

Vorturboladerkatalysatoren – Anforderungen aus aufladetechnischer Sicht sowie zukünftiger, innovativer Abgasnachbehandlungskonzepte

Francois Jayat¹, Lorenzo Pace¹ and Roman Konieczny²

Emitec GmbH
Hauptstr. 128, 53797 Lohmar, Germany

Kurzfassung:

Aufladesysteme mit VTG stellen heute den Standard bei PKW Dieselmotoren dar, um den Anforderungen sowohl nach gutem dynamischen Verhalten und hohen Drehmomenten im unteren Drehzahlbereich als auch hoher Leistungsausbeute gerecht zu werden. Erste zweistufige Aufladesysteme sind zwischenzeitlich ebenfalls in Serienprojekten eingeführt.

Die damit erreichten höheren Luftüberschüsse und die Wärmekapazität der Systeme führen zu weiter verzögertem Anspringen der hinter Turbine angeordneten Katalysatoren nach dem Start im Abgastestzyklus, was durch Einsatz erhöhter Edelmetallbelastungen mit entsprechenden Kostennachteilen nur teilweise kompensiert werden kann. Durch veränderte Einspritzzeitpunkte motorisch erzeugte Katheizmaßnahmen sind vom Verbrauch her kontraproduktiv.

Im Hinblick auf auch zukünftig verschärfte Abgasgesetzgebung ist ein Lösungsansatz im Vorturboladerkatalysator (PTC) zu sehen.

Im Rahmen dieses Beitrages sollen neben den abgasrelevanten Effekten bei unterschiedlichen Nachbehandlungskonzepten insbesondere die Fragestellungen aus Fahrzeug-/Motor-/ Turboladersicht, wie Einfluss auf das Turboladerverhalten bzw. Dynamik, Leistung und Verbrauch sowie die Dauerhaltbarkeit anhand von Messungen diskutiert werden.

Weiterhin wird die Systemintegration mit Einbau im Turbineneintritt und Abdichtungs-Konzept erörtert.

Schlagnworte: Vorturboladerkatalysator (PTC); Turboladerverhalten; Dauerhaltbarkeit; Schlagwort 4; Schlagwort 5

¹E-mail: francois.jayat@emitec.com

¹E-mail: lorenzo.pace@emitec.com

²Corresponding author / Korrespondierender Autor. roman.konieczny@emitec.com, URL: www.emitec.com

1 Einleitung

Das Streben nach ständig höheren spezifischen Leistungen und Drehmomenten bei gleichzeitiger Reduzierung des Kraftstoffverbrauches sowie der Einhaltung der gültigen Abgasgesetzgebung stellt die Ingenieure bei der Entwicklung von aktuellen Dieselmotoren vor immer neue Herausforderungen. Da alle 3 Kriterien allein motortechnisch nur schwer miteinander zu vereinbaren sind, kommt der Abgasnachbehandlung dabei eine bedeutende Aufgabe zu.

Im Fokus stehen dabei in erster Linie Partikel und Stickoxide, wobei das Trade-Off dahingehend entschärft werden konnte, dass mittlerweile für alle neuen Modelle ein Dieselpartikelfilter verwendet wird und somit die Abstimmung der Rohemissionen des Motors in Richtung niedrigerer NO_x-Werte erfolgen kann. Doch auch dieser Spielraum ist begrenzt, da hierdurch der Kraftstoffverbrauch tendenziell zunimmt und auch höhere Partikel-Rohemissionen über eine häufiger notwendig werdende Regeneration des DPF zu einem erhöhten Kraftstoffverbrauch beitragen. Das größte Potential, um dieser Gegensätze Rechnung zu tragen, wird in der weiteren Optimierung der Einspritzsysteme sowie der Erhöhung des Aufladegrades in Verbindung mit verstärkter Abgasrückführung gesehen. So konnten durch die Entwicklung der VTG-Technologie sowie in jüngerer Zeit der 2-stufigen Aufladesysteme deutliche Fortschritte diesbezüglich erzielt werden. Der Nachteil dieser Entwicklung aus Sicht der Abgasnachbehandlung äußert sich in Form von stetig sinkenden Abgastemperaturen sowie erhöhten Rohemissionen von Kohlenwasserstoffen und Kohlenmonoxid aufgrund der teilweise modifizierten Brennverfahren. Bild 1 zeigt beispielhaft die Entwicklung der Rohemissionen eines Motors bei Anpassung von Euro 4 auf Euro 5. Neben der gewünschten Verringerung der Stickoxid-Emissionen um etwa 50% tritt eine deutliche Erhöhung sowohl der HC- als auch der CO-Emissionen auf.

Damit wird auch die Erfüllung der diesbezüglichen Grenzwerte zunehmend anspruchsvoller. Zusätzlich zu den sinkenden Abgastemperaturen sorgt auch die erhöhte CO-Rohemission dafür, dass das Anspringen des Oxidationskatalysators immer weiter erschwert wird [1,2]. Dem wird durch die immer höhere Edelmetallbeladung des DOC versucht entgegenzuwirken, was allerdings auch nur bis zu einem gewissen Maß sinnvoll bzw. wirksam ist. Zudem sind damit immense Kosten verbunden, die bei entsprechender Entwicklung der Edelmetallpreise weiter steigen werden.

Ein sinnvoller Ansatz besteht daher darin, die Temperatursenke Turbolader zu vermeiden und das Oxidatvolumen bereits vor dem Turbolader auf entsprechend höherem Temperaturniveau einzusetzen. Daraus resultieren deutliche Emissionsvorteile vor allem in der Anfangsphase des Emissions-Testzyklus, selbst wenn aus Platzgründen lediglich ein sehr geringes Katalysatorvolumen zum Einsatz kommen kann, wie es bei bereits bestehenden Applikationen leider üblicherweise der Fall ist [3,4,5]. Für neue Applikationen wäre es daher sinnvoll, einen möglichen Vorturbokatalysator von vornherein in der Konstruktion zu berücksichtigen. Ein solcher Ansatz wurde in [6] erfolgreich gezeigt.

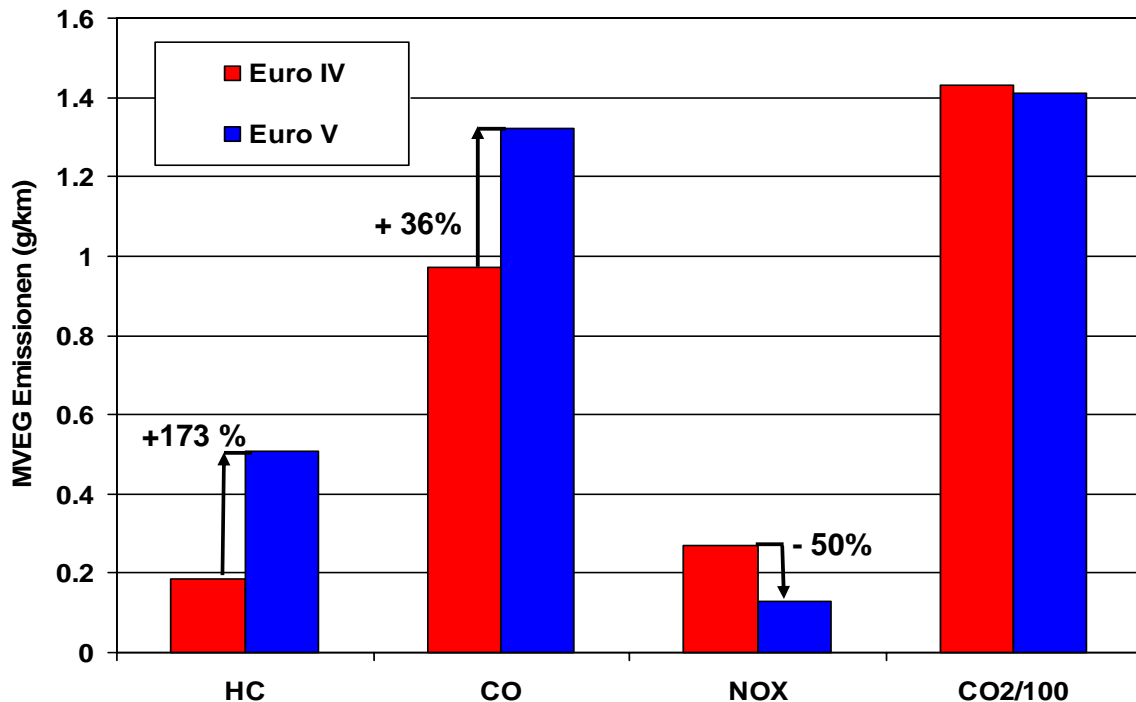


Abbildung 1: Rohemissionen eines PKW-Motors in Euro 4 und Euro 5 Abstimmung

Neben den unbestreitbaren Vorteilen einer solchen Konfiguration hinsichtlich der Abgasemissionen müssen natürlich auch die Wechselwirkungen des PTC mit dem System Motor / Turbolader betrachtet werden, um mögliche negative Effekte auszuschließen bzw. zu minimieren. Hierzu zählen zum Einen der Einfluss des PTC auf Leistung sowie Verbrauch, zum Anderen auch seine Auswirkungen auf das dynamische Verhalten des Systems. Letztendlich muss vor allem die mechanische Dauerhaltbarkeit von Träger und Beschichtung gewährleistet werden, um eine mögliche Beschädigung des Turboladers durch Bruchstücke oder ähnliches zu vermeiden. Hier zeigt der Metallträger von Hause aus enorme Vorteile. Wie breit angelegte Untersuchungen u.a. in den USA belegen, sind von Metallträgern im Gegensatz zum Katalysatortorgansmarkt keine Ausfälle im Feldeinsatz bekannt. [7,8].

