

TU Berlin | VKM | Carnotstr. 1a | 10587 Berlin

Deutscher Bundestag
5. Untersuchungsausschuss
Herr Herbert Behrens, MdB
Platz der Republik 1
11011 Berlin

Deutscher Bundestag
5. Untersuchungsausschuss
der 18. Wahlperiode
Ausschussdrucksache
18(31)39 neu



Fakultät V | Verkehrs- und Maschinen-systeme
Institut für Land- und Seeverkehr

FG Verbrennungskraftmaschinen

Leitung
Prof. Dr.-Ing. Roland Baar

Sekretariat CAR-B1
Carnotstr. 1a
10587 Berlin

Telefon +49 (0)30 314-26946
Telefax +49 (0)30 314-26105
roland.baar@tu-berlin.de

Berlin, 25. Oktober 2016

Unser Zeichen:

Betreff
Öffentliche Sachverständigenanhörung des 5. Untersuchungsausschusses am
22.09.16
Präzisierte Stellungnahme zum Sachverhalt

Funktionsweisen und Möglichkeiten von Abschalt-einrichtungen und sonstigen Manipulationen einer NOx-Abgasreinigung

Vorwort:

Diese Stellungnahme beschreibt generelle Zusammenhänge von Technologien und Abgasemissionen bei Dieselmotoren. Außerhalb von Presseinformationen habe ich keinerlei Informationen über Details zur Manipulation verschiedener Hersteller. Meine Stellungnahme beschränkt sich auf die technische Notwendigkeit von Abschalt-einrichtungen. Sie ist genereller Natur und berücksichtigt keine Details unternehmensspezifischer technischer Hintergründe von Motorausführungen.

Aus einer von mir nicht legitimierten Weiterleitung des ersten Entwurfs dieser Stellungnahmen an die Presse sind Inhalte missverständlich zitiert worden. Verbrennungsmotorische Prozesse sind äußerst komplex und ich bitte daher darum, meine Ausführungen ganzheitlich zu verstehen und nicht einzelne Sätze herauszugreifen. Zudem möchte ich hier klarstellen, dass ich als Sachverständiger weder Ankläger noch Verteidiger der Automobilindustrie bin. Mein Anliegen ist es, mit einer grundsätzlichen Betrachtung der Technologie zur Aufklärung der Situation beizutragen.

> Seite 1/4 |

Grundlagen:

Die Bildung von Stickoxiden (NO_x) ist im Wesentlichen von der lokalen Temperatur und dem lokalen Kraftstoff-Luft-Verhältnis während der Verbrennung geprägt. Diese wird ursächlich durch das Brennverfahren - insbesondere die Einspritzung und die Gemischbildung im Zylinder - beeinflusst. Die Abgasrückführung ist eine etablierte Methode der Emissionsreduzierung. Die Möglichkeiten der innermotorischen Reduzierung sind prinzipbedingt begrenzt, sodass heute verschiedene Abgasnachbehandlungssysteme zum Einsatz kommen. Da es eine eindeutige Wechselwirkung zwischen der Bildung von NO_x und Ruß gibt, spielt bei der Applikation von Motoren hinsichtlich NO_x auch die Rußreduzierung (bzw. die Anwendung von Partikelfiltern) eine Rolle.

Abschalteinrichtungen, die offensichtlich ausschließlich zwischen Prüfstands- und Realbetrieb unterscheiden oder nach einer bestimmten Zeit wirksam werden, können keiner Schutzfunktion des Motors zugeordnet werden. Bei Abschaltseinrichtungen, die auf einer Bestimmung von Betriebstemperaturen, Luftdruck und weiteren Umgebungsbedingungen basieren, ist zunächst zu klären, für welche Komponenten eine Schutzfunktion relevant ist. Sowohl bzgl. der thermodynamischen Funktion als auch der Haltbarkeit spielt insbesondere die Betriebstemperatur eine große Rolle. Grundsätzlich kann man aber sagen, dass Funktion und Lebensdauer eine Frage der Auslegung (Wahl der Werkstoffe, Gestaltung von Bauteilen, Art des Betriebs) sind. Die folgenden Darstellungen beziehen sich auf den heutigen Stand der Technik. Es ist dabei zu bemerken, dass es zum Teil mehr als ein Jahrzehnt gedauert hat, die einzelnen Technologien zu diesem Stand zu entwickeln. Ein typischer Entwicklungsprozess eines neuen Verbrennungsmotors dauert normalerweise mindestens fünf Jahre.

