

# **Der PM-Filterkatalysator: Ein Diesel-Oxidationskatalysator mit Partikelminderung der nächsten Generation**

R. Brück  
Dr. J. Diring

## **1. Einleitung**

Die Abgasgesetzgebungen für Fahrzeuge mit Dieselantrieb sind weltweit in der Diskussion. Hierbei wird der Schwerpunkt auf die Partikel- und Stickoxidemissionen gelegt. In der Frage, ob Partikel gesundheitsgefährdend sind oder nicht, wird nun zusätzlich zur Partikelmasse auch die Partikelgröße und -anzahl, vor allem der sogenannten Nanopartikel (< 100 Nanometer), diskutiert. Das Messen der Partikelanzahl und der Partikelgröße stellt messtechnisch jedoch eine Herausforderung dar, sodass für EU 5 nicht damit gerechnet wird, dass neben der gravimetrisch ermittelten Partikelmasse ein Anzahlgrenzwert festgelegt wird.

Während die amerikanischen Grenzwerte bis über 2010 hinaus festgeschrieben sind, werden in Europa die PKW EU 5 Grenzwerte aktuell bearbeitet. Eine Festschreibung wird jedoch nicht vor 2006 – 2007 erwartet. Dies macht eine Langfristplanung in der Automobil – und Zuliefererindustrie unmöglich. Insbesondere die Stickoxid- als auch die Partikelgrenzwerte werden sehr kontrovers und auf unterschiedlichstem Niveau diskutiert.

Erschwert wird diese Diskussion und die Planung der erforderlichen katalytischen oder Filter-Maßnahmen noch durch die nicht absehbare Weiterentwicklung der Motoren und damit der Absenkung der Rohemissionen.

Abbildung 1 zeigt die Entwicklung der Rohemissionen am Beispiel deutscher Zertifizierungsdaten. Es wurde jeweils der Mittelwert der Zulassungsdaten herangezogen. Die zukünftige Entwicklung (mit Pfeilen dargestellt) kann anhand aktueller Veröffentlichungen [1, 2, 3] abgeschätzt werden. Es wird erwartet, dass relativ zum heutigen EU 4 Niveau die Stickoxid- (NO<sub>x</sub>) und Partikelwerte (PM) durch neue Einspritzsysteme, erweiterte Abgasrückführung, verbesserte Aufladung und modifizierte Brennverfahren um 30 - 50% abgesenkt werden können. Vermutlich werden sich die Kohlenwasserstoff- (HC) und Kohlenmonoxid (CO)-Rohemissionen jedoch erhöhen, wodurch ein noch effektiverer, kaltstarttauglicher Katalysator vor Turbine [4] an Bedeutung gewinnt. Ob diese Motoren bis zum MJ 2010 einsatzbereit sind, ist die offene Frage.

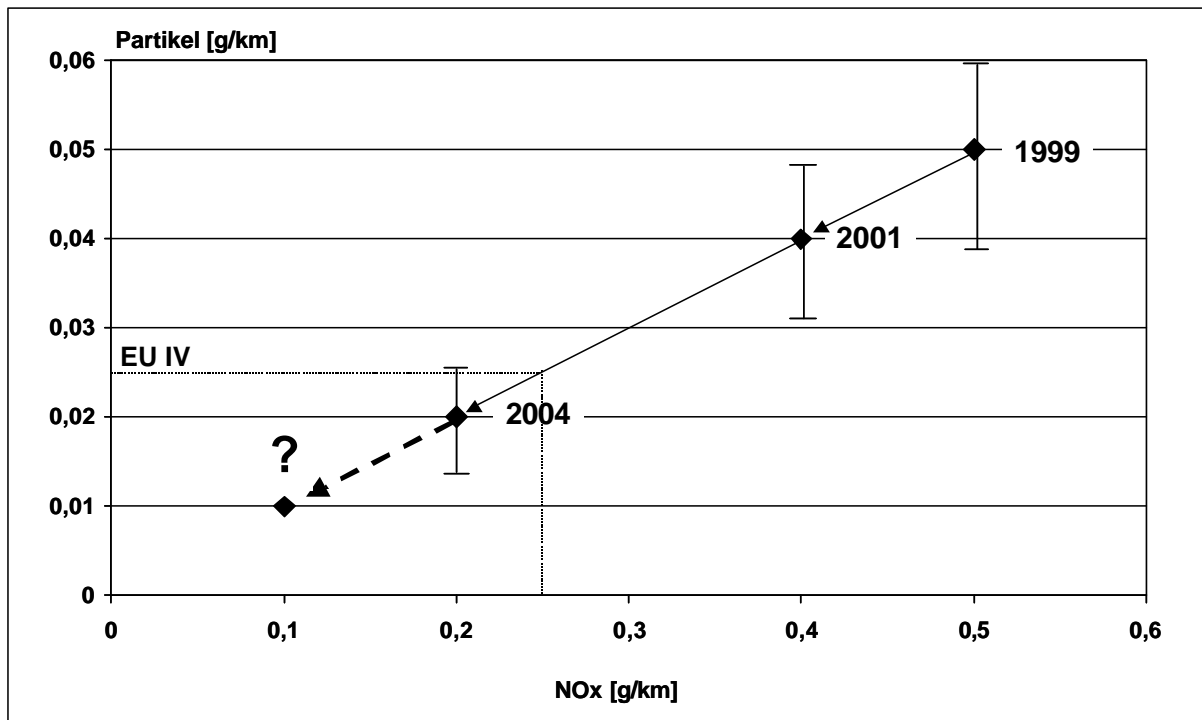


Abb.: 1 Entwicklung der NOx- und Partikelrohmissionen am Beispiel der deutschen Zertifizierungsdaten; Quelle: KBA Zertifizierungsdaten PKW

Dem gegenüber stehen die unterschiedlichen Szenarien für EU 5. In der folgenden Tabelle sind die im Questionnaire der EU vorgeschlagenen Szenarien zusammengefasst. Die CO- und HC-Emissionen entsprechen jeweils dem ab 2005 gültigen EU 4 Grenzwerten und sollen nicht verschärft werden.

		NOx [g/km]	PM [g/km]
Euro 4		0,25	0,025
Euro 5	Szenario 1	0,075 (-70 %)	0,0025 (-90 %)
	Szenario 2	0,15 (-40 %)	0,0025 (-90 %)
	Szenario 3	0,075 (-70 %)	0,0085 (-66 %)
	Szenario 4	0,15 (-40 %)	0,0085 (-66 %)
	Szenario 5	0,075 (-70 %)	0,0125 (-50 %)
	Szenario 6	0,15 (-40 %)	0,0125 (-50 %)

Tabelle 1: EU Szenarien für EU 5; Diesel PKW; Quelle: EU 5 Questionnaire

Die Bandbreite der Vorschläge macht es schwierig, eine Prognose bzgl. der erforderlichen Umsatzraten für die Stickoxid- und Partikelnachbehandlung, und damit der erforderlichen Technologien zu erstellen.

Ähnlich stellt sich auch die Situation auf der Seite der Nutzfahrzeuge dar. Die Grenzwerte für schwere Nutzfahrzeuge wurden in USA für 2007/2010 auf ein extrem niedriges Niveau festgelegt. In Europa sind die EU V Grenzwerte für 2008 fixiert. EU VI Szenarien für 2012 sind aber bereits in der Diskussion. Basierend auf den Rohmissionen eines modernen Nfz Dieselmotors (NOx: 2,5 g/km; PM: 0,042 g/km im ESC und NOx: 3,0 g/km; PM 0,075 g/km in ETC) wurden die erforderliche

Mindestumsatzraten für NOx und PM für die unterschiedlichen Märkte berechnet (Tabelle 2).

	Jahr	Test	NOx-Grenzwerte (Umsatzrate)	PM-Grenzwerte (Umsatzrate)
Europa	2005	ESC	3,5 g/kWh (0%)	0,02 g/kWh (42%)
		ETC	3,5 g/kWh (0%)	0,03 g/kWh (60%)
	2008	ESC	2,0 g/kWh (20%)	0,02 g/kWh (42%)
		ETC	2,0 g/kWh (33%)	0,03g/kWh (60%)
USA	2004	ESC	2,5 g/hph (0 %)	0,1 g/hph (0 %)
	2007*	ESC	0,2 g/hph (89 %)	0,01 g/hph (68 %)
	2010	ESC	0,2 g/hph (89 %)	0,01 g/hph (68 %)

\* Flottenanteil 50 %

*Tabelle 2: Nfz-Grenzwerte in den USA und Europa und erforderliche Umsatzraten am Beispiel eines modernen EU III Motors*

Unter Annahme der in Tabelle 2 dargestellten Umsatzraten ergeben sich die Anforderungen an Katalysator- bzw. Filtersysteme. Aber auch beim Nfz Motor stellt sich natürlich die Frage, wie groß das motortechnische Potential zur Verringerung der Rohemissionen in den nächsten Jahren sein wird. Durch eine Verschiebung der NOx/PM Rohemissionen ergibt sich ein weiteres Planungsszenario, wobei dem dadurch beeinflussten Kraftstoffverbrauch speziell beim Langstreckenfahrzeug aus wirtschaftlichen Gründen besondere Bedeutung zukommt. In solche Überlegungen müssen dann auch „Medium“ und „Light“ Duty Fahrzeuge mit einbezogen werden.

