

Notfallregeneration von Dieselpartikelfiltern

Kontinuierlich regenerierende Partikelfiltersysteme (CRT) sind weit verbreitet für die Nachbehandlung von Dieselabgas. Sie können aber bei tiefen Abgastemperaturen zu Problemen führen. Abhilfe schafft eine Entwicklung zur Notfallregeneration.

VON RAINER BUNGE UND ANDRÉ PFIFFNER

Geschlossene Partikelfilter halten über 97 Prozent (oft über 99,9%) der Russpartikel mit einer Grösse zwischen 20 und 300 nm aus Dieselmotoren zurück. Die Partikel sammeln sich im Filter an, wodurch sich dieser mit der Zeit füllt. Deshalb müssen Partikelfilter regeneriert werden: die im Filter angesammelten Russpartikel werden verbrannt.

Kontinuierlich regenerierende Partikelfiltersysteme (CRT) für Dieselmotoren sind weit verbreitet – insbesondere bei Bussen, aber auch bei LKW und Baumaschinen. CRT-Systeme bestehen aus einem Partikelfilter zur Abscheidung der Russpartikel und einem

Oxidationskatalysator, welcher dem Filter vorgeschaltet ist. Das Rohabgas überströmt zunächst den Oxidationskatalysator, wo das im Rohabgas enthaltene Stickstoffmonoxid (NO) mit dem Restsauerstoff im Abgas zu Stickstoffdioxid (NO₂) oxidiert wird. Dieses NO₂ dient im nachgeschalteten Partikelfilter als Oxidationsmittel zur kontinuierlichen Verbrennung der dort angesammelten Russpartikel (Regeneration). Hierbei wird das NO₂ teilweise wieder zu NO reduziert.

Das Problem

Das Problem bei handelsüblichen CRT-Systemen ist, dass die durchschnittliche Abgastemperatur über 250 °C liegen muss, damit das System zuverlässig funktioniert. Sind die Abgastemperaturen über einen längeren Zeitraum zu tief, wird am Oxidationskatalysator nur wenig NO₂ gebildet. Zudem ist die Russabbrandgeschwindigkeit am Partikelfilter bei tiefen Temperaturen klein. Dies führt dazu, dass sich der Partikelfilter mit der Zeit mit Russ zusetzt. Ist dies der Fall, muss der Filter ausgebaut und der Russ beispielsweise im Ofen abgebrannt werden. Das ist mit grossem Aufwand verbunden, und das Fahrzeug steht dem Betreiber während dieser Zeit nicht zu Verfügung.

Die Lösung

Für solche Störfälle wurde am Institut für Umwelt- und Verfahrenstechnik (Umtec) der Hochschule Rapperswil zusammen mit dem Forschungsfonds der Erdöl-Vereinigung (FEV) und der Bafu-Technologieförderung das Notfallregenerationssystem «Glycoat» entwickelt. Es handelt sich um ein Einspritzsystem von Glykol in den Abgasstrom (siehe Abb.1). Glykol wird durch eine exotherme Reaktion am Katalysator oxidiert (katalytische/flammlöse Verbrennung), wodurch sich das Abgas erwärmt. Glykol hat den Vorteil, dass es sich bereits bei Temperaturen von

170 °C mittels Oxidationskatalysator rückstandslos verbrennen lässt.

Bei normalen Betriebsbedingungen findet die Regeneration kontinuierlich mit NO₂ statt. Wird das Fahrzeug allerdings bei ungewöhnlich tiefen Lastzuständen betrieben und produziert deshalb zu tiefe Abgastemperaturen für die kontinuierliche Regeneration, wird die Glycolinjektion ausgelöst. Hierzu erfasst die Regelung des Glycoat den Abgasgedruck, ein Indiz dafür, dass sich der Filter mit Russ zu beladen beginnt. Sobald dieser Abgasgedruck über einen definierten Schwellenwert ansteigt, wird Glykol ins Abgas eingedüst. Durch die Verbrennung des Glykols am Katalysator werden das Abgas und der Partikelfilter soweit aufgeheizt, dass der Russ am Filter abbrennt. So kann während des Betriebs eine Notfallregeneration durchgeführt werden, ohne dass das Fahrzeug ausser Betrieb genommen werden muss.

Zündtemperaturen untersucht

Auf dem Motorenprüfstand des Umtec wurden die Zündtemperaturen verschiedener flüssiger Brennstoffe (Diesel, Alkohole, Ketone, Aldehyde) an einem handelsüblichen CRT-System untersucht. Dafür wurden verschiedene Abgastemperaturen angefahren und daraus eine Kennlinie für den jeweiligen Brennstoff erstellt. So wurde untersucht, ab welchen Abgastemperaturen die verschiedenen Brennstoffe durch den Katalysator oxidiert werden (Anspringtemperatur) und wie viel des eingedüsten Brennstoffes wirklich verbrannt wurde. Die Versuche haben gezeigt, dass chemisch ähnliche Stoffe eine sehr unterschiedliche Eignung zur katalytischen Verbrennung aufweisen. Grundsätzlich zeigten vor allem Alkohole, insbesondere gewisse Glykole, eine Anspringtemperatur von 40 °C weniger als diejenige von Diesel.