Bauteile, die ggf. temperaturabhängig geschützt werden können, sind:

Hochdruckabgasrückführung:

Bis vor wenigen Jahren wurde Abgasrückführung (AGR) ausschließlich auf der Hochdruckseite realisiert. Bei zu niedrigen Temperaturen, insbesondere durch zusätzliche Kühlung, kann dabei Wasserdampf aus dem Abgas auf dem Weg zurück in den Zylinder in Leitungen und Kühlern kondensieren. Zusammen mit unverbrannten Verbrennungsprodukten (Ruß, HC) kann es zu Versottungserscheinungen kommen, die die Funktion der Abgasrückführung einschränken oder Bauteile beschädigen können. Dieses Verhalten tritt insbesondere bei niedrigen Temperaturen auf. Eine feste Temperaturgrenze existiert hier jedoch nicht, weil es eine deutliche Abhängigkeit von der Konstruktion und Werkstoffwahl gibt. Ein weiterer Aspekt ist die temporäre Abschaltung der Hochdruckabgasrückführung im transienten Betrieb, wenn das Abgas zum schnellen Hochlauf des Abgasturboladers benötigt wird. Hierbei handelt es sich nicht um eine Schutzfunktion, sondern eine Maßnahme zur Verbesserung des Betriebsverhaltens des Motors.

Für die Hochdruckabgasrückführung kann dementsprechend zum Schutz von Bauteilen unter bestimmten Umständen eine Motorschutzfunktion technisch notwendig sein kann.

Niederdruckabgasrückführung

Mit Einführung der Euro5-Gesetzgebung wurde erstmals die Abgasrückführung auf der Niederdruckseite eingeführt. Der Vorteil dieses Verfahrens ist die gute Durchmischung, die Möglichkeit für höhere Abgasrückführungsmengen, die Rückführung gereinigten Abgases (Oxidationskatalysator und Dieselpartikelfilter reduzieren Ruß, CO und HC) sowie eine Vermeidung der Abschaltungsnotwendigkeit der Abgasrückführung im transienten Betrieb. Der Vorteil hinsichtlich eines Betriebs in verschiedenen Zuständen ist insbesondere, dass das Abgas nach Oxidationskatalysator und Dieselpartikelfilter entnommen wird, sodass ein Versottungsrisiko der Abgasrückführleitung durch unverbrannte Verbrennungsprodukte gering ist. Ein Nachteil ist die Belastung des Turbolader-Verdichters mit Restruß. Allerdings treten entsprechende Rußbelastungen kontinuierlich auf und sind keinem Thermofenster zuzuordnen. Abschaltseinrichtungen zum Schutz des Turboladers sind nicht bekannt.

Eine thermisch motivierte Schutzfunktion erscheint dementsprechend insgesamt nicht notwendig zu sein.

Oxidationskatalysator

Bei Oxidationskatalysatoren werden CO und HC oxidiert. Hierbei gibt es keinen relevanten Zusammenhang zur Temperatur. Eine thermisch bedingte Schutzfunktion erscheint nicht notwendig zu sein.

Dieselpartikelfilter

Zur Regeneration von Dieselpartikelfiltern wird Kraftstoff zu einem Zeitpunkt eingespritzt, bei dem er nicht vollständig verbrennt; „Nacheinspritzung“. Dies kann zur Verdünnung des Motoröls führen, wenn der Kraftstoffstrahl unverdampft auf die Zylinderwand trifft und sich dann mit dem Motoröl vermischt. Dies ist zwar temperaturabhängig, allerdings kann dieses Problem durch eine geeignete Einspritzstrategie minimiert werden.

Da es eine Wechselwirkung mit dem Einsatz der Abgasrückführung gibt (hohe Abgasrückführaten bewirken einen hohen Rußanteil im Abgas), kann es notwendig sein, die Menge der Abgasrückführung zu reduzieren, um einen Abbrand des Filters zu verhindern.

Eine thermisch motivierte Schutzfunktion für den Dieselpartikelfilter als einzelne Komponenten erscheint nicht notwendig zu sein, in Kombination mit der Abgasrückführung kann jedoch die Notwendigkeit eines Schutzes geben sein.