Es wird jedoch deutlich, dass speziell für den Nfz-Bereich die notwendigen Partikelreduktionen für Europa bei 60 % und für USA bei 68 % liegen. Die extremen Laufzeiten von über 1 Millionen Kilometer sprechen für ein Filtersystem mit begrenzter Effektivität, aber hoher Lebensdauer.

## 2. Der PM-Filterkatalysator

Der PM-Filterkatalysator ist ein Oxidationskatalysator mit Partikelverminderungsfunktion. Die Abgasströmung wird durch Schaufeln in den Katalysatorkanälen teilweise durch ein metallisches Faservlies geleitet. Die in diesem Teilstrom befindlichen Partikel werden im Vlies abgeschieden und mit NO<sub>2</sub> regeneriert. Abbildung 2 zeigt das Funktionsprinzip des PM-Filterkatalysators. Die Konstruktion des PM-Filterkatalysators wurde in der Vergangenheit bereits in mehreren Veröffentlichungen beschrieben [5, 6, 7].

Der konstruktive Aufbau des PM-Filterkatalysators wurde so gewählt, dass die Fertigungsschritte eines normalen Metallträgers weitestgehend übernommen werden konnten. Als zusätzlicher Prozessschritt wurde lediglich ein Rollnahtschweißprozess der Glattlagenstreifen an das Faservlies eingeführt (s. Abbildung 2).

Die Effektivität des PM-Filterkatalysators hängt direkt von der Oxidationsrate der im Vlies eingelagerten Partikel ab. Die Oxidationsrate ist wiederum von der Temperatur und vom NO<sub>2</sub>/Ruß Verhältnis abhängig. Hierbei wird das NO<sub>2</sub> zu NO reduziert. Werden die eingelagerten Rußpartikel 100%ig oxidiert, ist die Filterleistung des

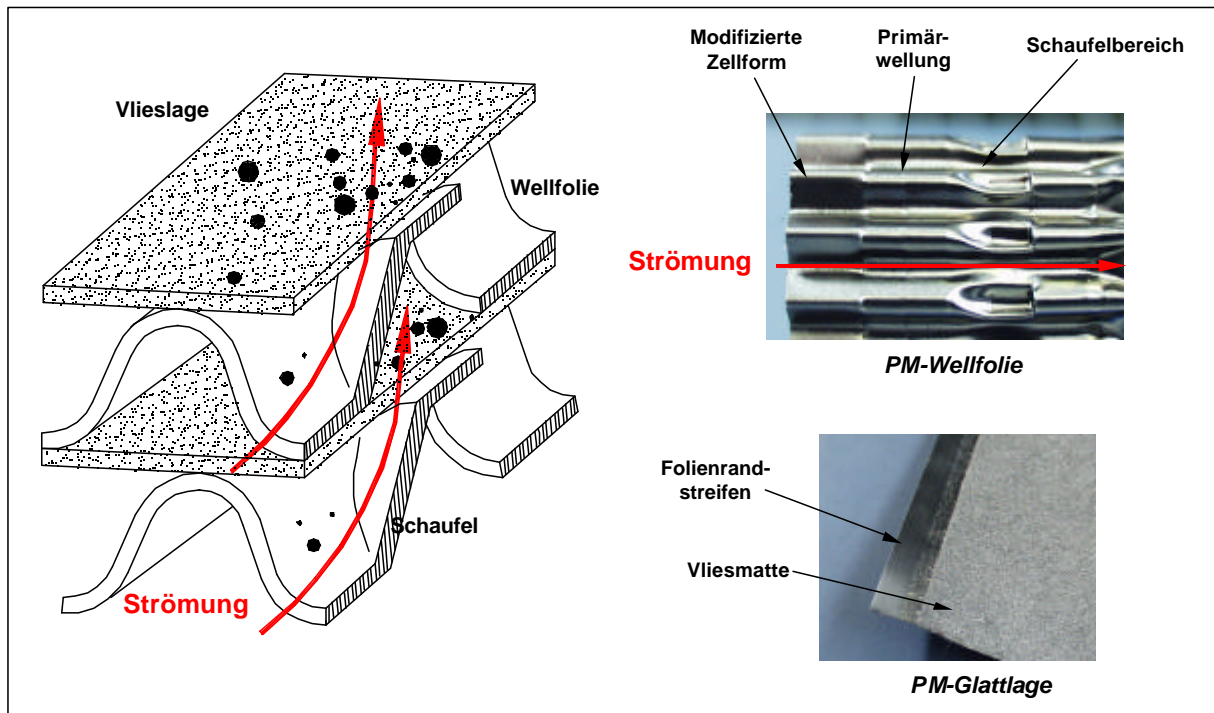


Abb.: 2: Funktionsprinzip des PM-Filterkatalysators, konstruktiver Aufbau

PM-Filterkatalysators direkt von dessen Länge (Abbildung 3) und im gewissen Rahmen von der Strömungsgeschwindigkeit, also dem Katalysatordurchmesser, abhängig. Hierbei ist die Filterleistung bei kleineren Durchmessern aufgrund der höheren Kanalgeschwindigkeit größer.

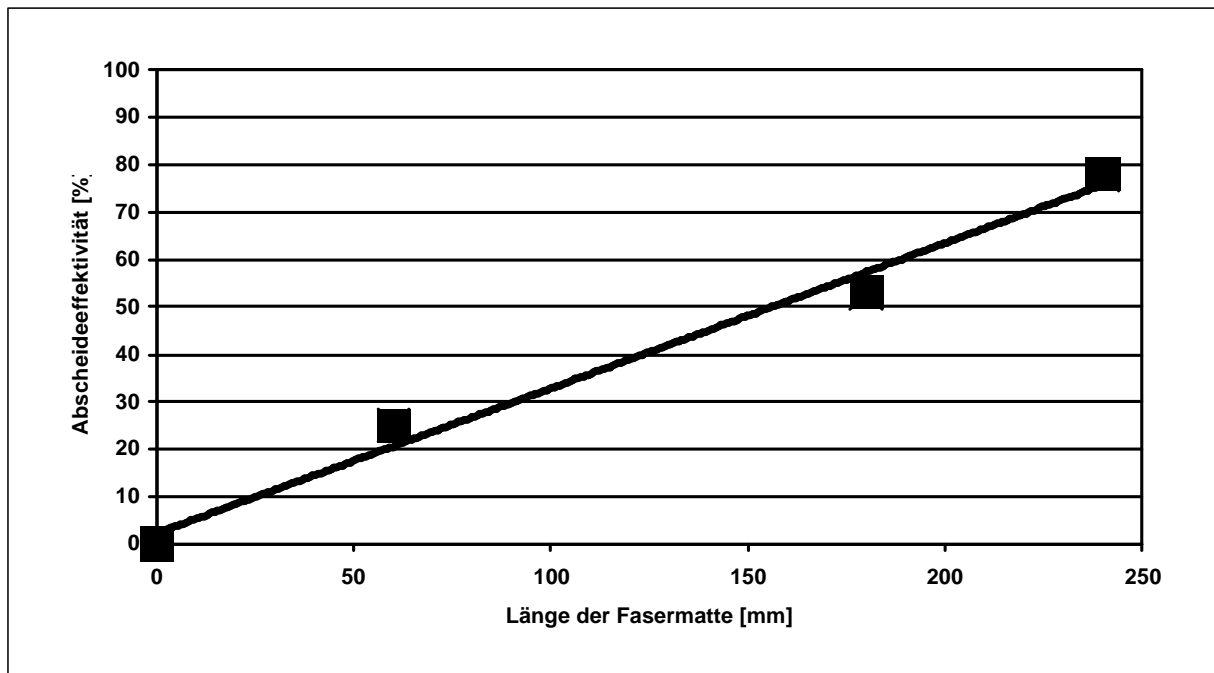


Abb. 3: Maximale Filterleistung bei  $\text{NO}_2$ -Überschuss und ausreichender Temperatur als Funktion der Faserlagenlänge; Strömungsgeschwindigkeit 1 m/s; Gasreaktor

Die Auslegung des PM-Filterkatalysators ist von 2 Parametern abhängig:

a) Maximal mögliche Effektivität

In Abhängigkeit des  $\text{NO}_2/\text{Ruß}$  Verhältnisses kann die maximale Effektivität berechnet werden. Abhängig davon ergibt sich eine sinnvolle PM-Filterkatalysatorlänge. Ausnahme bildet hierbei der beschichtete PM-Filterkatalysator, da er das „verbrauchte“ und damit zu NO reduzierte  $\text{NO}_2$  wieder zu  $\text{NO}_2$  aufoxidiert, welches dann im folgenden Teil des PM-Kat wiederverwertet wird. Das Prinzip der Mehrfachnutzung des  $\text{NO}_2$  zeigt beim PM-Filterkatalysator einen Vorteil, da das Abgas nicht nach dem Durchströmen der Filterfläche auf der „sauberen“ Filterseite weiterströmt, sondern im Filterbereich und damit im Kontakt mit dem Ruß verbleibt.

b) Druckverlust

Das zweite Auslegungskriterium ist der Druckverlust. Bei für eine gewünschte Effektivität erforderlichen Länge des Filterkats verbleibt als Variable nur der Katalysatorquerschnitt zum Einstellen des Druckverlust.

