

Karsten Baum und Axel Munack, Braunschweig, und Jürgen Krahl, Coburg; Jürgen Büniger, Göttingen, sowie Onno Syassen, Hemsbach

Abgasmessungen an einem Dieselmotor mit auf RME-optimiertem Einspritzsystem

Mittels RME, einem speziellen Katalysator und einem Hochdruck-Einspritzsystem kann die Stickoxid- und Partikelemission eines Dieselmotors deutlich gesenkt werden. Die Grenzwerte der Euro III-Norm werden noch nicht eingehalten. Ursachen hierfür sind die sich in der Entwicklungsphase befindliche und verbesserungsfähige HVD-Anlage und die unzureichende Konditionierung des Prüfstandes.

Die Untersuchungen der Mutagenität, Toxizität und Partikelgrößenverteilung ergaben für das RME-Abgas insgesamt günstigere Werte als für DK. Die weiteren untersuchten Emissionen liegen in einem durch motorische Maßnahmen oder Abgasnachbehandlung auf die Vorschriften begrenzten Bereich.

Dipl.-Ing. Karsten Baum ist wissenschaftlicher Mitarbeiter, Prof. Dr.-Ing. Axel Munack ist Leiter des Instituts für Biosystemtechnik der FAL in Braunschweig. Prof. Dr. Jürgen Krahl ist an der FH Coburg tätig; Dr. Jürgen Büniger ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Arbeits- und Sozialmedizin der Universität Göttingen; Dr.-Ing. E.h. Onno Syassen ist selbständiger Berater. Die Autoren danken dem Land Niedersachsen für die finanzielle Förderung der Untersuchungen.

Schlüsselwörter

RME, Partikel- und Stickoxid-Reduzierung

Keywords

RME, particulate and nitric oxide reduction

Literaturhinweise sind vom Verlag unter LT 99530 erhältlich oder über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/local/fliteratur.htm> abrufbar.

Die Verwendung von Rapsölmethylester (RME) ist in den meisten serienmäßigen Dieselmotoren ohne Probleme möglich. Im Rahmen des Projektes wurden die Wirkungen eines von der Firma FMC (Fiedler Motor Consulting GmbH, Kiel) entwickelten Einspritzsystems untersucht; es wird als Hoch-Vor-Druck- (HVD-) System bezeichnet. Dieses Einspritzsystem setzt sich aus einer nockenwellengesteuerten Einspritzpumpe, einer Vordruckpumpe und speziellen Einspritzdüsen zusammen. Die Wahl des Einspritzzeitpunktes und die Anhebung des Einspritzdruckes ist bei der Verwendung von RME entscheidend für die Auswirkungen auf die Abgasemissionen. Die durchgeführten Untersuchungen dienen dem Vergleich der Abgasqualität bei Verwendung von konventionellem Dieselkraftstoff (DK) und RME mit Original-Einspritzpumpe und HVD-System. Zusätzlich wurde noch ein auf RME optimierter Oxidationskatalysator der Firma Oberland-Mangold eingesetzt [1].

Versuchsdurchführung

Im Rahmen der Versuche erfolgte nicht nur die Bestimmung der limitierten Abgasbe-

standteile Kohlenmonoxid (CO), Kohlenwasserstoffe (HC), Stickoxide (NO_x) und der Partikelmassen, sondern auch die Differenzierung der Partikelmassenströme in organisch lösliche und organisch unlösliche Bestandteile sowie auch deren Größenverteilung. Ferner wurden die Mutagenität der Partikelmassen ermittelt sowie Aldehyde und Ketone als mögliche Ozon-Vorläufer-substanzen gemessen.

Der MWM 302-2 ist ein luftgekühlter Zwei-Zylinder-Reihenmotor (95 mm Bohrung, 105 mm Hub) mit Direkteinspritzung und hat eine Leistung von 17 kW bei einer Drehzahl von 2000 min⁻¹. Der Motor hat serienmäßig eine Bosch-Reiheneinspritzpumpe mit mechanischem Drehzahl-Regler und festem Einspritzzeitpunkt bei 6,5 °KW vor dem oberen Totpunkt (o.T.). Bei den Einspritzdüsen handelt es sich um die in der Serie eingesetzten Bosch Vierlochdüsen.

