

Verstopfung von Dieselpartikelfiltern

Bei heutigen Dieselfahrzeugen gehört ein geschlossener Dieselpartikelfilter (DPF) zur Serienausstattung (**Bild 1**). Unter normalen Betriebsbedingungen und bei einwandfrei funktionierendem Motor merkt der Fahrer nichts von dem Aufwand der betrieben wird um die schädlichen Abgase während eines Fahrzeuglebens nachzubehandeln. Moderne Rußpartikelfiltersysteme erreichen eine Reduktion der Rußpartikelemissionen von bis zu 98 % (**Bild 2**).

Bild Audi

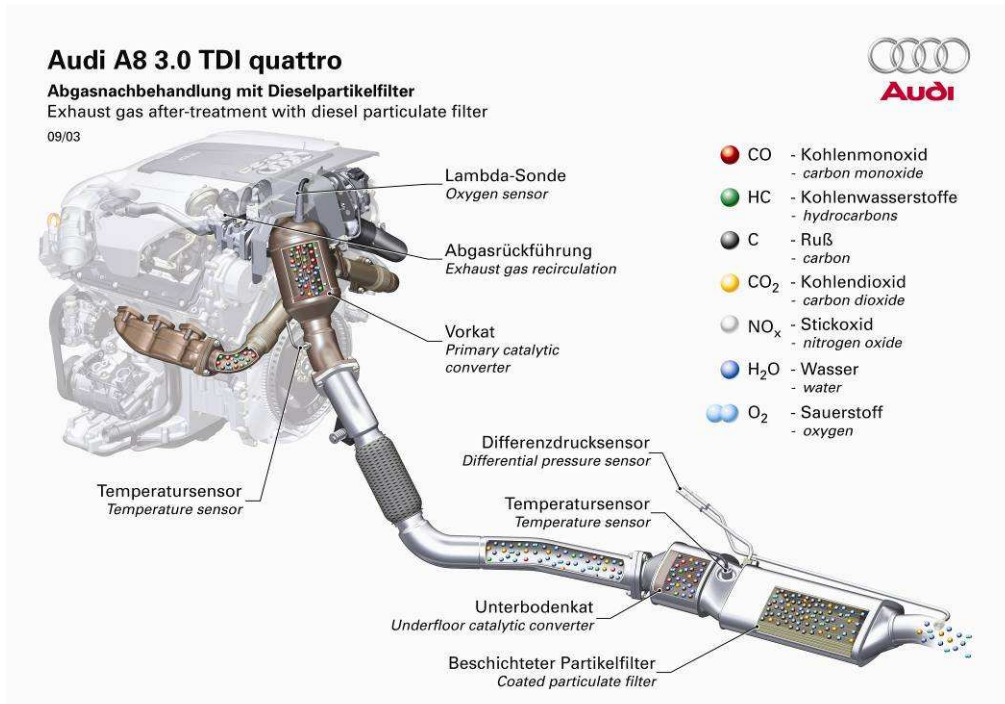


Bild 1 Abgasnachbehandlung mit Dieselpartikelfilter und vorgeschalteten Oxidationskatalysatoren.