Auf Basis dieser Erkenntnisse wurden Untersuchungen an PKW und Nfz mit unterschiedlichen Motoren ( $\text{NO}_2/\text{Ruß}$ -Verhältnis) und unterschiedlichen PM-Filterkatlängen durchgeführt.

### 3. Konzeptstudie PM-Filtereffektivitäten

Eine Reduktion der Partikel in einem quasi kontinuierlichen Prozess ist bei den niedrigen Temperaturen im Abgas nur mit Hilfe von  $\text{NO}_2$  möglich. Die Reaktion von  $\text{NO}_2$  mit Partikeln läuft bereits ab einer Temperatur von  $200^\circ\text{C}$  [8] merklich ab, reicht jedoch vor allem im Stadtbetrieb nicht aus, um die Partikel 100%ig zu reduzieren. Das führt beim PM-Filterkatalysator zu einem Gleichgewicht zwischen Regeneration und Filterleistung ohne jedoch die Betriebssicherheit zu gefährden.

Ab etwa  $300^\circ\text{C}$  nimmt der Einfluß von Sauerstoff zu um dann bei etwa  $400^\circ\text{C}$  die gleiche Oxidationswirkung zu haben wie das  $\text{NO}_2$ .

Um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten wurde die Länge des PM-Filterkats zunächst auf konstant 150 mm festgelegt. Dies ergibt abzüglich der Folienstreifen an der Gasein- und Austrittsseite eine wirksame Vlieslänge von 126 mm.

#### 3.1 PKW Applikationen

Am Beispiel eines 3,0 l Turbodiesel Motors mit EU 3 Abstimmung wurde das  $\text{NO}_2/\text{NO}$  Verhältnis im Test gemessen (Abbildung 4). Zusätzlich wurden die modalen Partikelemissionen bestimmt.

Die Messungen ergaben ein  $\text{NO}_2/\text{NO}$ -Verhältnis von 0,7 im ECE Teil und ein Verhältnis von 1,7 im EUDC Teil des europäischen Abgastests. Daraus resultiert ein Gesamtverhältnis von 1,1. In Abhängigkeit der Abgastemperatur und der Gaszusammensetzung und nicht zuletzt als Funktion der motorischen  $\text{NO}_2$ -Emissionen schwankt dieses Verhältnis bei unterschiedlichen PKW-Applikationen um plus/minus 25 %. Das  $\text{NO}_2/\text{Ruß}$  Verhältnis des 3,0 l Motors über Gesamt NEDC beträgt damit 9,2.

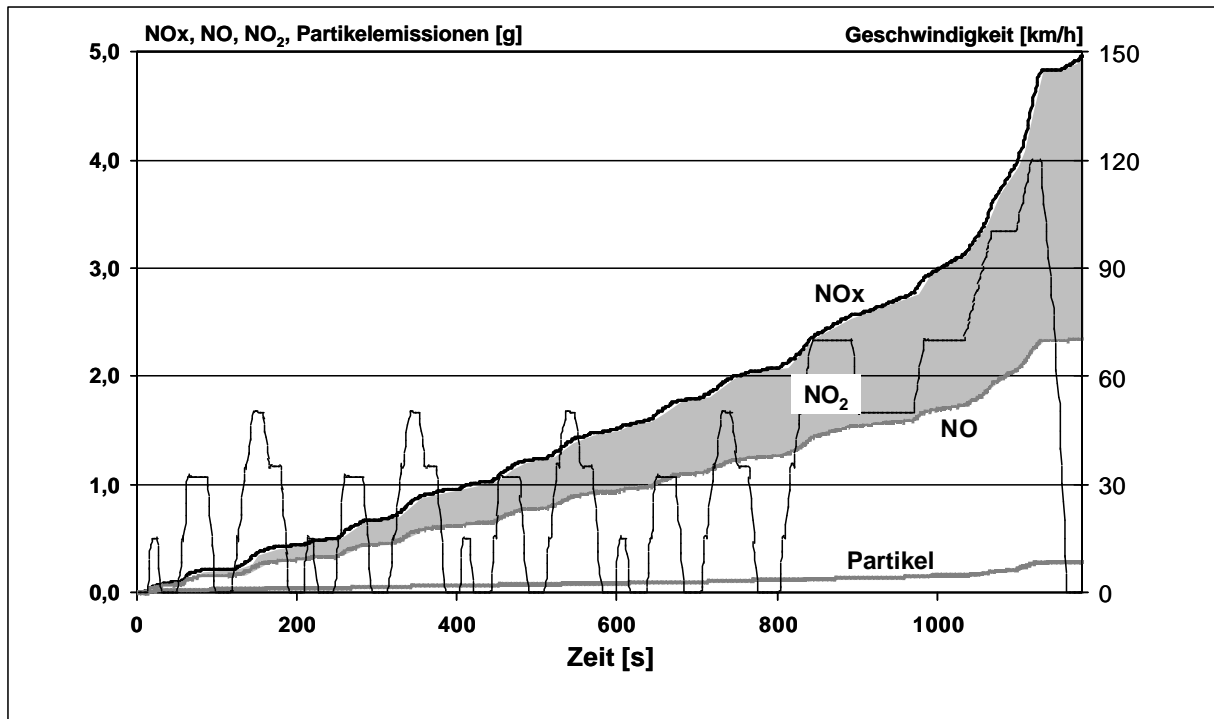


Abb.4: NOx-, NO<sub>2</sub>-, NO- und Partikelrohmissionen gemessen im NEDC Test an einem Oberklassefahrzeug mit 3,0 l Motor

Um einen Überblick über das theoretisch vorhandene Rußverminderungs-Potential zu bekommen, wurde in Tabelle 3 das theoretische NOx/Ruß und NO<sub>2</sub>/Rußverhalten anhand der europäischen Grenzwerte EU 3 bis EU 5 berechnet. Das NOx/NO<sub>2</sub> Verhältnis wurde mit 1,1 angenommen. Die EU 5 Werte wurden mit NOx = 0,2 g/km und PM mit 0,08 g/km angenommen.

	NOx [g/km]	PM [g/km]	NOx/PM [-]	NO <sub>2</sub> /PM [-]
EU 3	0,5	0,05	10	5
EU 4	0,25	0,025	10	5
EU 5 (in Diskussion)	0,2	0,008	25	12,5

Tabelle 3: NOx/Ruß-Verhältnis und NO<sub>2</sub>/Ruß-Verhältnis bei einem angenommenen NO/NO<sub>2</sub>-Verhältnis von 1,1

Die theoretischen NO<sub>2</sub>/Ruß Verhältnisse zeigen für EU 3 und EU 4 Fahrzeuge das gleiche Potential, und für EU 5 ein um den Faktor 2,5 erhöhtes Potential.

Neben den Messungen der gasförmigen Emissionen wurden an einem Mittelklassefahrzeug mit 1,9 l TDI Motor die Partikelemissionen mit und ohne PM-Filterkat-System gravimetrisch mittels PASS (Photo Acoustic Sensor) und TRDMPS

(Transient Differential Mobility Particle Spectrometer) gemessen [10]. Mit dem PASS System wird nur Kohlenstoff detektiert, sodass angelagerte Kohlenwasserstoffe oder Kondensate nicht zu einer Verfälschung der Ergebnisse führen können [9]. Das sogenannte TRDMPS arbeitet auf dem Prinzip eines SMPS (Scanning Mobility Particle Sizer) Messgeräts, besteht jedoch aus 10 parallel geschalteten Einheiten und erlaubt damit die transiente Messung von Partikelgrößenverteilungen. Abbildung 5 zeigt die modale gesamt Partikelanzahl und die gravimetrisch ermittelten Partikelemissionen gemessen über den NEDC (New European Driving Cycle) mit und ohne PM-Filterkat-System. Das Seriensystem, bestehend aus einem Oxidationskatalysator der Größe  $\varnothing$  118 x 150 mm; 400 cpsi in vorgezogener Unterbodenlage, wurde durch einen motornahen Oxikat  $\varnothing$  90 x 74,5 mm; 400 cpsi und einem ebenfalls beschichteten PM-Filterkat der Größe  $\varnothing$  105 x 150 mm ersetzt. Das gesamte Katalysatorvolumen und die Platinbeladung blieben konstant. Das PM-Katalysatorsystem wurde 10.000 km im realen Straßenverkehr konditioniert. Die CO und HC-Emissionen der beiden Systeme waren vergleichbar.