2 Einfluss eines Vorturbokatalysators auf die Abgasemissionen

Neben der generellen Absenkung der Abgastemperatur aufgrund von motorischen Maßnahmen stellt natürlich auch der Turbolader selbst eine Temperatursenke dar, die vor allem im Kaltstart durch die zusätzliche thermische Masse sowie die teilweise Umwandlung der Abgasenergie in Ladedruck eine deutliche Reduzierung der Temperatur vor Katalysator bewirkt. Dieser Effekt verstärkt sich weiter beim Übergang auf 2-stufige Aufladesysteme. In Bild 2 sind beispielhaft die Temperaturen vor und nach Turbolader im Test-Zyklus dargestellt. Die Unterschiede betragen dabei bis zu 180 K.

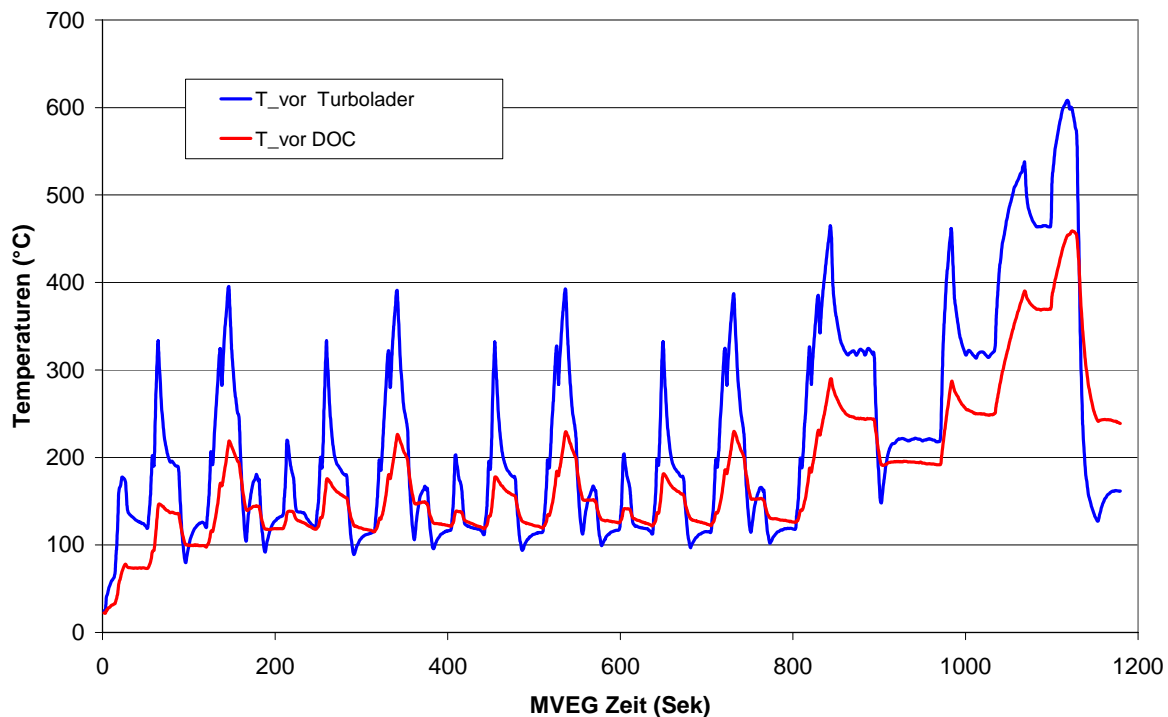


Abbildung 2: Temperaturen eines Euro 4 Fahrzeuges vor und nach Turbolader

Dadurch ergeben sich im Light-Off-Verhalten deutliche Vorteile bei Verwendung eines PTC. Eingeschränkt wird die Wirksamkeit eines PTC üblicherweise dadurch, dass aufgrund der Platzverhältnisse nur ein relativ geringes Katalysatorvolumen untergebracht werden kann. Dass selbst mit solch kleinen Volumina noch ordentliche Konvertierungsraten erzielt werden können, liegt an den besonderen Randbedingungen, unter denen der PTC arbeitet. Bei üblichen Katalysatoren ist die maximale Effektivität bei hohen Temperaturen aufgrund der laminaren Kanalströmung durch den Transport der Schadstoffe aus dem Kanal an die Katalysatorwandung limitiert. Durch den kleinen Durchmesser treten sehr hohe Strömungsgeschwindigkeiten auf, die dazu führen, dass der PTC teilweise schon in den Bereich der turbulenten Kanalströmung vordringt, bei der der Stofftransport gegenüber der laminaren Strömung um ein Vielfaches höher liegt. Die Zusammenhänge sind in Bild 3 dargestellt.

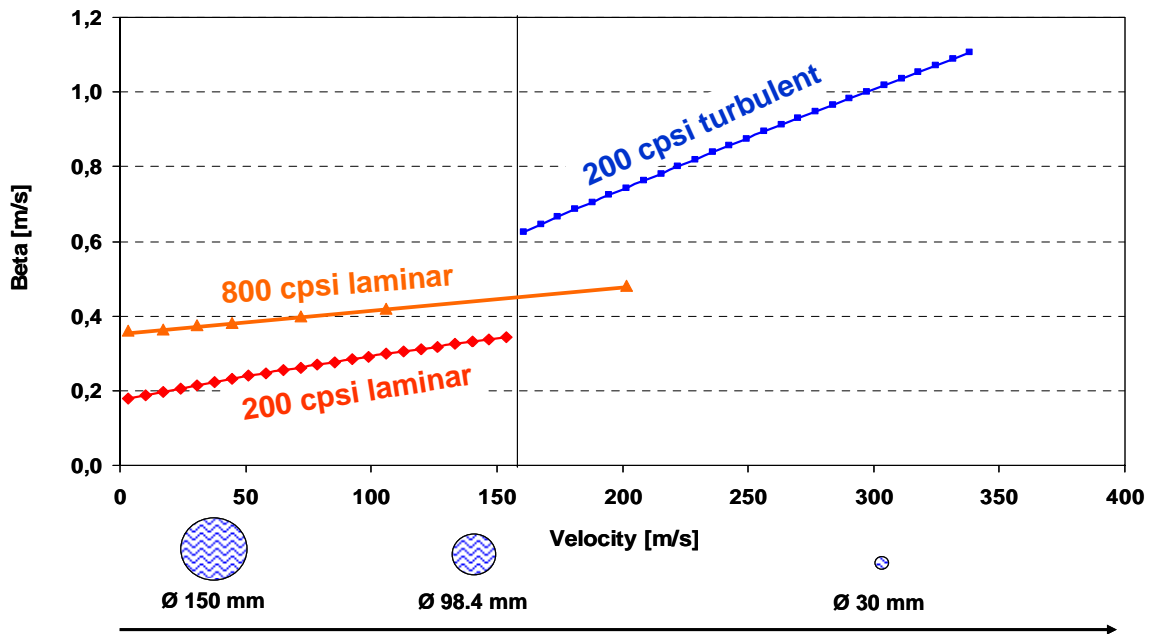


Abbildung 3: Stofftransport-Geschwindigkeit im Kanal in Abhängigkeit der Strömungsbedingungen

2.1 Emissionsverhalten im Testzyklus mit Vorturbokatalysator

Um den Einfluss unterschiedlicher PTC-Volumina sowohl auf die Emissionen als auch auf das dynamische Verhalten zu untersuchen, wurde ein Versuchsmotor mit einer modifizierten Krümmereinheit versehen, wobei zwischen Krümmer und Turbolader zusätzliches Volumen eingebaut wurde. Der Versuchsmotor besteht aus einem Euro IV 2 l Motor als Basis, der von der Firma Siemens VDO durch Einsatz eines modifizierten Brennverfahrens auf Euro V-Level gebracht wurde. Durch die Geometrieänderung am Krümmer treten bereits leichte Veränderungen im Vergleich zur Serienkonfiguration auf, die aber ohne die Möglichkeit einer aufwendigen Optimierung für die Betrachtungen dieser Untersuchung in Kauf genommen werden mussten.