Grundsätzlich wäre der Einsatz von Diesel als Brennstoff naheliegend und

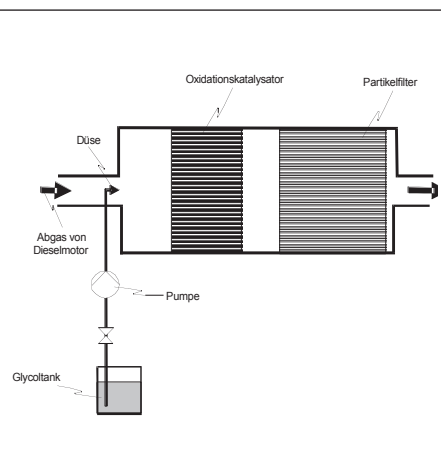


Abb. 1: Funktionsprinzip der Abgas-erwärmung mittels Glycoat.

Prof. Rainer Bunge

Institutsleiter, Institut für Umwelt- und Verfahrenstechnik (Umtec), Hochschule für Technik, Rapperswil.

André Pfiffner

Maschinening. FH, Projektleiter, Institut für Umwelt- und Verfahrenstechnik (Umtec), Hochschule für Technik Rapperswil (HSR).

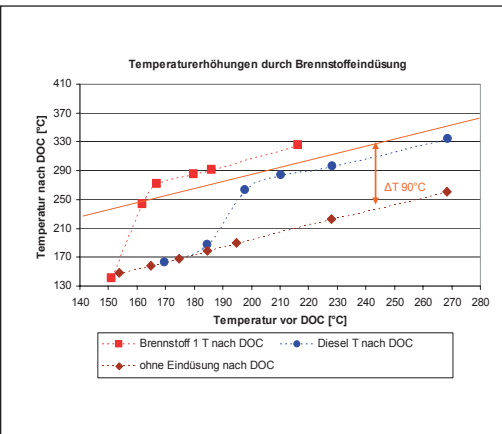


Abb. 2: Anspringtemperatur mit dem Testkatalysator.

wünschenswert gewesen, da dieser bereits im Tank auf dem Fahrzeug vorhanden ist. Für die Notfallregeneration wurde aber ein Brennstoff gesucht, der bereits bei tiefen Abgastemperaturen katalytisch verbrennt. Ausser einer hohen Anspringtemperatur hat Diesel den Nachteil, dass für seine katalytische Verbrennung eine feine Vernebelung mittels Zweistoffdüse oder eine Vorverdampfung notwendig ist. Weiterer Nachteil des Diesels ist, dass die Düse, mit der Diesel in das Abgas eingeleitet wird, zur Verstopfung (durch Verkokung) neigt.

Versuche mit Testkatalysatoren

Nebst unterschiedlichen Anspringtemperaturen unterscheiden sich die Brennstoffe auch darin, wie weit die Abgastemperatur vor dem Oxidationskatalysator noch erhöht werden musste, um die angestrebte Temperaturerhöhung von 90 °C zu erreichen. Die Menge der eingedüsten Brennstoffe war so bemessen, dass eine Temperaturerhöhung um 90 °C einer vollständigen Verbrennung entsprach. Einige Brennstoffe erreichen diese Temperaturerhöhung sofort. Bei anderen Brennstoffen musste die Abgastemperatur vor dem Oxidationskatalysator um rund 100 °C erhöht werden. Unvollständig umgesetzter Brennstoff würde als «Wolke» aus dem Abgasrohr emittiert, was unerwünscht ist.

Anhand der Versuche wurden zwei Brennstoffe gefunden, die sich als besonders geeignet für die katalytische Verbrennung erwiesen. Diese Brennstoffe wurden, wiederum im Vergleich mit Diesel, auf weiteren Katalysatoren getestet, die der Projektpartner speziell für diese Versuche hergestellt hat. Dabei wurde ein Katalysator gefunden, bei dem die Anspringtemperaturen um 150 °C lagen (Diesel: 190 °C), und bei rund 165 °C wurden bereits konstante Temperaturerhöhungen (voll-

ständiger Umsatz des eingedüsten Brennstoffes) erreicht (siehe Abb. 2). Um zu sehen, ob durch die Brennstoffeindüsung nicht zusätzlich Emissionen von Kohlenwasserstoffen (HC) auftreten, wurden die HC-Emissionen mit einem FID gemessen. Auch hier zeigte sich wieder ein deutlicher Vorteil der verwendeten Brennstoffe gegenüber Diesel. Während beim Einsatz von Diesel hohe HC-Emissionen gemessen wurden, waren beim Eindüsen von Glykol die HC-Emissionen nicht höher als ohne Brennstoffeindüsung (siehe Abb. 3).