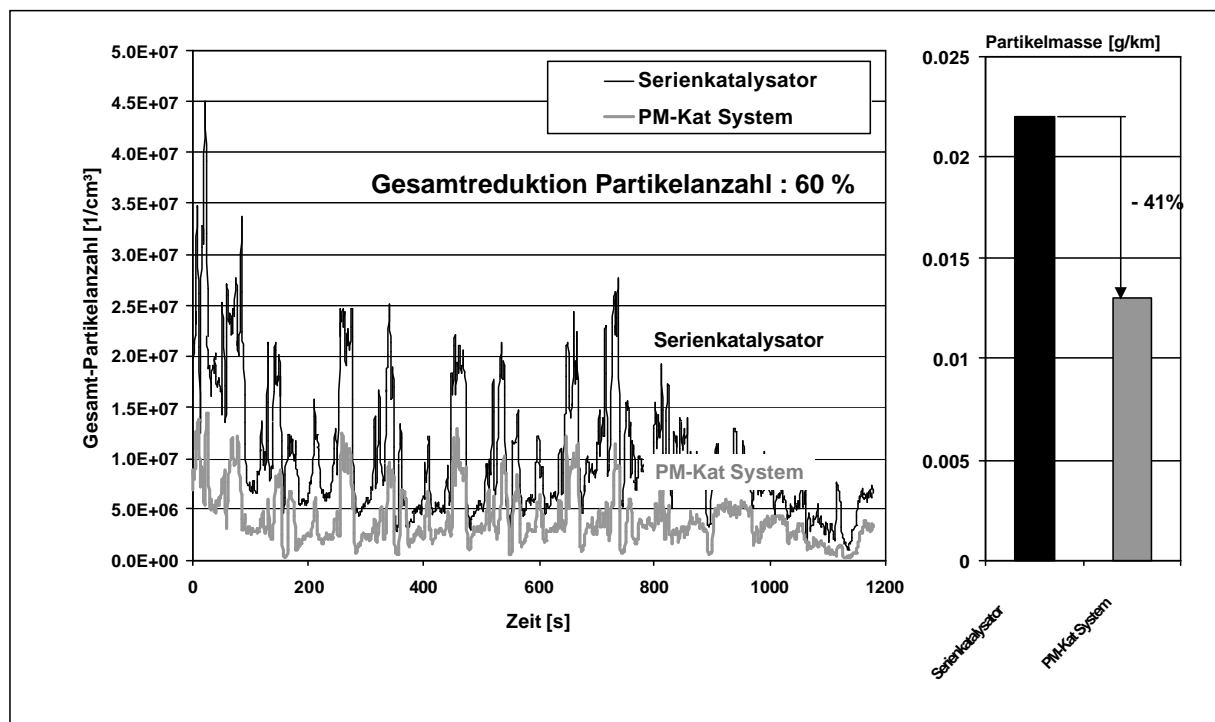


Abb. 5: Gesamt-Partikelanzahl und gravimetrisch ermittelte Partikelemissionen im NEDC mit und ohne PM-Filterkatsystem

Es wird deutlich, dass die Anzahl der Partikel über den gesamten Testzyklus reduziert werden. Die vorhandene Reduktion der Partikel im Kaltstart auch ohne ausreichende Temperatur und  $\text{NO}_2$  Konzentration (s. Bild 4) zeigt, dass der PM-Katalysator in der Lage ist, geringe Rußmengen zwischenzulagern. Die Reduktion der Partikelanzahl über Gesamttest beträgt 60 %. Die gleichzeitig erfolgte gravimetrische Messung der Partikelmassen ergab eine Reduktion von 41 % bei einem  $\text{NO}_2/\text{Ruß}$ -Verhältnis von 8,1. (Bild 5)

Dieses Ergebnis lässt darauf schließen, dass kleinere Partikel tendenziell besser konvertiert werden. Eine Messung der Partikelanzahl der Größenklasse 13 nm verstärkt diesen Eindruck. Hier konnte eine Effektivität von 86 % gefunden werden

Um sicher zu stellen, dass die gemessene Russmassen-Reduktion tatsächlich eine Reduktion des Kohlenstoffs darstellt, wurden zusätzlich Messungen mit einem PASS System durchgeführt. Die Messungen des Seriensystems im Vergleich zum PM-Filterkat-System sind in Abbildung 6 dargestellt. Die gemessene Kohlenstoffreduktion lag bei 47 %. Dieser Wert deckt sich gut mit der gravimetrisch gemessenen Reduktion von 41 % und macht deutlich, dass im PM-Filterkatalysator tatsächlich Ruß oxidiert wird.

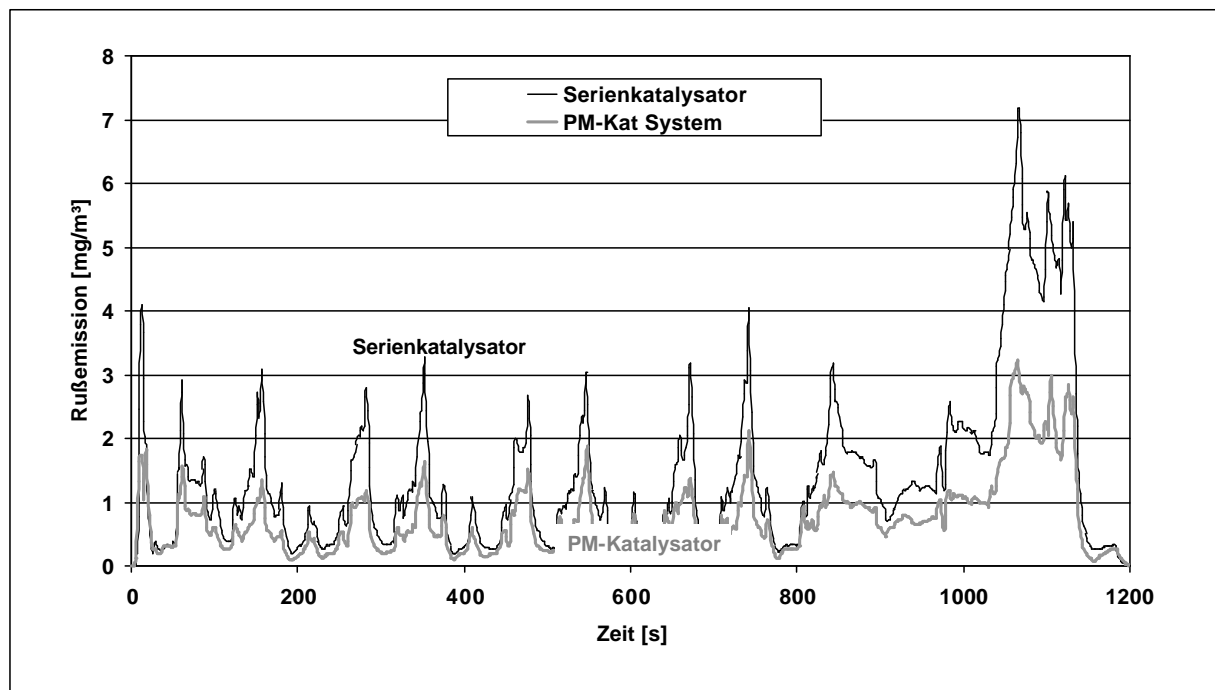


Abb. 6: Ergebnisse der PASS Messung; Vergleich des Seriensystems zum PM-Kat System

Entsprechend wurden mehrere Fahrzeuge mit und ohne PM-Filterkatalysator vermessen. Die Auswertung erfolgte vor allem im Hinblick auf die erzielbare Langzeiteffektivität in Abhängigkeit des  $\text{NO}_2/\text{Ruß}$  Verhältnis.

Abbildung 7 zeigt das Ergebnis einer Fallstudie. Das Streuband ergibt sich durch die unterschiedlichen Abgastemperaturen der verschiedenen Fahrzeuge im Abgastest.

Das Ergebnis macht nochmals die direkte Abhängigkeit der Filtereffektivität vom  $\text{NO}_2/\text{Ruß}$ -Verhältnis deutlich. Entsprechend Tabelle 3 kann damit für Fahrzeuge mit einer EU V Abstimmung (basierend auf den angenommenen Grenzwerten) von einer mittleren Umsatzrate von über 50 % ausgegangen werden. Bei einem Verhältnis von  $\text{NO}_2/\text{Ruß}=12-15/1$  ist die Filterleistung des PM-Kats der Länge 150 mm nicht ausreichend um das volle Potential auszuschöpfen. Eine Verdopplung der Filterlänge führt bei entsprechendem  $\text{NO}_2$  Angebot zu Partikelverminderungen größer 80 %.