Die hier gezeigten Vergleiche beziehen sich daher immer auf die modifizierte Variante.

Für die Untersuchung wurden 2 verschiedene PTCs mit einem Durchmesser von 38mm und einer Länge von 50mm bzw. 70mm betrachtet. Dies ergibt ein Volumen von 57 bzw. 80 ml. Zunächst wurde der Einfluss des PTC auf die Emissionen im NEDC untersucht, und zwar sowohl im frischen wie auch im gealterten Zustand (Bilder 4 + 5). Dabei kann mit der großen Variante im Frischzustand eine Reduzierung der CO-Emission über das Gesamtsystem von 65% im Vergleich zum DOC alleine erreicht werden, im gealterten Zustand beträgt der Vorteil immer noch 45%.

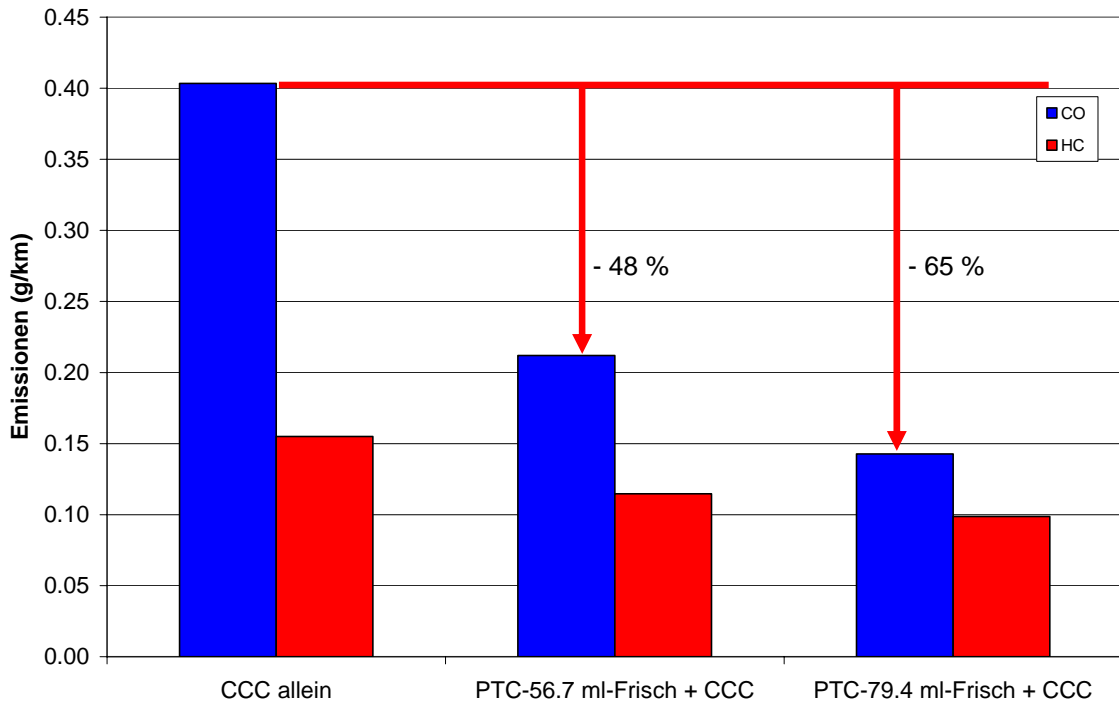


Abbildung 4 : Abgasemission im NEDC mit und ohne PTC (frischer Zustand)

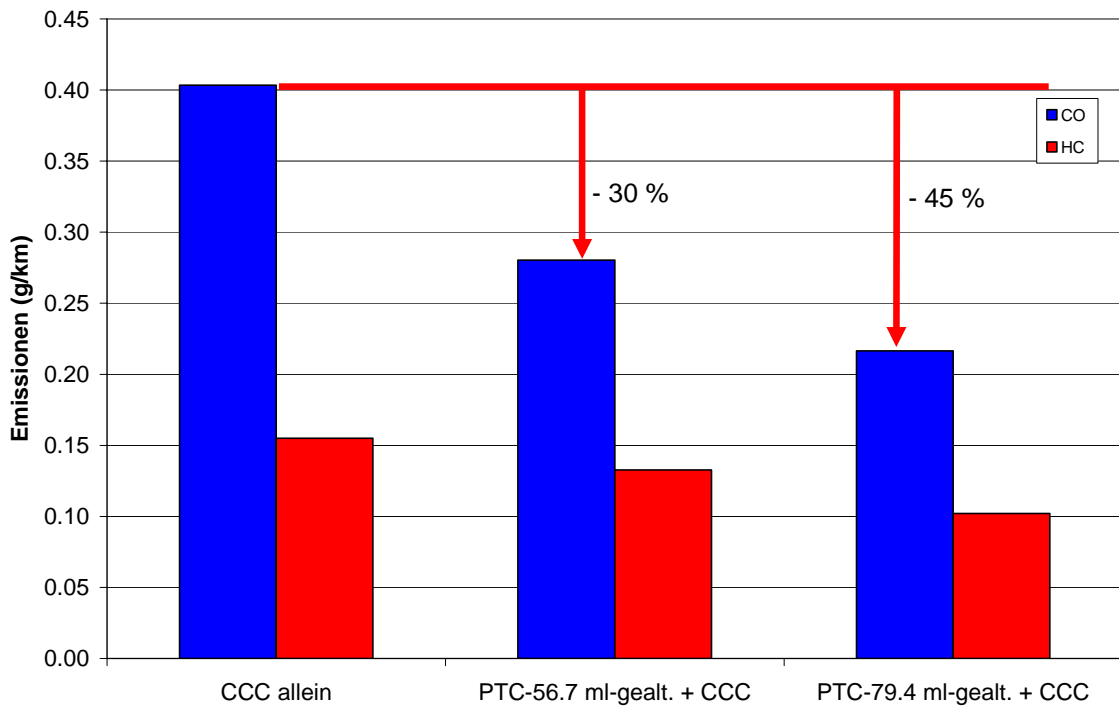


Abbildung 5 : Abgasemission im NEDC mit und ohne PTC (PTC gealtert, 35h bei 800°C)

Betrachtet man die CO-Umsatzraten der einzelnen Komponenten (Bild 6), so sieht man, dass der DOC nach Turbine erst ab dem dritten Fahrhügel beginnt, nennenswerte Umsatzraten zu erzeugen. Der PTC dagegen ist bereits zu Beginn des zweiten Fahrhügels hochaktiv und reduziert die CO-Emission bereits um nahezu 40%. Das hat zur Folge, dass auch der nachgeschaltete DOC aufgrund des niedrigeren Emissionsniveaus schneller seinen Light-Off erreicht und ebenfalls bereits im Laufe des zweiten Fahrhügels zu ansehnlichen Umsatzraten kommt. Die Kombination dieser beiden Effekte führt dann zu dem sich auch im Gesamtergebnis widerspiegelnden deutlichen Vorteilen in der CO-Konvertierung. Für HC sehen die Verhältnisse ähnlich aus, jedoch liegen die erreichten Umsätze des PTC auf einem etwas niedrigeren Niveau.

