-Rohemissionen an und die SCR Katalysatortemperatur steigt mit zeitverzögert an. Modelbasierende AdBlue[®]-Dosieralgorithmen mit Berücksichtigung der thermischen Systemeigenschaften sind Voraussetzung für die Gesamtoptimierung des Systems um hohe NO_x-Reduktionen bei minimalen NH₃ Schlupf sicherzustellen.

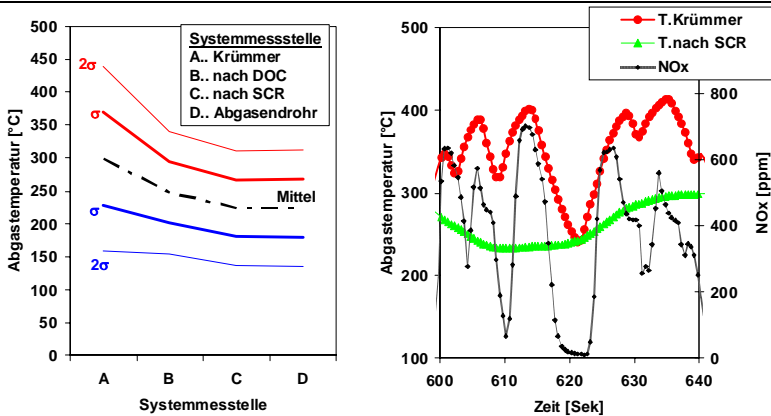


Abbildung 12: Temperaturverteilung und transiente Katalysortemperaturen im SCRi®-System im NRTC Test (System wie in Tabelle 1 dargestellt)

SCR-Technologie für P > 560 kW Motoren

Gesetzliche Rahmenbedingungen

Mit der Einführung der NO_x Emissionengrenzwerte von 2 g/kWh (EU Stufe III B) werden für Triebwagenmotoren ab 2012 Maßnahmen zur Stickoxidminderung notwendig [9]. Für Lokomotivmotoren und Dieselmotoren in der Marine werden in den USA ab 2014 mit Einführung der Tier 4 final Grenzwerte von 2 g/kWh darzustellen sein [11,12]

Herausforderungen und Anforderungen

Die Applikation von Abgasnachbehandlungstechnologie für diese Anwendungen stellt extreme Anforderungen an Packaging, Dauerhaltbarkeit und selbstverständlich Betriebsicherheit. Die Katalysatoren müssen im Abgaschalldämpfergehäuse integriert und gegebenenfalls zusätzlich Bauraum allokiert werden. Letztere Maßnahme scheint für den brachenfernen Entwickler in Anbetracht der Systemausmaße simpel, stellt jedoch eine extreme Herausforderung. Insbesondere die zusätzliche Abgasgedrücke durch Katalysator- und Mischerkomponenten sind absolut zu minimieren, da Betriebskosten mit höchster Priorität Beachtung finden müssen. Selbstverständlich gelten die physikalischen Gesetze für die Optimierung der NH₃/NO_x- und Strömungsverteilung aber auch Temperaturhomogenität zur Maximierung der

bauraumspezifischen Katalysatorleistungen. Dabei besteht der Anspruch für hohe NH_3 -Gleichverteilung auf große Katalysatorquerschnitte.

Substrat-Technologien für Großmotoren

Neu entwickelte Fertigungsverfahren für Metallträger erlauben bauraumoptimierte Substratgeometrien die nicht nur für leistungsstarke NRMM Anwendungen kompakte Konstruktionen erlauben. Die Querschnittserhöhung und verkürzte Bauweise eines ovalen Trägers im Vergleich mit einem Standard Träger in runder Ausführung ermöglichen Potenziale von bis zu über 80 % im Falle einer einachsigen Bauraumrestriktion. In Abbildung 13 sind die berechneten Potenziale dimensionslos für gleiche Zelldichte, Wandstärke und Raumgeschwindigkeit dargestellt.

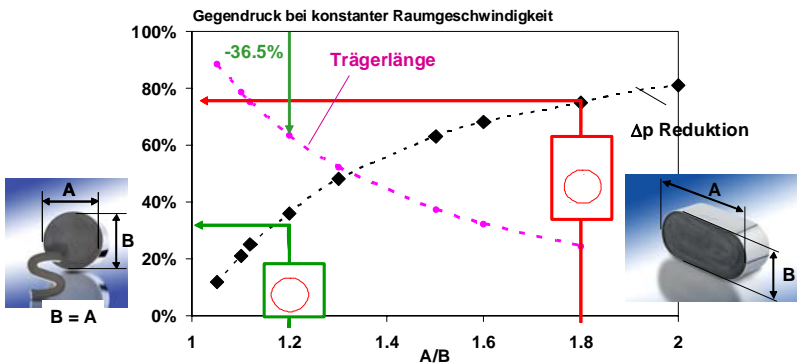


Abbildung 13: Gegendruckoptimierung durch Maximierung der Trägerquerschnittsfläche von Rund nach Oval (vgl [13])

Für mobile SCR Technologien ist ein Systemaufbau in Kassettenmodulen durch nahezu rechteckigen Trägern auf geringsten Bauraum mit deutlich unter 20 mbar Gegendruck darstellbar. Durch die Hintereinanderschaltung im Schalldämpfer wird eine Verbesserung der NH_3 - Gleichverteilung möglich. Beispiele für ein Kaskadenbauweise sind in Abbildung 14 dargestellt.