Eine weitere Erhöhung des  $\text{NO}_2$  Anteils speziell im ECE-Teil des Tests oder im realen Stadtverkehr kann durch den Einsatz eines Katalysators vor Eintritt in den Turbolader erreicht werden. Durch die hohe Strömungsgeschwindigkeit in diesen sehr kleinen Katalysatoren bleibt die Strömung turbulent und besitzt deswegen aufgrund eines sehr guten Stoffübergangskoeffizienten eine extrem hohe Effektivität [4].

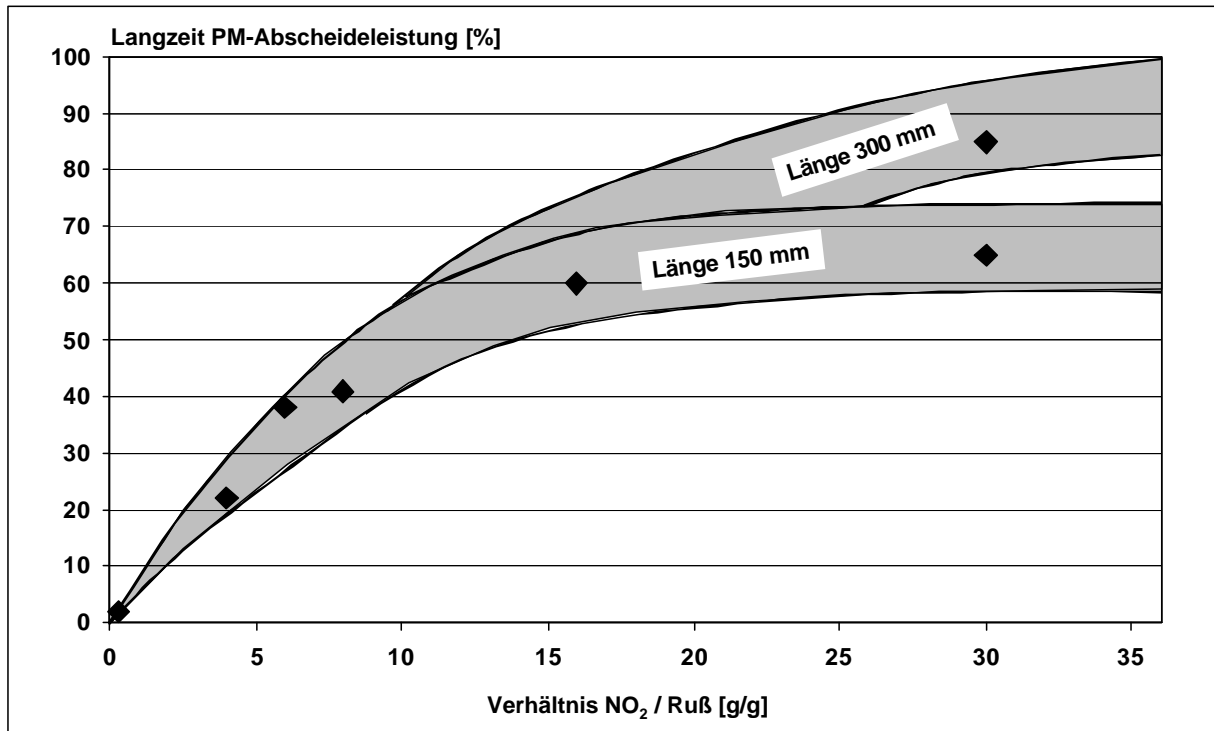


Abb. 7: Langzeiteffektivität des PM-Filterkatalysators als Funktion des  $\text{NO}_2$ /Ruß-Verhältnisses

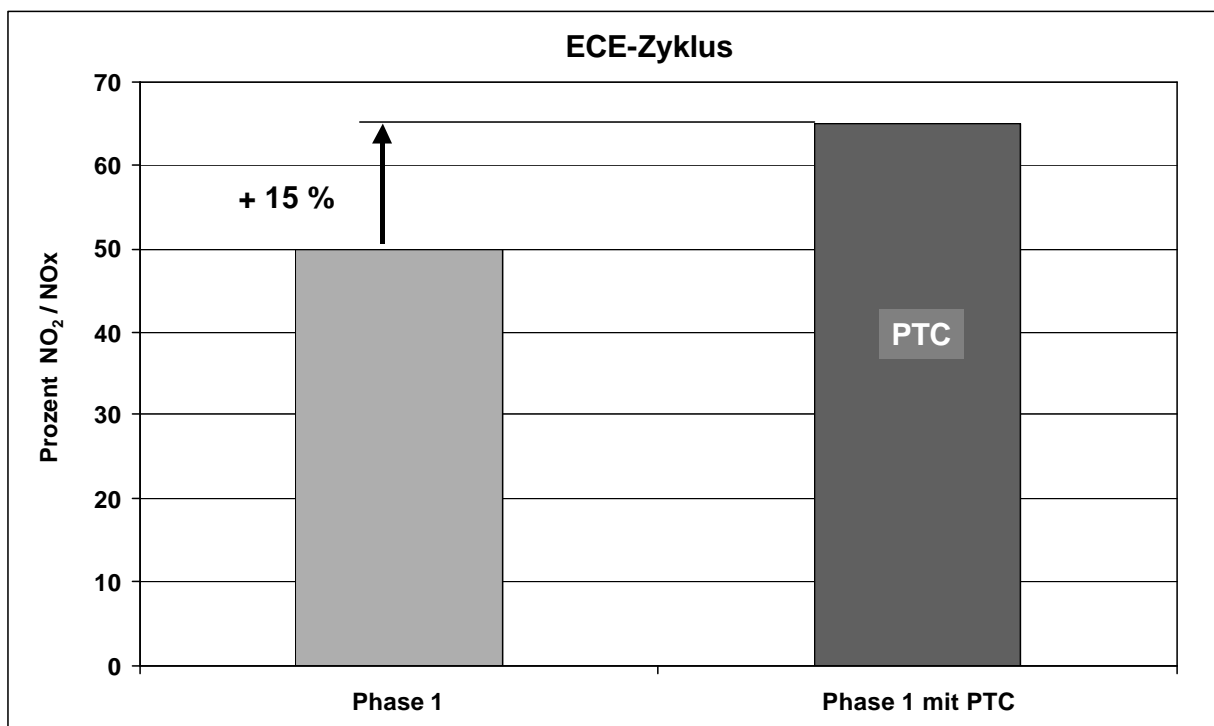


Abb. 8: Einfluss des Vorturbokatalysators auf das  $\text{NO}_2$ / $\text{NO}_x$  Verhältnis im ECE Teil des europäischen Abgastests

Der Vorturboladerkatalysator setzt schon sehr kurz nach Motorstart in Abhängigkeit des Katvolumens die HC- und CO-Emissionen mit einer Effektivität von bis zu 60 % um, sodass der Oxidationskatalysator hinter der Turbine eine erhöhte Effektivität bezüglich  $\text{NO}_2$  zeigt. Abbildung 8 zeigt das  $\text{NO}_2/\text{NO}_x$ -Verhältnis im ECE Teil des NEDC, gemessen an einem Mittelklassefahrzeug mit 2,2 l Motor.

Durch den Einsatz eines Vorturbokatalysators (PTC) mit einem Volumen von 0,03 l konnte der  $\text{NO}_2/\text{NO}_x$  Anteil in der ersten Phase des NEDC um 15 % verbessert werden.

### 3.2 Nutzfahrzeug Applikationen

Die Abgasmessung von schweren Nutzfahrzeugen erfolgt im ETC und im ESC Test. Entgegen dem PKW-Zyklus ist hier kein Kaltstart enthalten, und die Motorlast und somit die Abgastemperaturen sind damit höher. Zusätzlich zeigen Nfz Motoren deutlich geringere Partikelemissionen im Vergleich zum PKW Motor. Typische  $\text{NO}_x$  Werte moderner Motoren liegen bei 3,0 g/kWh, Partikelemissionen bei 0,04-0,06 g/kWh. Dies ergibt bei einem angenommenen  $\text{NO}/\text{NO}_2$ -Verhältnis von 1 ein  $\text{NO}_2/\text{Ruß}$ -Verhältnis von 30. Mit diesem Verhältnis sind die Partikelumsatzraten primär vom Filtervermögen des PM-Filterkatalysators abhängig. Wie bereits in Abbildung 3 gezeigt, ist es möglich, die Partikelverminderung durch den Einbau von längeren PM-Katalysatoren, allerdings auf Kosten des Druckverlusts, zu erhöhen. Abbildung 9 zeigt die im ESC am Motorprüfstand gemessenen Filtereffektivitäten als Funktion der Filterlänge. Ein modular aufgebauter Schalldämpfer mit 5 Einzelmodulen ( $\varnothing$  150 mm) diente als Versuchsträger. Die Untersuchungen wurden an einem EU III Nfz Motor durchgeführt.