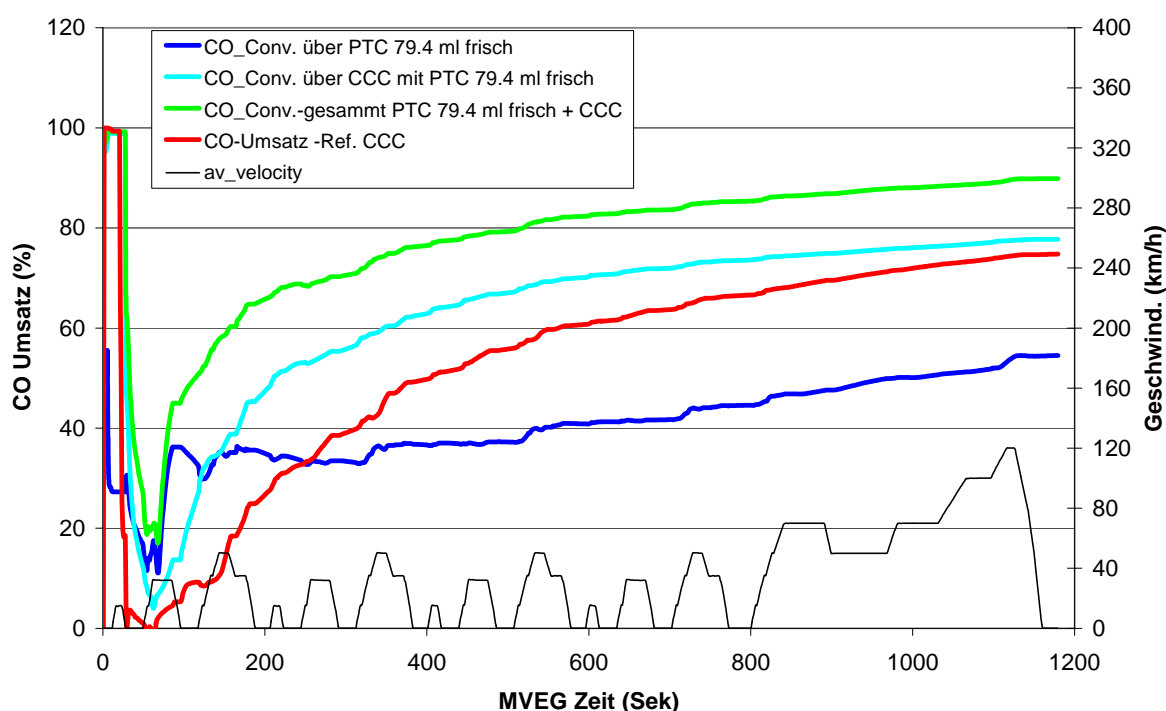


Abbildung 6 : Umsatzraten CO der einzelnen Komponenten (aus kumulierten Emissionen)

3 Einfluß des Vorturbokatalysators auf das stationäre und dynamische Verhalten des Motors / Turboladers

Wie bereits im vorangegangenen Kapitel erwähnt, wurden für die Unterbringung des angestrebten PTC-Volumens einige Modifikationen an der Krümmer/Turbolader-Einheit vorgenommen, was einen unmittelbaren Einfluss auf die Strömungsbedingungen hat und somit auch das Verhalten des komplexen Gesamtsystems beeinflusst. Zusätzlich zu diesen geometrischen und strömungstechnischen Einflüssen hat natürlich der Einbau eines weiteren Strö-

mungswiderstandes vor der Turbine, wie ihn der PTC darstellt, ebenfalls Auswirkungen auf das System. Neben dem reinen Strömungswiderstand können hier auch Effekte wie Reflektion, Dämpfung sowie Strömungsgleichrichtung eine Rolle spielen.

Im Rahmen dieser Untersuchungen wurde sowohl der Einfluß auf Drehmoment und Leistung im Stationärfall als auch die Beeinträchtigung der Laderdynamik betrachtet. Die auftretenden Unterschiede wurden dabei jeweils im Vergleich zum modifizierten System ohne PTC-Einbau bewertet.

Bei der Betrachtung der Vollastkurven zeigen die 2 PTCs ein deutlich unterschiedliches Verhalten (Bild 7). Der PTC mit 50mm Länge zeigt zunächst einen steileren Drehmomentanstieg als die Referenz und verliert erst oberhalb von 3500 Umdrehungen etwas an Boden. Eine mögliche Erklärung hierfür wäre eine verbesserte Anströmung und damit Effektivität des Turboladers im unteren Drehzahlbereich durch die Ausrichtung der Strömung nach dem Katalysator.

Die PTC-Variante mit 70mm Länge dagegen liegt zunächst gleichauf mit der Referenz, um dann ab ca. 2000 Umdrehungen recht deutlich an Drehmoment einzubüßen, was letztendlich in einer etwa 2 kW niedrigeren Spitzenleistung resultiert. Unter Umständen ist dies wiederum mit einer veränderten Strömungsverteilung im PTC und damit einer veränderten Anströmung des Turboladers aufgrund einer anderen Einbaulage zu begründen. Weitergehende Untersuchungen sollen diesen Umstand beleuchten.

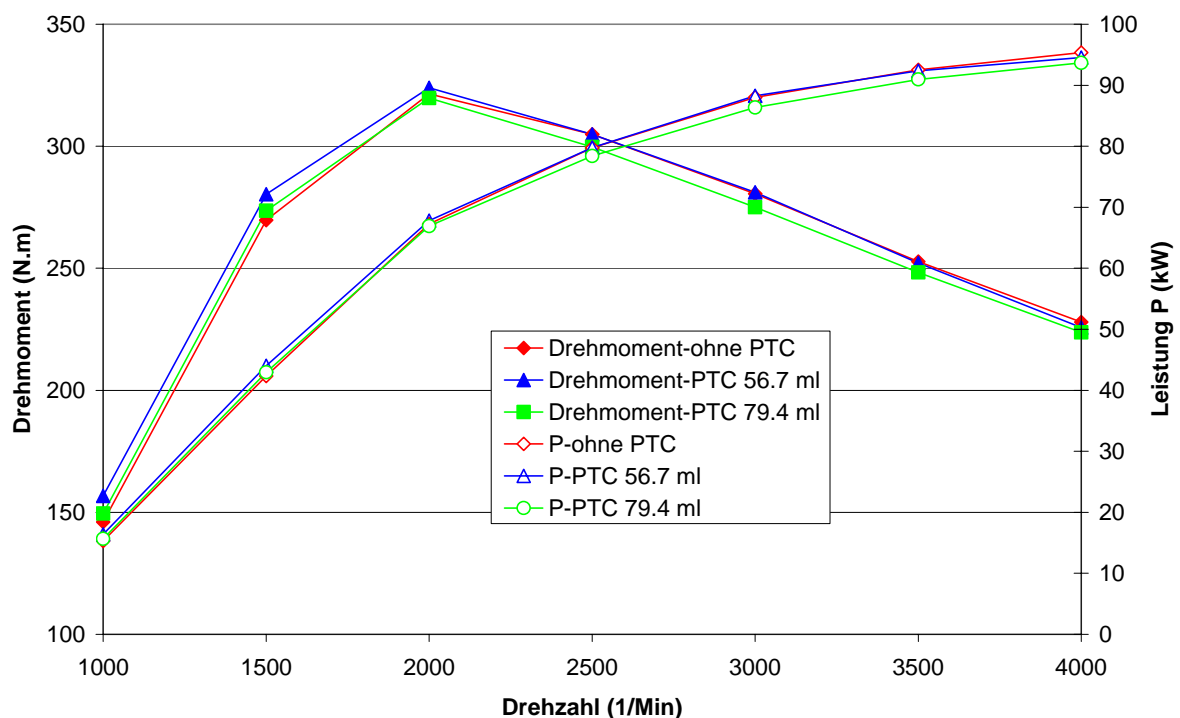


Abbildung 7 : Vollastkurven von Drehmoment und Leistung mit den unterschiedlichen PTCs

Bezüglich des dynamischen Verhaltens ist vor allem die Ansprechverzögerung auf spontane Lastwechselanforderungen von Interesse. Aus diesem Grund wurde das Verhalten bei einem

Lastsprung bei konstanter Drehzahl untersucht. Hierbei wurde bei unterschiedlichen Drehzahl-niveaus die Lastanforderung schlagartig von 10 auf 100% angehoben.

Bei 1500 Umdrehungen ist zunächst kaum ein Unterschied im Drehmomentanstieg zwischen der Referenz und dem 50mm-PTC auszumachen (Bild 8). Erst kurz vor Erreichen des maximalen Drehmoments steigt die Kurve mit PTC stärker an, was letztendlich in einem leichten Überschwinger resultiert, bis das angestrebte Drehmoment eingeregelt wird. Die Variante mit 70mm Länge zeigt zunächst einen etwas verzögerten Drehmomentanstieg, um ab ca. 90% des maximalen Drehmoments wieder zur Referenzkurve aufzuschließen.