Das HVD-System ist für die Versuche auf einen Einspritzzeitpunkt von 4 °KW nach o.T. eingestellt worden. Die HVD-Anlage wurde mit Einspritzdüsen von Bosch ausgestattet (Dreilochdüse, die gegenüber der Originaldüse eine nach Angaben der FMC um 65% geringere Düsenfläche besitzt).

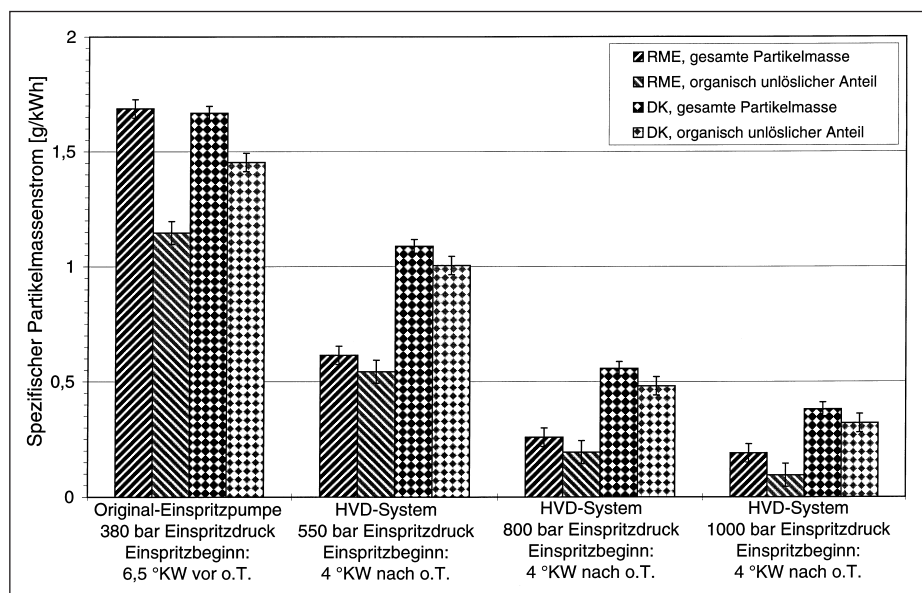
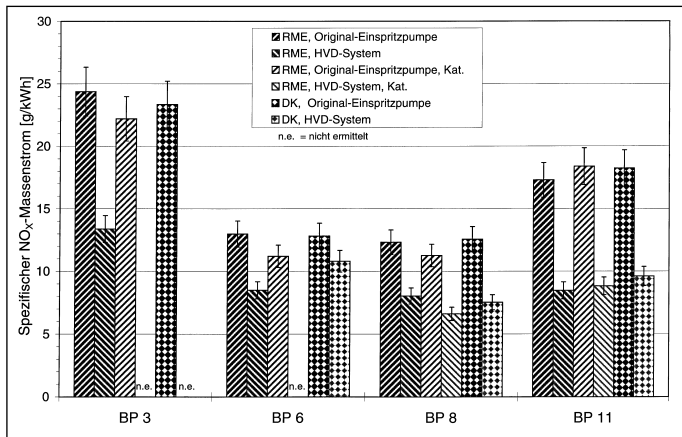
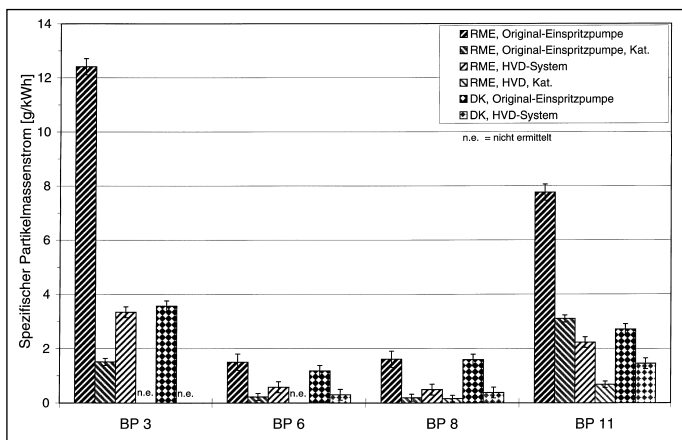