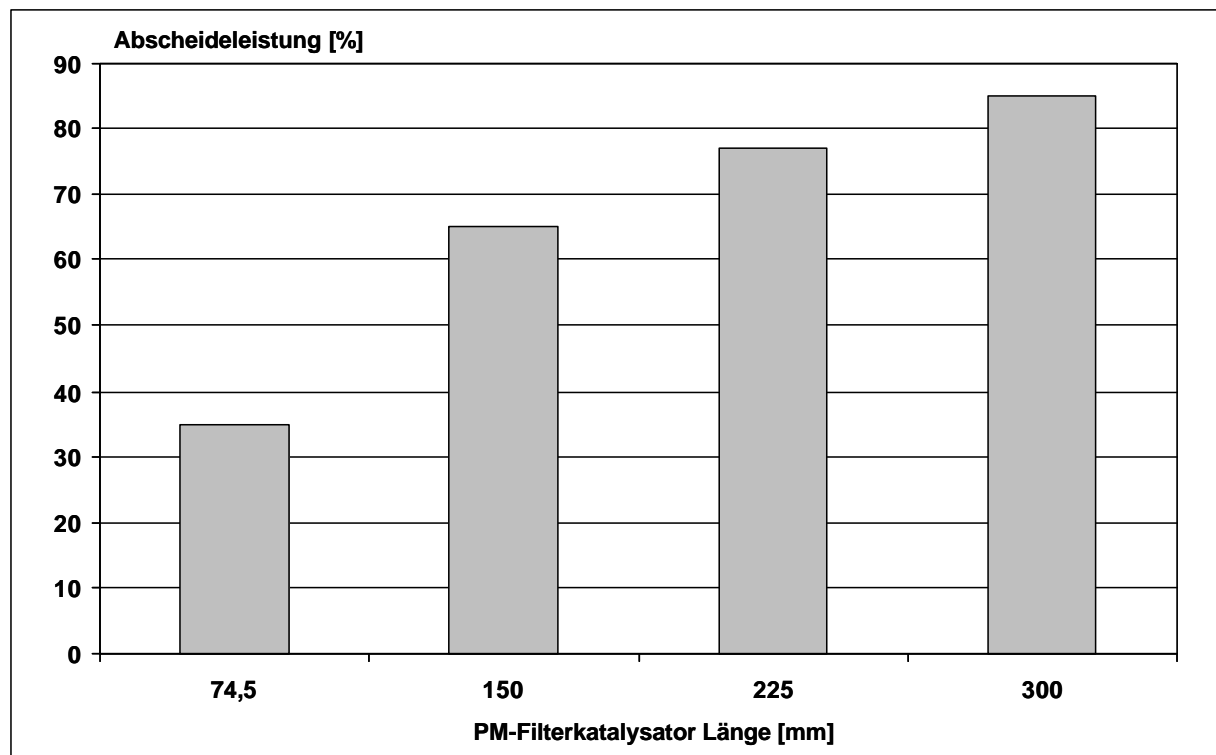


Abb. 9: Partikelumsatzrate im ESC Test als Funktion der PM-Filterkatlänge

Vergleichbar zu den Ergebnissen am synthetischen Gasverhalten zeigen auch die Motorprüfstand-Versuche eine deutliche Abhängigkeit der Partikelverminderung von der Trägerlänge. Mit einer Länge von 300 mm konnte eine Effektivität von 85 % erreicht werden.

Durch die Zwischenspeicherung der Partikel im Faservlies ist der PM-Filterkatalysator unempfindlich gegen Änderungen des Gasvolumenstroms. Ein Ausblasen der eingelagerten Partikel findet nicht statt. Modale Partikelmessungen im ETC Test verdeutlichen das (Abb. 10)

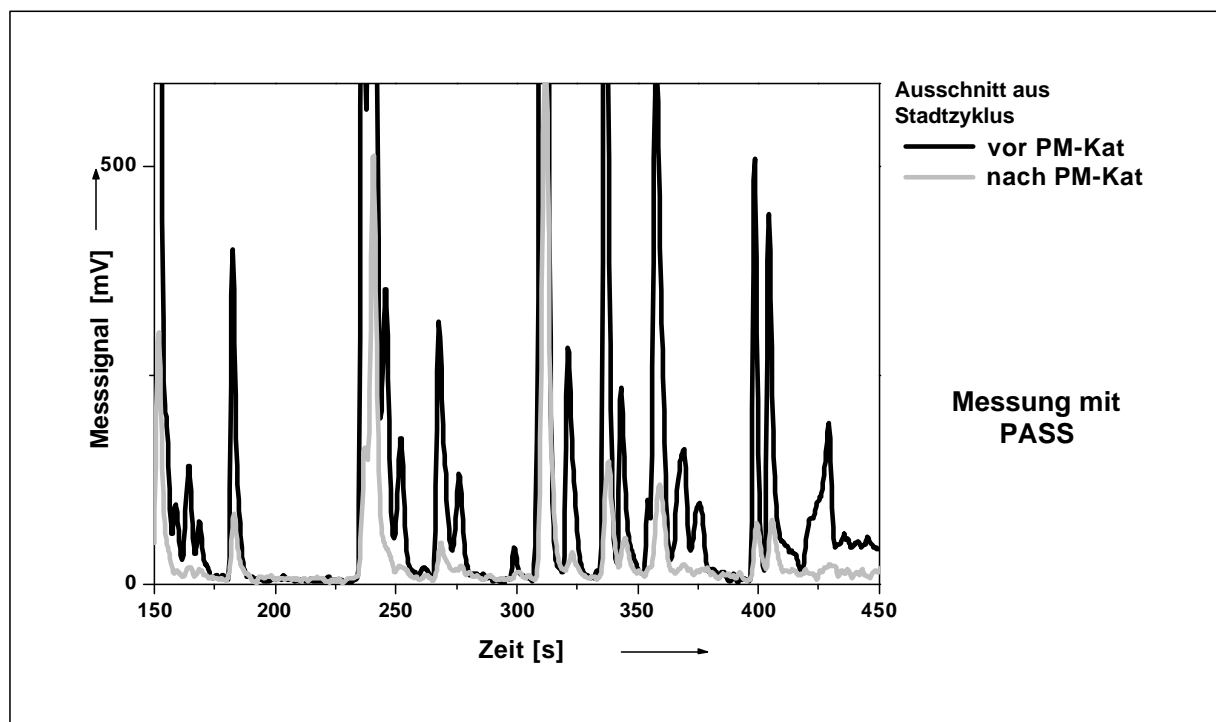


Abb. 10: Modale Partikelmessung im ETC (Ausschnitt aus dem Stadtzyklus) mit und ohne PM-Filterkatalysator

Die Messergebnisse verdeutlichen das auch unter transienten Bedingungen die Filtereffektivität nicht beeinträchtigt wird. Gravimetrische Messungen im ETC und ESC Test an einem EU III Nutzfahrzeugmotor zeigen eine Partikelreduktion von 64 % bzw. 70 % (Abbildung 11).