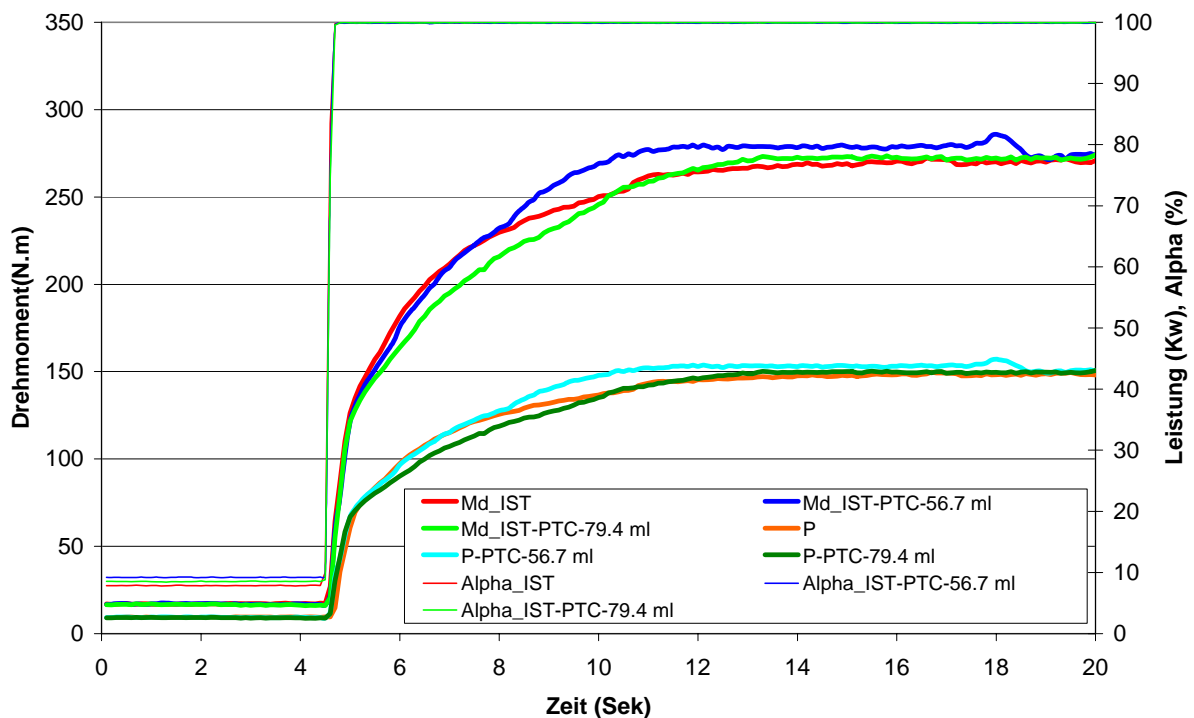


Abbildung 8 : Lastsprung bei 1500 U/min

Bei 2000 Umdrehungen (Bild 9) zeigt die Referenzkurve den steilsten Anstieg, die Kurve mit 50mm PTC-Länge zeigt bei etwa 90% des Maximaldrehmoments eine zeitliche Verzögerung von etwa 0.3 s. Weitere 0.3s verzögert folgt die Kurve mit 70mm PTC, kurz darauf schließen alle Kurven gemeinsam auf den Maximalwert. Dabei zeigen die beiden Kurven mit PTC erneut einen leichten Überschwinger, der vom System aber schnell wieder eingeregelt wird.

Bei 3000 Umdrehungen (Bild 10) schließlich zeigen beide PTC-Kurven eine ähnliche Verzögerung gegenüber der Referenzkurve, die im Bereich zwischen 0.4 und 0.6s liegt. Auffällig ist hierbei, dass das System offensichtlich größere Probleme hat, das Drehmoment bei der 70mm PTC-Variante auf den gewünschten Sollwert einzuregeln.

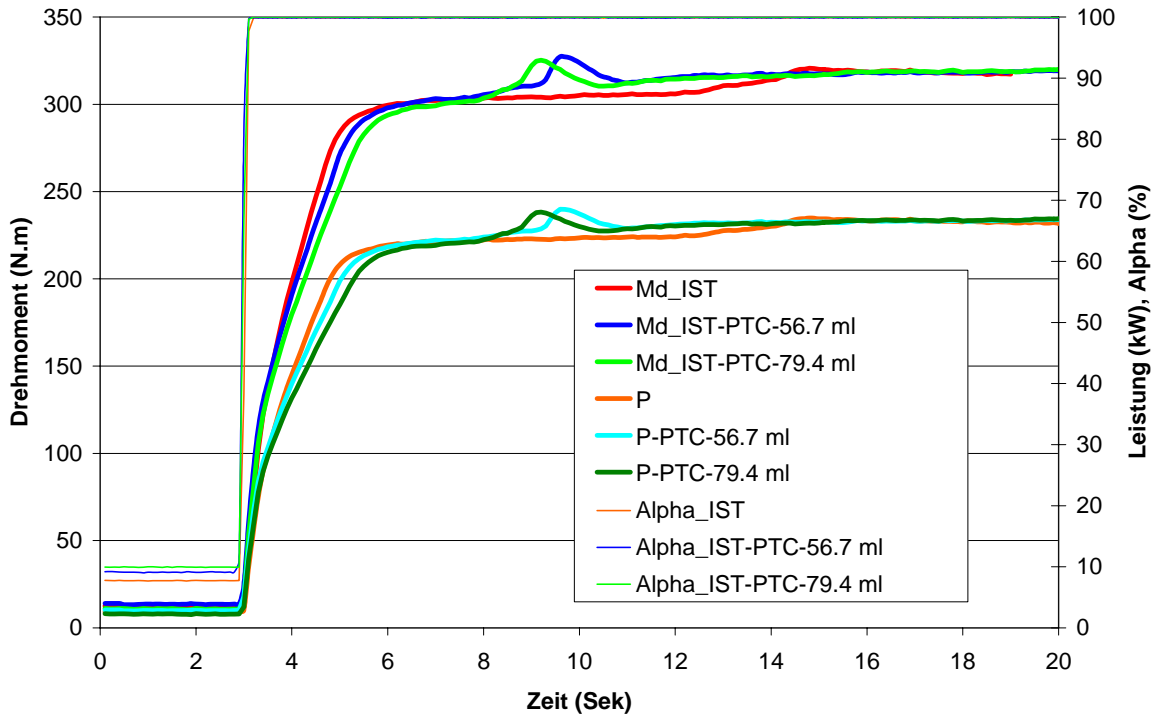


Abbildung 9 : Lastsprung bei 2000 U/min

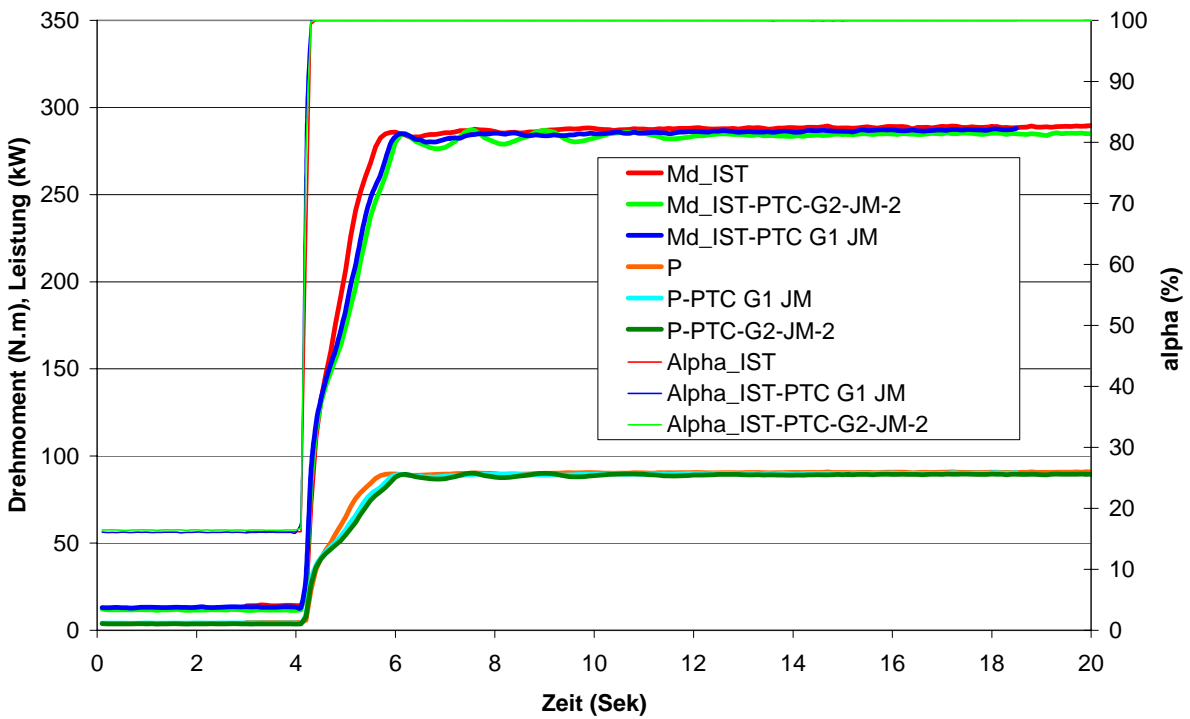


Abbildung 10 : Lastsprung bei 3000 U/min

Dieser Effekt kann in Zusammenhang mit der VTG-Regelung des Turboladers gebracht werden. In Abbildung 11 ist sowohl der Soll- als auch der Ist-Wert des VTG-Signals bei 2000 Umdrehungen dargestellt. Somit kann z.B. der Überschwinger des Drehmoments bei den beiden PTC-Kurven eindeutig mit einer Abweichung des VTG-Signals vom Ist-Wert in Verbindung gebracht werden. Ebenfalls der deutlich längere Einschwingvorgang der 70mm-Variante bei 3000 Umdrehungen spiegelt sich in deutlich höheren Amplituden im VTG-Signal wider (Bild 12).