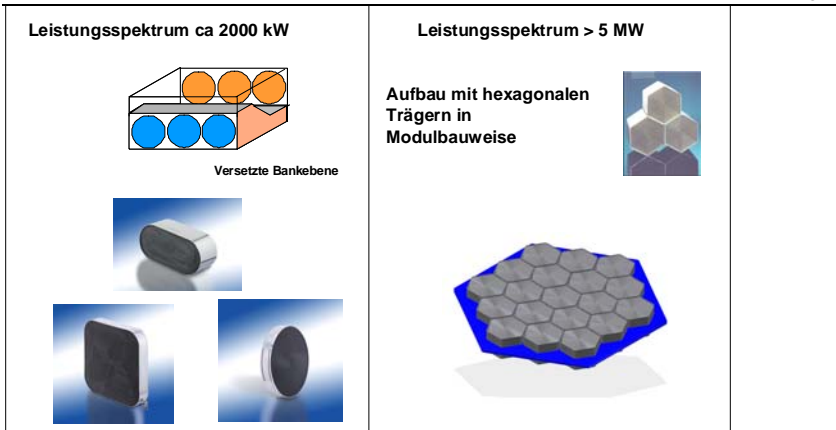


Abbildung 14: Innovative Metalit-Träger für gegendruckoptimierte Katalysator-
technik für Großmotoren

Während der konstruktiven Ausarbeitung und dem Funktionsnachweis ist eine begleitende FMEA für die Sicherstellung der hohen Systemlaufzeiten extrem wichtig. Abhängig vom Belastungsspektrum können Designparameter frühzeitig mit CAE-Tools optimiert und den Anforderungen angepasst werden. Begleitende Messungen erlauben eine Erfassung und Bewertung der Lastkollektive.

Zusammenfassung

Mit der Einführung der transienten Testbedingungen für NRMM mit Kalt- und Warmstart-Zyklen ergeben sich neue Herausforderungen für die Entwicklung von SCR-Systemen. Mit der Einführung der EU Stufe IV NO_x -Grenzwerte mit 0,4 g/kWh sind Hochleistungs-SCR-Systeme mit 90% NO_x -Wirkungsgrad Voraussetzung für eine nachhaltige, verbrauchoptimierte Kundenlösung, insbesondere für Maschinen mit hoher Motorauslastung wie landwirtschaftliche Maschinen.

Die integrierte Lösung mit Rußoxidation und AdBlue®-Aufbereitung im SCRi®-System unterstützen eine kompakte, motornahe Gestaltung des Abgassystems bei minimalem Gegendruck. Ein schnelles Aufheizen der Abgasreinigungskomponenten durch motornahe Katalysator-technik mit kontinuierlich arbeitendem Partikelfilter und eine exzellente NH_3 -Verteilung sind notwendig und zeigen Vorteile im NRTC-

Kaltstart. Mit der integrierten Hydrolyse- und Mischfunktion im PM-Metaliten wird die Aufbereitung des eingedüsten Reduktionsmittels auf kleinem Bauraum realisiert. Eine exzellente NH_3/NO_x -Gleichverteilung im SCR-Träger ist Grundvoraussetzung für eine hohe NO_x -Reduktionsleistung und kann durch strukturierte Metaliten mit LS- und PE-Struktur zusätzlich verbessert werden. Letztendlich wird eine hohe NO_x -Konvertierungsleistung nur durch optimierte Dosier-Algorithmen unter Berücksichtigung der thermischen Systemeigenschaften möglich.

Für Großmotoren werden Abgaskomponenten mit maximalen Querschnitten zur Darstellung minimaler Strömungswiderstände mit niedrigen Zelldichten notwendig. Die Eindüsung und Aufbereitung des Reduktionsmittels und letztendlich Gleichverteilung im beengten Bauraum definiert die Wirtschaftlichkeit bei minimalen spezifischen Kraftstoffverbräuchen.

Referenz:

- [1] EU RICHTLINIE 97/68/EG (2004/26/EG)
- [2] USA – EPA Nonroad Vorschrift, (40 CFR 89, 40 CFR 1039 und 40 CFR 1068)
- [3] Web Seite, <http://www.agcosisupower.com>
- [4] W. Maus, R. Brück, “Exhaust Gas Aftertreatment Systems for Commercial Vehicles – Technologies and Strategies for the Future”, International Commercial Powertrain Conference, Graz, Austria, 2007
- [5] M. Rice, J. Kramer, “Development of an Integrated NO_x and PM Reduction Aftertreatment System: SCRⁱ® for Advanced Diesel Engines”, SAE 2008-01-1321
- [6] D. E. Jacob, “Perspektiven der mobilen SCR-Technik”, 15. Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentechnik, 2006
- [7] R. Brück, P. Hirth, W. Maus, O. Deutschmann, N. Mladenov, „Grundlagen der „laminaren“ und „turbulenten“ Katalyse: „Turbulent“ schlägt „Laminar“, 27. Internationales Wiener Motorensymposium, H.P. Lenz (Hrsg.) VDI-Fortschritt-Berichte, Reihe 12 Nr.622, Band 2, 2006
- [8] S. Steinbach; Lehrstuhl für Thermodynamik; “Einfluss der Transportvorgänge auf die Effizienz von Harnstoffkatalysatoren in SCR-Abgasanlagen“, TU München, 2007
- [9] R. Brück, K. Müller-Haas, O. Holz, P. Hirth, “Application of PM-Metalit[®] and SCRⁱ® Systems”, 5th International Commercial Powertrain Conference 2009
- [10] Quelle AVL Fire performance

- [11] EPA- web page, <http://www.epa.gov/EPA-AIR/2007/April/Day-03/a1107a.htm>
,Control of Emissions of Air Pollution From Locomotive Engines and Marine
Compression-Ignition Engines Less Than 30 Liters per Cylinder
- [12] USA – EPA –Lokomotiv – Vorschrift 40 CFR 92
- [13] K. Müller-Haas, M.Rice, “Innovative Metallic Substrates for Exhaust Emission
Challenges for Gasoline and Diesel Substrates”, SAE 2005-01-3851