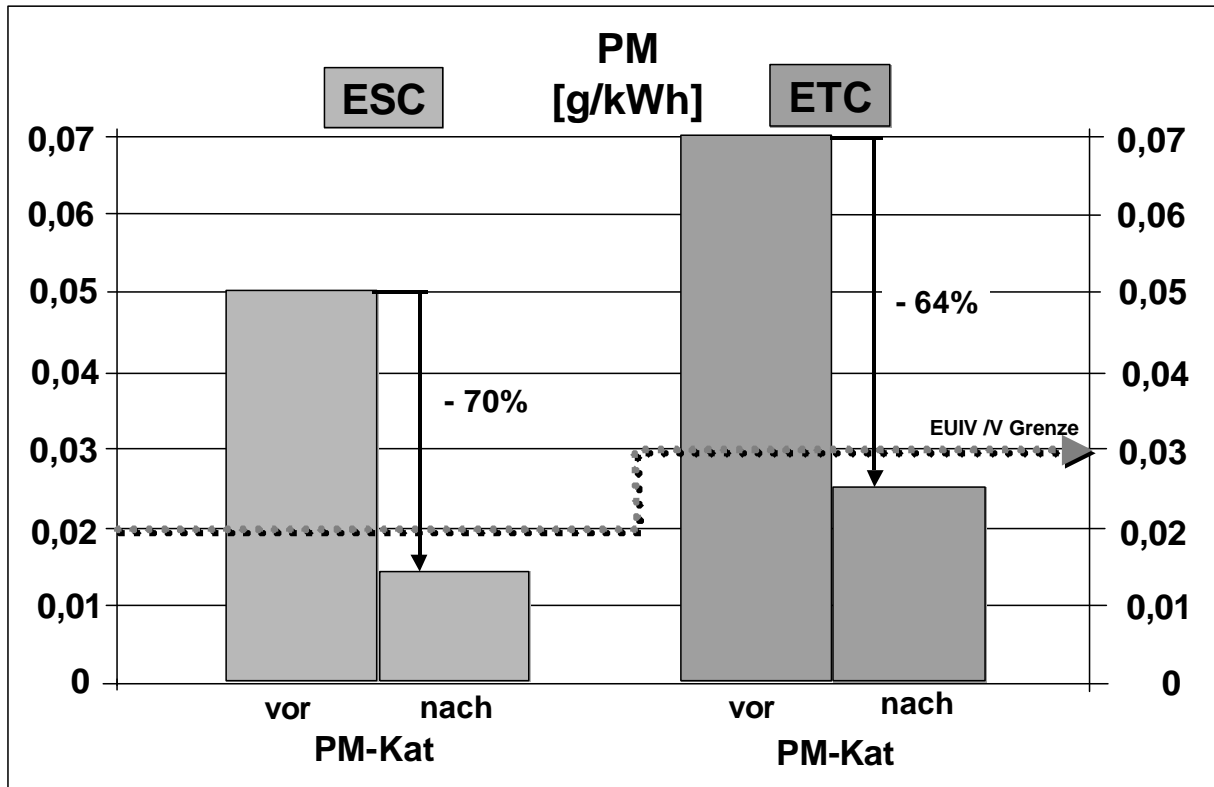


Abb. 11: Partikelemissionen im ESC und ETC Test mit und ohne PM-Filterkatalysator; Quelle MAN IIR Vortrag Stuttgart 2003

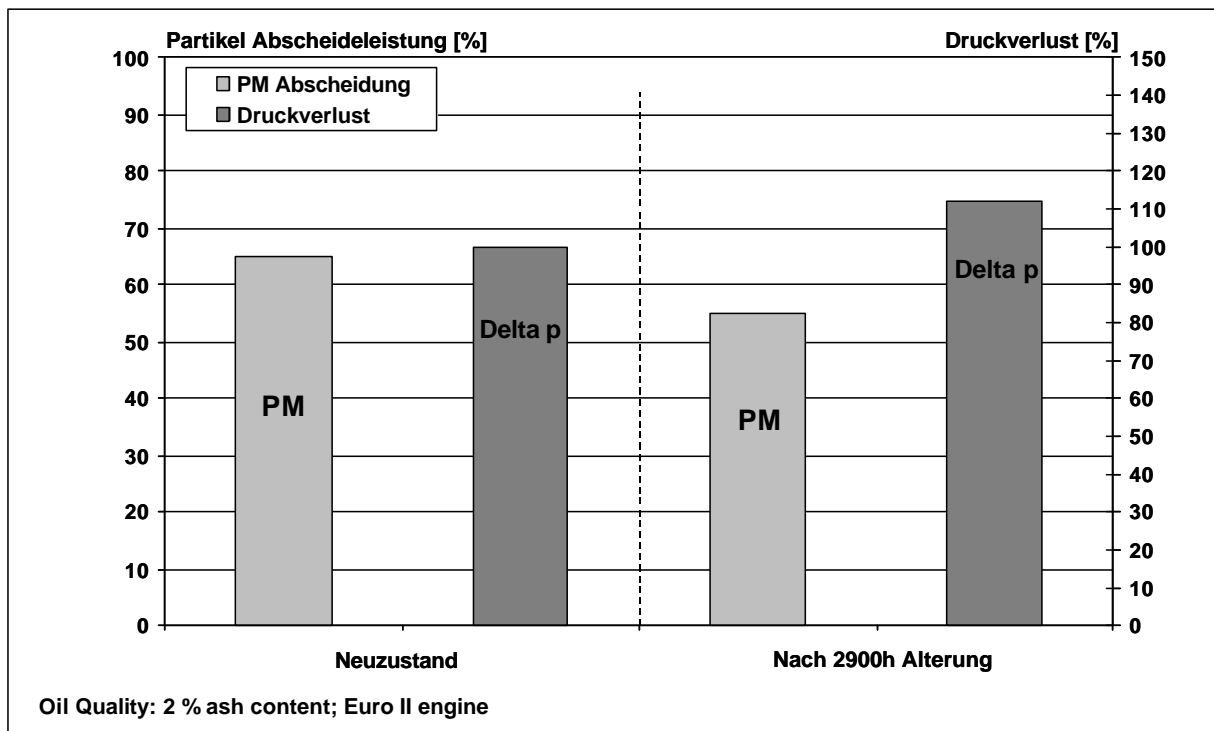


Abb. 12: Druckverlust und Filtereffektivität im Neuzustand und nach 2900h Dauerlauf unter Worst Case Bedingungen (z. B. bzgl. Aschebildung)

Beim Nutzfahrzeug kommt es vor allem auf die Langzeiteffektivität und die Wartungsfreiheit der Systeme an. Ein Langzeitversuch am Motorprüfstand über 2900h verdeutlicht die Betriebssicherheit des PM-Filterkatalysators. Der Motorprüfstandstest erfolgte mit einem EUIII Motor. Das verwendete Öl hatte einen Ascheanteil von 2 %. Der getestete PM-Filterkatalysator hatte den Status eines A2 Musters und bestand aus 2 hintereinander geschweißten Einheiten mit der Länge 74,5 mm. Die Stirnflächen bestanden noch nicht wie in Abbildung 2 gezeigt aus Folienstreifen sondern die Faservlieslage war durchgehend was zu einem „Aufplustern“ der Fasermatte an der Eintrittsstirnseiten führte.

Abbildung 12 zeigt den Druckverlust und die Filtereffektivität im Neuzustand und nach 2900h Dauerlauf unter Worst Case Bedingungen.

Die Partikelverminderung reduzierte sich von anfänglich 65% auf 55%. Der Druckverlust nahm um 12% zu.

Die generelle Einsatzfähigkeit wurde auch im Busbetrieb erprobt. Der eingesetzte Testmotor mit 285kW hatte eine Euro II Zertifizierung. Das verwendete PM-Filterkatalysator System bestand aus 3 Modulen der Größe Ø 150 x 300 mm. Die Abgasmessung erfolgte im ESC, im 2 Halt-, in München-Inn- und RATP-Zyklus (Abbildung 13).

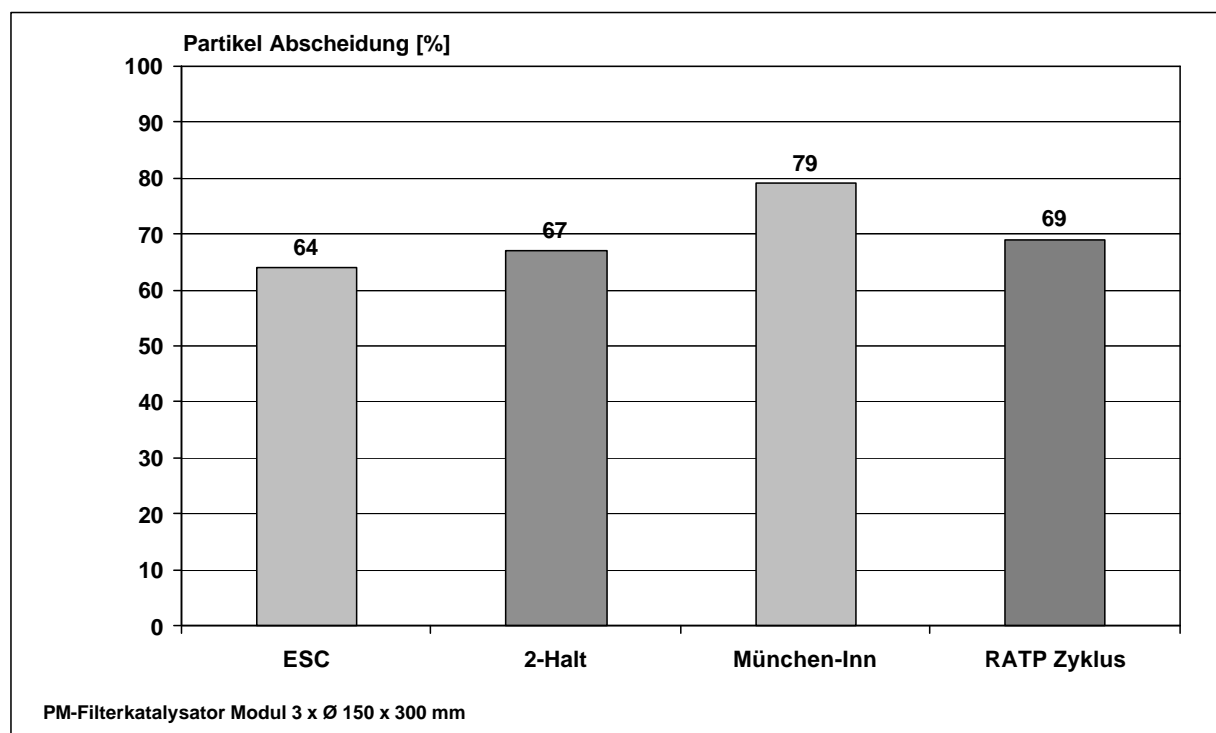


Abb. 13: Partikelemissionen im Bus mit und ohne PM-Filterkatalysator

#### 4. Der PM-Filterkatalysator mit integriertem Oxidationskatalysator

Wie in den vorangegangenen Kapiteln beschrieben ist die Funktion des PM-Katalysators nur mit einem vorgeschalteten Oxidationskatalysator zur NO<sub>2</sub> Erzeugung gewährleistet. Gerade bei PKW Applikationen mit beschränktem Bauraum ist der