Bild 1: Spezifische Partikel-Emission des MWM 302-2 im Betriebspunkt 8 und Standardabweichung

Fig. 1: Specific particulate matter emission of the MWM 302-2 in mode 8 and standard deviation



Die Versuche wurden in den Betriebspunkten 3 (1500 min⁻¹, 25 % Last), 6 (1500 min⁻¹, 100 % Last), 8 (2000 min⁻¹, 100 % Last) und 11 (2000 min⁻¹, 25 % Last) des 13-Stufen-Tests (Ratsrichtlinie 88/77IEWG) durchgeführt. Als Kraftstoffe fanden RME der Oelmühle Connemann GmbH & Co. Leer und handelsüblicher DK der Firma Shell Verwendung.

Partikel-Emissionen

Der Einfluss des HVD-Systems ist im Betriebspunkt 8 zur Absenkung der Partikel-Emission am deutlichsten. In *Bild 1* sind die Partikelmassenströme der beiden Kraftstoffe unter Verwendung der Original-Einspritzpumpe und der HVD-Anlage mit drei verschiedenen Einspritzdrücken dargestellt [2].

Die Partikelmassenströme sind bei der Verwendung der Original-Einspritzpumpe bei beiden Kraftstoffen nahezu gleich. Der Anteil der organisch unlöslichen Partikelfraktion ist bei RME um etwa 20 % geringer als bei DK. Es wird bei der Verbrennung von DK mehr Ruß emittiert. Dieser Zusammenhang wird bei der Auswertung der Schwärzungszahl, nach Bosch gemessen, bestätigt.

Bei einem Einspritzdruck von 550 bar ist die Verminderung der Partikelmassenströme hauptsächlich auf den späten Einspritzbeginn zurückzuführen, da der Einspritzdruck nur geringfügig höher ist als bei der Original-Einspritzpumpe. Die Partikelmassenströme sind mit RME um über 60 % gegenüber dem Originalzustand des Motors reduziert. Mit einer Minderungsrate von rund

35 % fallen die Auswirkungen bei DK geringer aus.

Bei einem durch die HVD-Anlage erzeugten Einspritzdruck von 1000 bar beträgt der Partikelmassenstrom bei RME nur etwa 10 % und bei DK rund 25 % des Partikelmassenstroms im Originalzustand.

Die organisch unlösliche Partikelfraktion ist in beiden Einspritzsystemen bei der Verwendung von RME geringer. Beim Einsatz der HVD-Anlage mit einem Einspritzdruck von 1000 bar zeigt sich ein 50 % iger Anteil von organisch unlöslichen Partikeln in der Partikelgesamtmasse bei RME und von 84 % bei DK. Dass die Partikel im RME-Abgas einen größeren organisch löslichen Anteil aufweisen, wurde bereits in anderen Untersuchungen festgestellt [3]. Es ist davon auszugehen, dass es sich bei den organisch löslichen Partikelanteilen um unverbrannten Kraftstoff und um Motoröl handelt. Bei dem höchsten für die HVD-Anlage möglichen Einspritzdruck ist die Wirkung des für den RME-Betrieb ausgewählten späten Einspritzbeginns sehr deutlich.

In *Bild 2 (oben)* werden die Auswirkungen der gewählten Betriebspunkte und der Einfluss des Oxidationskatalysators am MWM 302-2 unter Verwendung beider Einspritzsysteme und beider Kraftstoffe dargestellt. Die Einstellung der Einspritzpumpen ist gegenüber derjenigen am Betriebspunkt 8 nicht verändert worden.