Regenerationsversuche

Mit einem optimierten Partikelfiltersystem des Projektpartners wurden Notfallregenerationen durchgeführt (siehe Abb. 4). Die Katalysatoren dieser Systeme wiesen, wie beschrieben, mit Glykol sehr tiefe Anspringtemperaturen auf. Der Partikelfilter wurde bei einer Abgastemperatur von 180 °C vor dem Katalysator mit Russ beladen, bis ein Gegendruck von 120 mbar erreicht wurde. Danach wurde Glykol eingedüst, um eine Temperatur von 500 °C zu erreichen. Durch die Temperaturerhöhung (Zunahme des Volumenstroms) stieg gleichzeitig der Gegendruck des Partikelfilters vorübergehend an. Nach wenigen Minuten erreichte der Gegendruck ein Maximum von etwa 140 mbar. Daraufhin setzte der Russabbrand ein und der Gegendruck begann zu sinken. Die Eindüsung des Glykols wurde nach 30 Minuten gestoppt. In dieser Zeit wurde der Abgasgegendruck auf das «Normalniveau» von etwa 40 mbar reduziert.

Vom Labor in den Markt

Der Glycoat ist als kostengünstiger Nachrüstsatz eines bestehenden CRT-Systems für solche Anwendungen gedacht, in denen gelegentlich über längere Zeit Abgastemperaturen unterhalb 250 °C auftreten. Der Nachrüstsatz besteht aus Druck- und Temperatursensoren, einem kleinen Glykoltank und einer Dosierpumpe, welche durch eine einfache Regelung betrieben wird. Der Glykol wird durch ein Röhrchen in das Abgasrohr eingedüst. Eine sehr feine Vernebelung der Flüssigkeit mittels Zweistoffdüse oder Vorverdampfer, wie sie für Diesel benötigt wird, ist nicht erforderlich.

Nach den erfolgreichen Versuchen auf dem Prüfstand wird das Glycoat-System nun unter Realbedingungen getestet. Hierzu wird ein Kleintransporter eines Industriepartners mit einem Glycoat-System nachgerüstet. ●

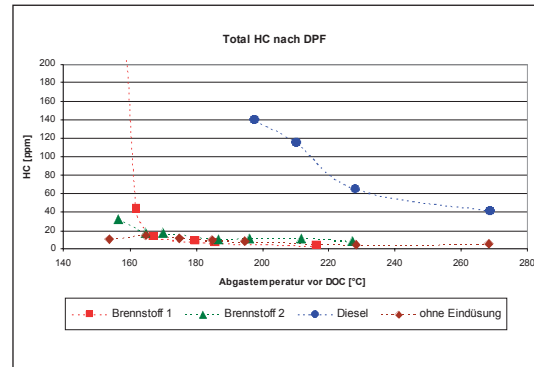


Abb. 3: Beim Eindüsen von Glykol waren die Kohlenwasserstoff-Emissionen nicht höher als ohne Brennstoffeindüsung; hohe HC-Emissionen wurden dagegen beim Einsatz von Diesel gemessen.

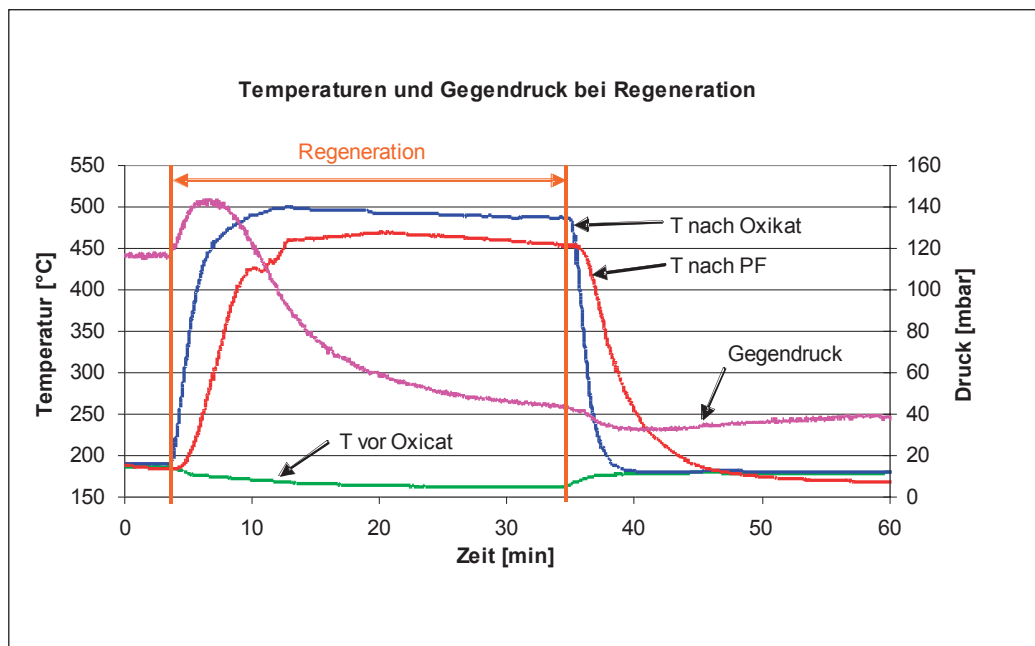


Abb. 4: Notfallregeneration mit Glykol bei einer Abgastemperatur unter 180 °C.