motornahe Einbau eines Oxidationskatalysators und eines PM-Filterkatalysators oftmals schwierig. Außerdem wäre es aus Kostengründen günstiger nur ein Bauteil einzusetzen und kannen zu müssen. Wie in Kapitel 2 beschrieben besteht die Stirnseiten des PM-Filterkatalysators aus „normalem“ Folienmaterial. Eine Verbreiterung des Folienstreifens auf der Gaseintrittsseite stellt somit die Möglichkeit dar einen Oxidationskatalysator in das Bauteil PM-Filterkatalysator zu integrieren (Abbildung 14).

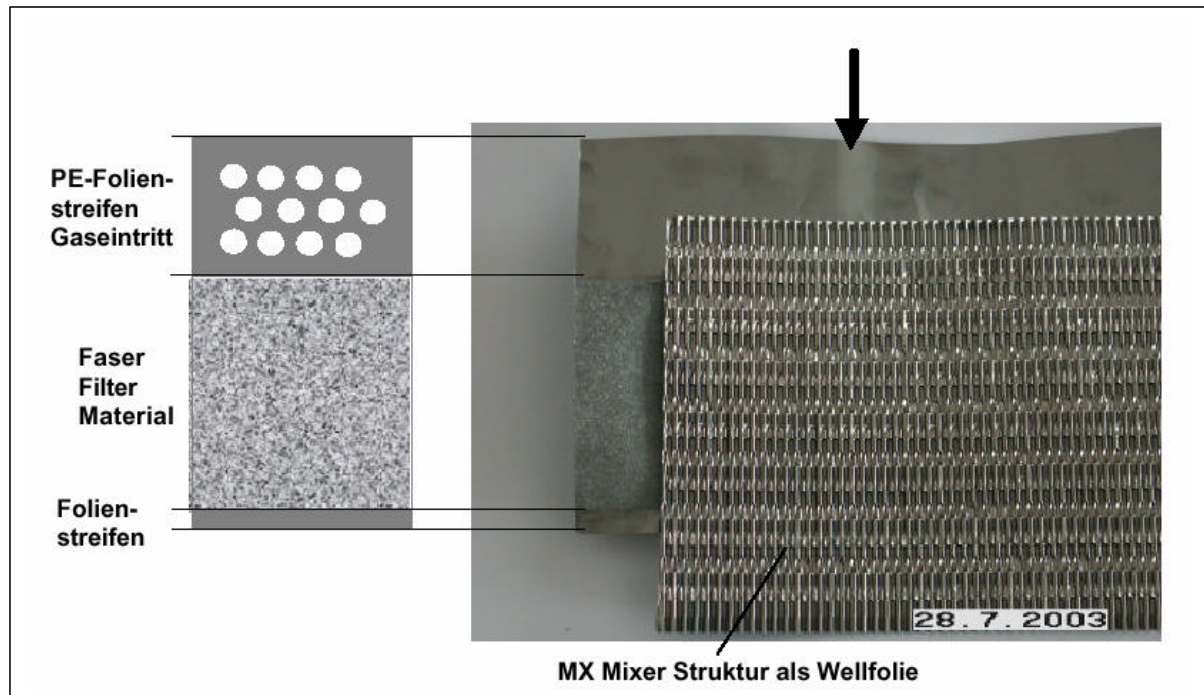


Abb. 14: PM-Filterkatalysator mit integriertem Oxidationskatalysator

Durch eine zusätzliche Perforierung (PE-Design) der Lagen beispielsweise können ungleichmäßige Strömungsverteilungen durch den Turbolader in dem Oxidationskatalysator ausgeglichen und damit der Nutzungsgrad verbessert werden. Diese Variante stellt einen Diesel-Oxidationskatalysator mit Partikelreduktion der nächsten Generation dar.

## 5. Zusammenfassung

Der PM-Filterkatalysator stellt eine wartungsfreie Lösung zur Reduktion der Partikelemissionen dar. Abgasmessungen mit unterschiedlichen Messsystemen zeigten die Wirkungsfähigkeit insbesondere hinsichtlich der sogenannten Nanopartikel. In Abhängigkeit des  $\text{NO}_2/\text{Ruß}$  Verhältnisses im Abgas lassen sich im PKW Wirkungsgrade von 30 – 60 % und im Nutzfahrzeug von 60 – 85 % realisieren.

Diskontinuierliche Regenerationsmaßnahmen zur Erhöhung der Abgastemperatur sind nicht notwendig.

Durch den offenen Aufbau und damit der Verblockungssicherheit bietet sich der passive PM-Filterkatalysator neben dem Einsatz in Neufahrzeugen auch speziell zur Nachrüstung sowohl an PKW als auch an LKW an.

## Literaturverzeichnis

- [1] „Niedrigste Rohemissionen als Basis für die Zukunft des NFZ-Dieselmotors – Neue Entwicklungsergebnisse“; Prof. Dr. Franz X. Moser, Dipl.-Ing. Rolf Dreisbach, Dr.-Ing. Theodor Sams AVL List GmbH, Graz; 25. Internationales Wiener Motorensymposium April 2004
  
- [2] „Der neue V6-TDI Motor von Audi“; Dipl.-Ing. Richard Bauder, Dipl.-Ing. Hans-Werner Pölzl, Dipl.-Ing. Thomas Reuss, Dipl.-Ing. Wolfgang Hatz, Audi AG Neckarsulm; 25. Internationales Wiener Motorensymposium April 2004
  
- [3] „Mechanism of the Smokeless Rich Diesel Combustion by Reducing Temperature“; Kazuhiro Akihama, Yoshiki Takatori, Kazuhisa Inagaki, TOYOTA Central R&D Labs. Inc.; Shizuo Sasaki, TOYOTA MOTOR CORPORATION; Anthony M. Dean, ExxonMobil Research and Engineering Co.; SAE 2001-01-0655
  
- [4] „PTC-Oxidationkatalysatoren als effektive Systembausteine in der Abgasnachbehandlung bei zukünftigen Pkw- und Nfz-Dieselmotoren“; Joachim Diringer, Oswald Holz, Friedrich-Wilhelm Kaiser, Peter Treiber, Emitec GmbH; Technische Akademie Esslingen, 9. Symposium Dez. 2003
  
- [5] „Metal Supported Flow-Through Particulate Trap; a Non-Blocking Solution“; Rolf Brück, Peter Hirth, Meike Reizig, Peter Treiber, Jürgen Breuer, Emitec GmbH; SAE 2001-01-1950
  
- [6] „Neue Dieselkatalysatorsysteme zur Erreichung der europäischen Grenzwerte 2005 – Getestet an einem Volvo S60 Personenkraftwagen“; F. Diefke, M. Lundgren, P. Nilsson, Volvo Car Corporation; R. Brück, C. Kruse, S. Schaper, Emitec GmbH; 24. Internationales Wiener Motorensymposium
  
- [7] „PM-Kat: Nichtblockierende Lösung zur Minderung von Dieselruß für Euro IV-Nutzfahrzeugmotoren“; Dr. E. Jacob, Dr. N. D’Alfonso, A. Döring, S. Reisch, D. Rothe, MAN Nutzfahrzeuge AG Nürnberg; R. Brück, Dr. P. Treiber, Emitec GmbH Lohmar; 23. Internationales Wiener Motorensymposium April 2002
  
- [8] „Regeneration eines Diesel-Partikelfilters mit  $\text{NO}_2/\text{H}_2\text{O}_{(g)}$  im Temperaturbereich zwischen 225 und 300 °C“; B. J. Cooper, H. J. Jung, J. E. Thoss, Johnson Matthey Inc.
  
- [9] „A Photo Acoustic Sensor System for Time Resolved Quantification of Diesel Soot Emission“; Wolfgang Schindler et.al.; SAE 2004-01-968
  
- [10] „New Approaches in Particle Size and Morphology Measurement“; Thomas Cartus, Alf Wewerka, AVL List GmbH, Austria  
5<sup>th</sup> ETH Conference on Nanoparticle Measurement Zürich, 6<sup>th</sup> of August 2001