Offensichtlich werden hier durch das zusätzlich eingebrachte Dämpfungsglied die Regelvorgänge der Turboladerregelung in unterschiedlichen Last- und Drehzahlzuständen unterschiedlich stark beeinträchtigt. Das lässt im Umkehrschluß die Vermutung zu, dass durch eine mögliche Anpassung der Regelgrößen zumindest ein Teil der Beeinträchtigungen in der Laderdynamik kompensiert werden können. Zukünftige Untersuchungen werden sich daher gezielt diesem Thema widmen.

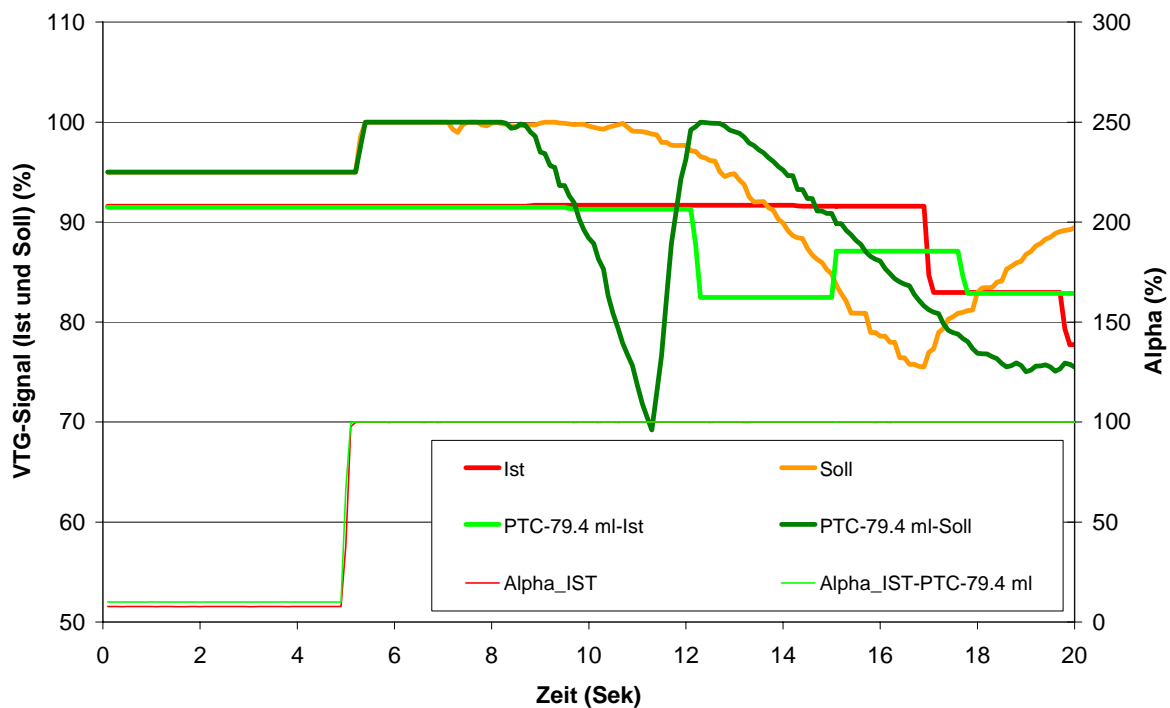


Abbildung 11 : VTG-Signal beim Lastsprung bei 2000 U/min

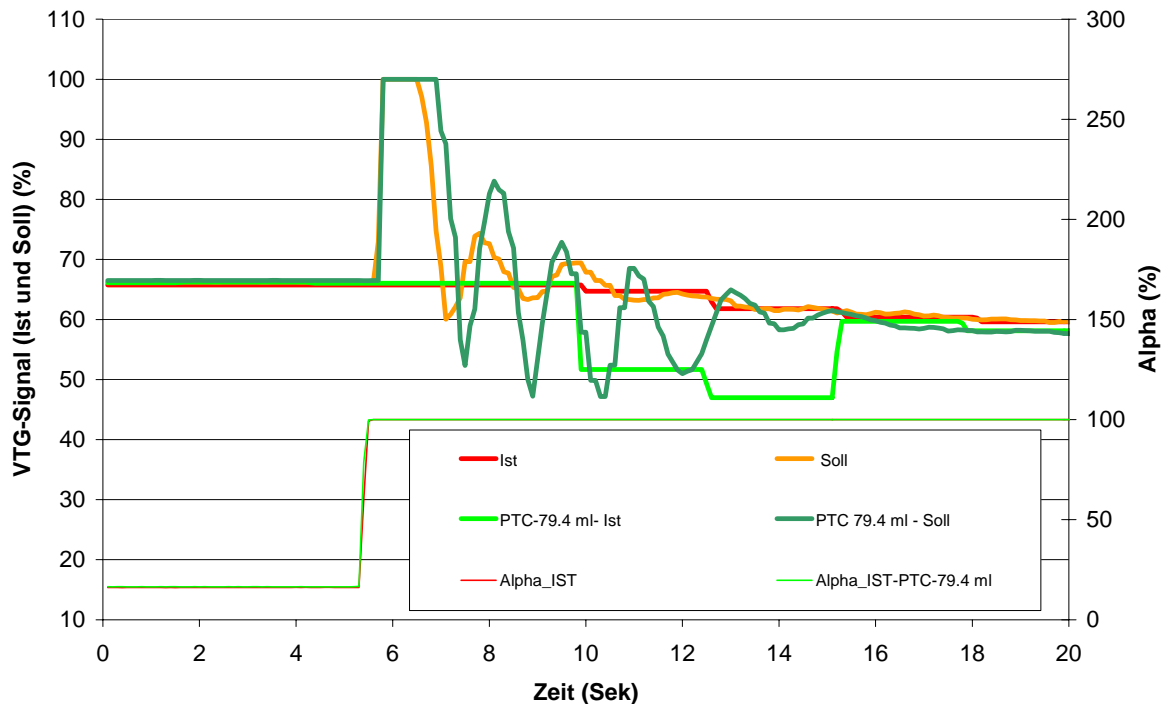


Abbildung 12 : VTG-Signal beim Lastsprung bei 3000 U/min

4 Mechanische Dauerhaltbarkeit des Vorturbolader-Katalysators

Die mechanische Dauerhaltbarkeit ist eine wesentliche Anforderung für sämtliche Katalysatorapplikationen. Allerdings kommt diesem Punkt bei der PTC-Entwicklung nochmals eine besondere Bedeutung zu, da durch einen mechanischen Defekt des Trägers oder der Beschichtung unter Umständen der Turbolader und damit die Funktionalität des gesamten Systems in Mitleidenschaft gezogen werden könnte.

4.1 Montage des PTC im Abgassystem

Ein Metallträger besteht üblicherweise aus einem Mantelrohr und einem metallischen Wabenkörper, der mechanisch mit dem Mantelrohr verbunden ist. Um diesen im Abgassystem zu befestigen, kann er z.B. unmittelbar mit den gasführenden Rohren verschweißt werden. Dies ist im Zusammenhang mit dem PTC allerdings oft schwierig, da es sich hier im Vorturbolader-Bereich häufig um komplex geformte Gußkonstruktionen handelt, wo dies nicht ohne weiteres möglich ist. Eine naheliegende Lösung ist daher oft, ihn an den Verbindungsstellen z.B. zwischen Zylinderkopf und Krümmer oder aber zwischen Krümmer und Turbolader zu

platzieren. In diesem Fall wird er über eine im Mantel befindliche Sicke oder aber ein mit dem Mantel verbundenes Flanschblech zwischen den vorhandenen Flanschen fixiert.

4.2 Mechanische Funktion und mögliche Fehlerursachen

Entsprechend seiner Einsatzbedingungen wird der PTC unterschiedlichen mechanischen und thermischen Belastungen ausgesetzt. Die thermischen Wechselbeanspruchungen können dabei bedingt durch die in diesem Fall fehlende thermische Masse des Turboladers deutlich höher ausfallen als hinter Turbolader, und auch spezielle Funktionen z.B. zur Regeneration des Dieselpartikelfilters können zu erheblichen Temperaturtransienten am PTC führen. Des Weiteren werden die mechanischen Schwingungen des Motors relativ direkt und über recht steife Verbindungswege auf den PTC übertragen. Letztendlich bewirken Gaspulsationen und Schwingungen im Auslasstrakt bzw. Krümmerbereich eine zusätzliche Belastung für die Folienstruktur speziell im Katalysatoreintrittsbereich.