NOx-Speicherkatalysator

Bei Speicherkatalysatoren werden NOx chemisch angelagert, die bei Bedarf durch Produkte einer unvollständigen Verbrennung wieder reduziert werden. Hierbei gibt es keinen bekannten Zusammenhang zur Temperatur.

Eine thermisch motivierte Schutzfunktion erscheint nicht notwendig zu sein.

SCR-Katalysator

Bei SCR-Katalysatoren wird NOx durch Ammoniak reduziert, das aus verdampfendem Harnstoff (Adblue) entsteht. Da der Harnstoff bei zu niedrigen Temperaturen einfrieren kann, wäre eine temperaturabhängige, elektronische Abschaltung der Harnstoffeinspritzung für diesen Fall nachvollziehbar. Die Abgasnachbehandlung sollte dann durch AGR kompensiert werden, was in diesen Bereichen grundsätzlich temporär möglich und praktikabel erscheint. Ist der Harnstoff flüssig, so verdampft dies auch bei niedrigen Temperaturen angemessen schnell, was auch durch den motornahen Anbau unterstützt wird. Bei falscher Applikation der Harnstoffmenge kann es zudem zu einem Ammoniak-Schlupf kommen, sodass Ammoniak an die Umgebung abgegeben wird. Ggf. kann sich Ammoniak in Rohrleitungen ablagern

Eine thermisch motivierte Schutzfunktion erscheint im Temperaturbereich des flüssigen Harnstoffs nicht notwendig zu sein.

Zusammenfassung:

Bis zu den Euro5-Motorgenerationen basierte die Technologie von Dieselmotoren zur Emissionseinhaltung typischerweise auf gekühlter Hochdruck-AGR und Dieselpartikelfiltern. Für diese Motoren sind Abschaltvorrichtungen zum Bauteilschutz aus technischer Sicht nachvollziehbar. Mit der Einführung von Euro6 wurde diese Technologie bei Motor-Herstellern auf unterschiedliche Weise z.T. durch Niederdruck-AGR sowie NOx-Speicherkatalysatoren und/oder SCR-Systemen erweitert. Dadurch konnten grundsätzlich neue Motorkonzepte entwickelt werden. Im Rahmen der Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten der letzten Jahre sind zuverlässig funktionierende Einzelkomponenten entstanden, die die Grundlage der aktuellen Technologie darstellen. Nach aktuellem Kenntnisstand ist es heute möglich, Motoren so zu konstruieren, dass sie betriebssicher in den üblichen klimatischen Verhältnissen ohne Motorschutzfunktion eingesetzt werden können und die aktuell geltende Emissionsgesetzgebung für Europa erfüllen. Man kann also grundsätzlich sagen, dass ein Motorschutz aufgrund niedriger Betriebstemperaturen bei aktueller Emissionsgesetzgebung Euro6 und bei Verwendung heute vorhandener Technologie nicht zwangsläufig notwendig ist. Verschiedene Motoren (Daimler OM654, Volkswagen EA288) belegen dies. Dies bedeutet nicht, dass bestimmte Komponenten nicht trotzdem zum Motorschutz abgeschaltet werden müssen, solange diese durch andere Komponenten kompensiert werden können, sodass eine Wirksamkeit der Abgasnachbehandlung grundsätzlich erhalten bleibt. Zudem muss darauf hingewiesen werden, dass bei Motoren, die aktuell auf eine Motorschutzfunktionen angewiesen

sind, nur durch umfassende Anpassung der Motorarchitektur auf den Schutz verzichtet werden kann, sodass bei einer Änderung der Anforderungen entsprechende Zeiträume für Neuentwicklungen zu bedenken sind. Schließlich lässt sich sagen, dass es immer eine Frage des Konzepts, der Konstruktion und Werkstoffwahl sowie der Umgebungsbedingungen ist, ob ein Bauteil haltbar ist oder irgendeine Schutzfunktion eingesetzt werden muss. Ich möchte abschließend feststellen, dass mir keine detaillierten Hintergründe und technischen Details der verschiedenen Hersteller bekannt sind, die zu Entscheidungen während des Entwicklungsprozesses führen. Dementsprechend ist meine Stellungnahme als Beschreibung von generellen technischen Grundlagen zu verstehen.

2.35

(Prof. Dr. Roland Baar)