Im RME-Betrieb werden die Partikelmassenströme durch die Verwendung des HVD-Systems gegenüber der Original-Einspritzpumpe im Betriebspunkt 11 um 60 % redu-

Bild 2: Messungen in ausgewählten Betriebspunkten des 13-Stufen-Tests unter Verwendung der Original-Einspritzpumpe (Einspritzdruck 380 bar, Einspritzbeginn 6,5 °KW vor o.T.) und des HVD-Systems (Einspritzdruck 1000 bar, Einspritzbeginn 4 °KW nach o.T.) und dazugehörige Standardabweichung

Fig. 2: Measurements in selected modes of the 13-mode test using the original injection pump (injector pressure 380 bar, injection timing 6,5 °ca pre udc) and the HVD system (injector pressure 1000 bar, injection timing 4 °ca after udc) and standard deviation

ziert, um 85 % in den Betriebspunkten 3 und 6 und um etwa 90 % im Betriebspunkt 8. Bei der Verwendung von DK mindert das HVD-System die Partikel-Emissionen gegenüber der Original-Einspritzpumpe im Betriebspunkt 11 um 50 % und in den Betriebspunkten 6 und 8 um 75 %. Die Reduktionsraten sind in den verglichenen Betriebspunkten bei der Verwendung von RME höher.

Der Oxidationskatalysator, nur zur Verwendung von RME ausgelegt, reduziert bei der Verwendung der Original-Einspritzpumpe die Partikel-Emissionen in den ausgesuchten Betriebspunkten um etwa 60 %. Die Partikelmassenströme wurden nur in den Betriebspunkten 8 und 11 mit dem HVD-System und dem Oxidationskatalysator bestimmt. Dabei reduziert der Oxidationskatalysator den Partikelmassenstrom im Betriebspunkt 11 um 75 % und im Betriebspunkt 8 mindestens um 20 %. Die Betriebspunkte 8 und 11 sind im Hinblick auf die Euro III-Norm als einzige Betriebspunkte vollständig gemessen worden. Mit den Ergebnissen der Partikelmassenströme von 0,16 g/kWh für Betriebspunkt 8 und von 0,68 g/kWh für den Betriebspunkt 11 wurde die angestrebte Größenordnung erreicht.

Stickoxid-Emissionen

In *Bild 2 (unten)* sind die Stickoxid-Massenströme in den vier ausgesuchten Betriebspunkten dargestellt. Darin werden beide vorgestellten Einspritz-Systeme, die beiden Kraftstoffe RME und DK sowie der nur für RME ausgelegte Oxidationskatalysator hinsichtlich ihrer Stickoxid-Reduktion miteinander verglichen.

Bei der Verwendung der Original-Einspritzpumpe liegen die Unterschiede zwischen beiden Kraftstoffen im Rahmen der Fehlerbreite. Der Einsatz des HVD-Systems ergibt bei RME eine Reduktion der NO_x-Emissionen in den Betriebspunkten 3 und 11 von 45 %. In den Betriebspunkten 6 und 8 ergibt sich eine Minderung von 35 % im Vergleich zu den Ergebnissen der Original-Einspritzpumpe. Die Reduktionsraten von DK in der HVD-Anlage betragen im Betriebspunkt 6 etwa 15 % und in den Betriebspunkten 8 und 11 jeweils 40 %. Die Absenkung der Stickoxid-Emissionen ist auf den späten Einspritzbeginn von 4 °KW nach o.T. zurückzuführen. Bei einer weiteren Verschiebung des Einspritzbeginns in Richtung „spät“ tritt eine Erhöhung der Partikel-Emissionen und des Kraftstoffverbrauchs ein.

Die Auswirkungen des Oxidationskatalysators hinsichtlich der NO_x-Emissionen bewegen sich sowohl bei der Original-Einspritzpumpe als auch bei der HVD-Anlage unterhalb der Messgenauigkeit.