2 unterschiedliche Schadensbilder sind bei den auftretenden Belastungen vorstellbar:

- 1) Verlust der Matrix-Integrität durch hohe lokale thermische Beanspruchung der Matrix und dadurch hervorgerufenen Spannungen im Matrix-Verbund. Dies kann zu deformierten Zellen oder im weiteren Verlauf zu Folienbrüchen führen.
- 2) Zerstörung der Mantel/Matrix-Verbindung durch starke thermische Wechselbeanspruchung in Verbindung mit hoher mechanischer Belastung

4.3 Randbedingungen für den PTC

Die thermischen und mechanischen Belastungen in der Vorturbolader-Position wurden detailliert an zwei repräsentativen, modernen Diesel-Motoren untersucht, ein 4-Zylinder Reihenmotor sowie ein 6-Zylinder V-Motor.

Besonders auffällig waren dabei die hohen positiven und negativen Temperaturtransienten im Turbineneintritt, die im Bereich 12000 K/min liegen. Sie treten vorrangig im Bereich maximaler Beschleunigung oder aber plötzlicher Verzögerung auf. Unkritisch dagegen sind die maximalen Temperaturen, die zum Wohle der mechanischen Komponenten des Turboladers derzeit auf ca. 860°C limitiert sind.

Hinsichtlich der mechanischen Belastung wurden maximale Schwingungspegel zwischen 5 und 8 g RMS gemessen, abhängig vom Motorkonzept und auch der daraus resultierenden Anordnung des PTCs. Relativ unkritisch ist die Belastung aufgrund ungleichmäßiger Strömungsbeaufschlagung. Strömungsmessungen mit unterschiedlichen Einbaupositionen und daraus teils resultierenden ungünstigen Anströmbedingungen zeigten immer noch relativ gute Verteilungen, auch wenn ein eindeutiger Einfluss der Einbauposition zu erkennen war.

Bei einer möglichen Anwendung in einem aufgeladenen Otto-Motor würden natürlich ungleich höhere Belastungen auf den PTC zukommen, sowohl hinsichtlich der maximalen Temperatur als auch der auftretenden Schwingungspegel bei den dort deutlich höheren Drehzahlen. Die nun folgenden Ausführungen betrachten den Diesel-typischen Anwendungsfall.

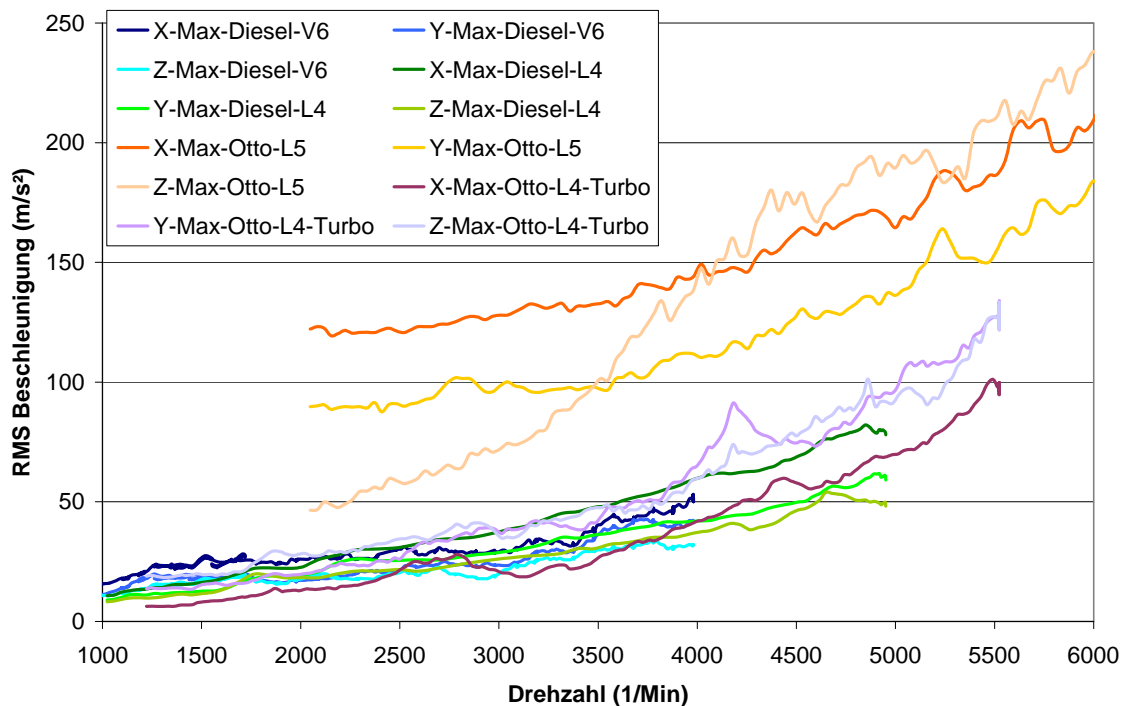


Abbildung 13 : Schwingungspegel unterschiedlicher Applikationen

4.4 Nachweis der Dauerhaltbarkeit des PTCs

Zur Überprüfung der Dauerhaltbarkeit unter den dargestellten Randbedingungen wurde ein PTC mit 64 ml Volumen auf dem Komponentenprüfstand getestet. Dieser Prüfstand vereint die mechanische Anregung durch einen Shaker mit der thermischen Wechselbelastung durch ein Brennersystem (Bild 14). Der Träger ist dabei so fixiert, dass die mechanische Belastung in den beiden Hauptträgerachsen wirksam wird, d.h. sowohl in axialer als auch in radialer Richtung. Als Schwingungsanregung wird die Hüllkurve eines real gemessenen Schwingungssignals verwendet, mit unterschiedlich hohen Amplituden in Abhängigkeit der Schwingfrequenz. Das verwendete Frequenzband läuft dabei von 100 – 3000 Hz. Der Energieinhalt der Schwingungsanregung (RMS-Pegel) wird davon unabhängig variiert und kann so z.B. zum gezielten Übertesten des Trägers genutzt werden.

Bei dem Brennersystem handelt es sich um eine Anlage mit gekühlter Brennkammer und sehr hohen möglichen Gasdurchsätzen. Das hat den Vorteil, dass die Abgastemperatur unabhängig vom Massendurchsatz variiert werden kann. Auf diese Art und Weise lassen sich sehr große sowohl positive als auch negative Temperaturtransienten darstellen, die benötigt werden, um die thermische Belastung des PTC realistisch nachzubilden. [9]

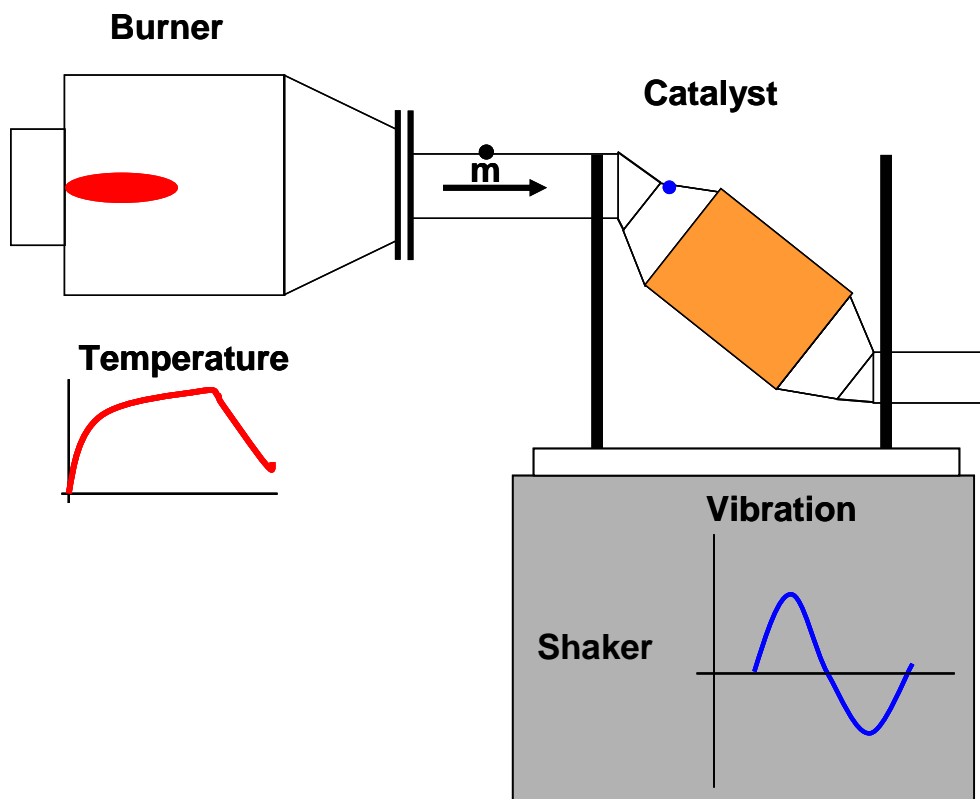


Abbildung 14: Komponentenprüfstand mit kombinierter thermischer und mechanischer Belastung

Als Randbedingungen für die ersten Tests wurde eine Schwingungsbelastung von 12g RMS gewählt. Diese liegt somit ca. 50% über den höchsten gemessenen Belastungen. Temperaturseitig wurden maximale Transienten bezüglich der Gastemperatur von ± 12000 K/min eingestellt, die maximale Gastemperatur betrug ca. 920 °C anstelle von 860 °C im realen System. In der Matrix selber wurden unter diesen Bedingungen Transienten von $+ 8600$ und $- 9500$ K/min gemessen. Der somit dargestellte Testzyklus entspricht etwa den Bedingungen eines sogenannten Manifold Crack Test, wie er von vielen OEMs zur Qualifizierung der entsprechenden Komponenten durchgeführt wird. Die geforderte Anzahl der zu absolvierenden Zyklen liegt dabei üblicherweise bei ca. 350.

In diesem Fall wurde der Test nach Erreichen der 350 Zyklen bis zur Zerstörung des Trägers fortgesetzt. Nach 540 Zyklen löste sich die Trägermatrix vom Katmantel. Der übrige Zustand des Matrixkörpers war dabei einwandfrei, es konnten weder Risse in der Matrix noch Materialverlust durch Matrixbruch oder Washcoatverlust beobachtet werden (Bild 15).

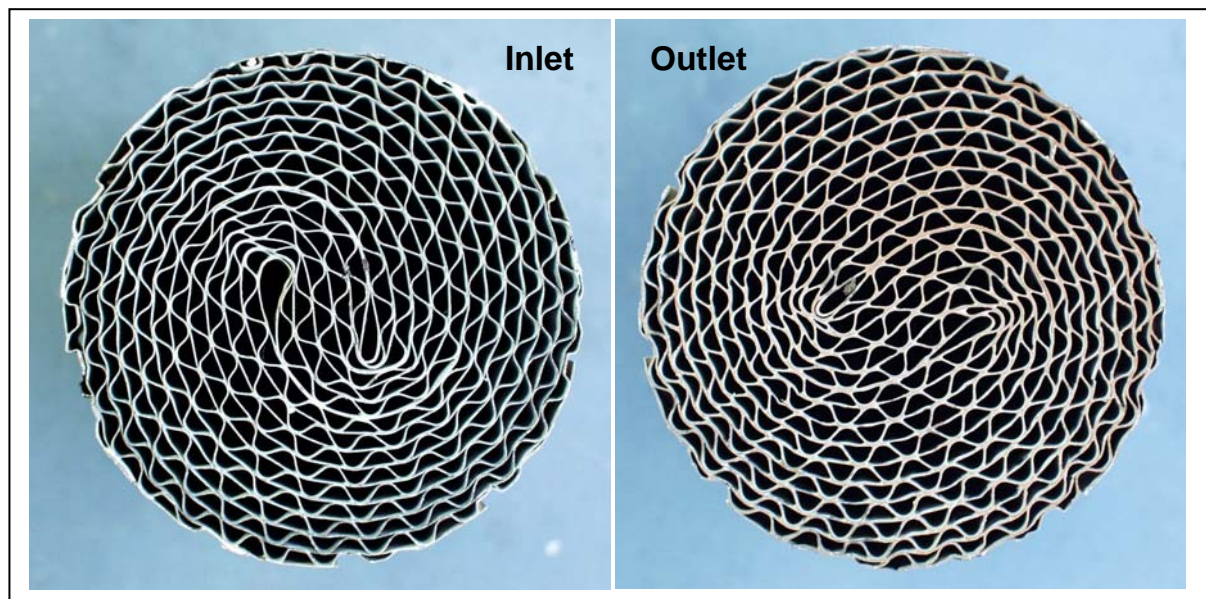


Abbildung 15: Zustand der PTC-Matrix nach 540 Zyklen auf dem Komponentenprüfstand

5 Zusammenfassung und Ausblick

Die Positionierung von Katalysatorvolumen vor der Abgasturbine zeigt hohes Potential zur Lösung einiger Probleme der Diesel-Abgasmachbehandlung, die durch die im Zuge der ständigen Wirkungsgradoptimierung der Motoren gesunkenen Abgastemperaturen verursacht werden. Mit relativ kleinen Katalysatorvolumina und entsprechend geringen Edelmetallbelastungen und damit Kosten lassen sich bereits gewaltige Effektivitätsverbesserungen erzielen. Diese Effekte sind natürlich umso größer, je größer das untergebrachte PTC-Volumen ist. Neben der damit verbundenen räumlichen Problematik sind unter Umständen auch Effekte des zusätzlichen Einbaus auf das Turboladerverhalten und damit die Dynamik des Gesamtsystems zu berücksichtigen. Im Rahmen dieser Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass solche Effekte stark von der Auslegung des Systems beeinflusst werden. Bei entsprechender Anpassung geeigneter Systemparameter wie z.B. der VTG-Regelung ist zudem mit einer weiteren Verbesserung des dynamischen Verhaltens zu rechnen, was jedoch noch durch weitere Untersuchungen belegt werden muss.

Hinsichtlich der mechanischen Haltbarkeit des PTCs wurden ebenfalls umfangreiche Untersuchungen durchgeführt. Auf Basis der ermittelten Belastungen hinsichtlich Temperatur und Schwingung für diese besondere Einbausituation wurden Untersuchungen am Komponentenprüfstand zur Optimierung der Designparameter durchgeführt. Ergänzt wurden diese Tests am Motorprüfstand sowie im Fahrzeug in kundenrelevanten Dauerläufen.

In Zukunft wird der PTC weiter an Bedeutung in der Diesel-Abgasmachbehandlung gewinnen, da er im Zuge der sich verschärfenden Problematik ein simples und kostengünstiges Mittel zur Problemlösung darstellt. Zielrichtung der zukünftigen Entwicklung wird dabei vornehm-

lich die Applikation größerer Volumina sowie die Integration des PTC in die Funktionalität des komplexen Gesamtsystems sein.

Danksagungen

Besonderer Dank gilt den Kollegen von Siemens VDO für die Bereitstellung eines Euro-V Konzeptmotors und die Unterstützung bei den durchgeführten Messungen.

Literatur

- [1] A.Freitag, R.Dorenkamp, T.Düsterdiek, U.Scher, Volkswagen AG; ‚Konzepte zur Erfüllung zukünftiger Emissionsstandards für PKW-Dieselmotoren‘, Emission Control Dresden 2004
- [2] R.Imarisio, B.Peters, G.M.Rossi Sebastiano, J.Pinson, G.Boretto, R.Buratti, Fiat; ‚Diesel Strategies towards Fuel neutral European Emission Standards‘; ATA Symposium, Bari, 2004
- [3] Gianpiero Saroglia, Giovanni Basso, Fiat-GM Powertrain Italia; Manuel Presti, Meike Reizig, Holger Stock, Emitec GmbH; ‚Application of New Diesel Aftertreatment Strategies on a Production 1.9 L Common-Rail Turbocharged Engine‘, SAE-2002-01-1313
- [4] F.Kaiser, P.Treiber, J.Kramer, Emitec GmbH; H.Zellbeck, TU Dresden; ‚Der Katalysator vor der Abgasturbine als Bauteil zur Optimierung von schadstoffmindernden Einrichtungen bei PKW- und NFZ-Dieselmotoren‘; Emission Control Dresden 2002
- [5] Brendan Carberry, Georg Grasi, Ford Motor Company; Stephane Guerin, PSA; Francois Jayat, Roman Konieczny, Emitec GmbH; ‚Pre-Turbocharger Catalyst – Fast Catalyst Light-Off Evaluation‘, SAE 2005-01-2142
- [6] Andrea Sanguedolce, Gianmarco Boretto, Giovanni Basso, Giovanni Cipolla, General Motors Powertrain Europe; Alberto Gionannini, Marco Tonetti, Fiat Powertrain Technologies - Research&Technology, Italy; ‚Emission and Performance Assessment of an Advanced Diesel Pre-Turbo catalyst System designed for a Passenger Car Diesel Engine Application‘; 4.Internationales AVL-Forum Abgas- und Partikel-Emissionen, Ludwigsburg, März 2006
- [7] California Air Resource Board, ‚Rulemaking on the Off-Road Large Spark-Ignition Engine Regulations (10/22/98 Hearing), Attachment E : Technical Support Document‘
- [8] Environmental Protection Agency; Emissions-Related Recall and Voluntary Service Campaigns, Berichte für die Jahre 2000 bis 2006; <http://www.epa.gov/otaq/recall.htm>
- [9] Thomas Nagel, Jan Kramer, Manuel Presti, Axel Schatz, Jürgen Breuer, Emitec GmbH; Ron Salzman, John A.Scaparo, Andrew J.Montalbano, Ford Motor Company; ‚A new Approach of accelerated Life Testing for Metallic Catalytic Converters‘, SAE 2004-01-0595