Bild Decoster

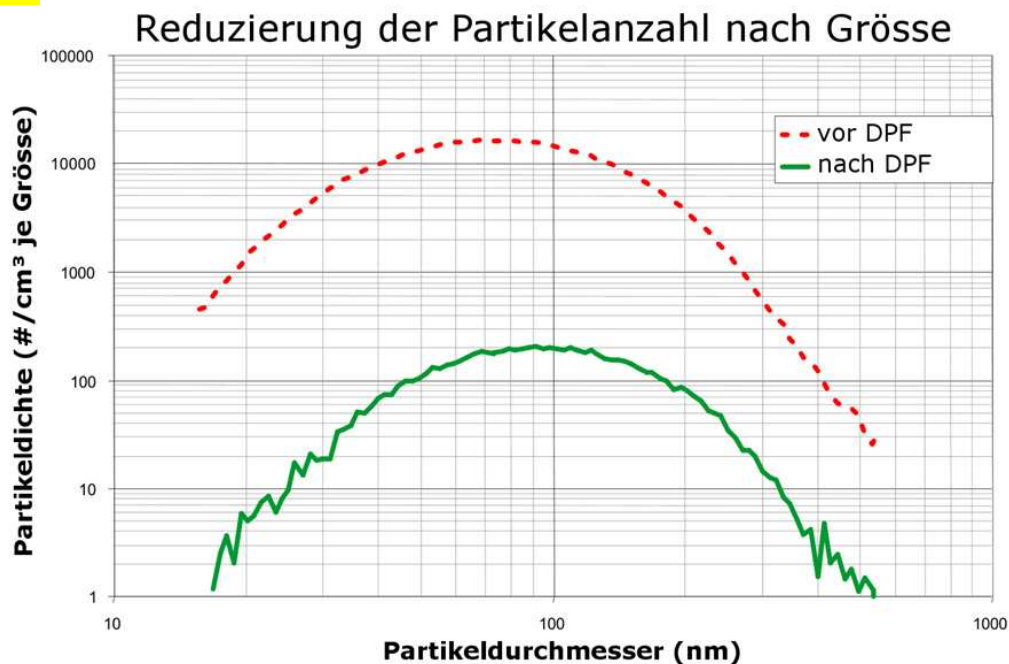


Bild 2 Der Einsatz eines Rußpartikelfilters kann die gesamte Rußpartikelemission um über 98% verringern.

Partikelfiltersystem

Der Partikelfilter besitzt eine wabenförmige Struktur mit vielen quadratischen Kanälen, die gegenseitig verschlossen sind. Sämtliche Abgase und die Rußteilchen durchfließen dabei die aus Siliziumcarbid bestehenden porösen Zwischenwände. Zudem sind die einzelnen Kanäle gegenseitig versetzt und einseitig verschlossen. Während die gasförmigen Schadstoffe, wie z.B. CO oder HC den Filter auf Grund ihrer geringen Größe problemlos passieren, werden Feststoffe wie die wesentlich größeren Rußpartikel aufgehalten. Je mehr Teilchen sich ansammeln, desto mehr verstärkt sich die Filterwirkung der Wände (**Bild 3**).

Bild Audi



Bild 3 Am aufgeschnittenen Rußpartikelfilter kann man die Kanäle im Filter sehen, die vorne und hinten mit Keramikstopfen gegenseitig versetzt verschlossen sind. Abgase und Partikel müssen zwangsläufig durch die porösen Zwischenwände. Dabei werden die Rußteilchen dort festgehalten. Die anderen Abgasbestandteile bewegen sich weiter in Richtung Endschalldämpfer.

Regeneration

Im Rußpartikelfilter werden die im Abgas enthaltenen Partikel eingelagert. Die Rußbeladungskapazität des Partikelfilters ist jedoch begrenzt, sodass dieser in regelmäßigen Abständen nach einem im Motorsteuergerät festgelegten Programm regeneriert werden muss. Auch wird der Staudruck im Partikelfilter ständig überwacht um den Regenerationsmodus einzuleiten wenn der Staudruck einen bestimmten Wert erreicht (**Bild 4**). Der beispielsweise durch einen Differenzdrucksensor gemessene Druckabfall über den Partikelfilter ist ein Indikator für die Rußbeladung des Partikelfilters (**Bild 5**). Die Regeneration erfolgt somit in Abhängigkeit von der vorhanden Rußbehandlung selbstständig nach einer Fahrtstrecke zwischen 300 und 1000 km. Durch die Regenerierung wird der angesammelte Ruß verbrannt und der Abgasgegendruck sinkt wieder.

Hinweise: Der Differenzdruck sollte in der freien Beschleunigung Werte von 0,3 bar nicht überschreiten. Überschreitet der Differenzdruck ständig 800 mBar (maximaler Abgasgegendruck des Motors) ist der Partikelfilter verstopft. Bei Fahrzeugen der Marke BMW und Fiat wird nicht der Differenzdruck am Partikelfilter, sondern der Druck vor dem Partikelfilter gegen den Umgebungsdruck gemessen.

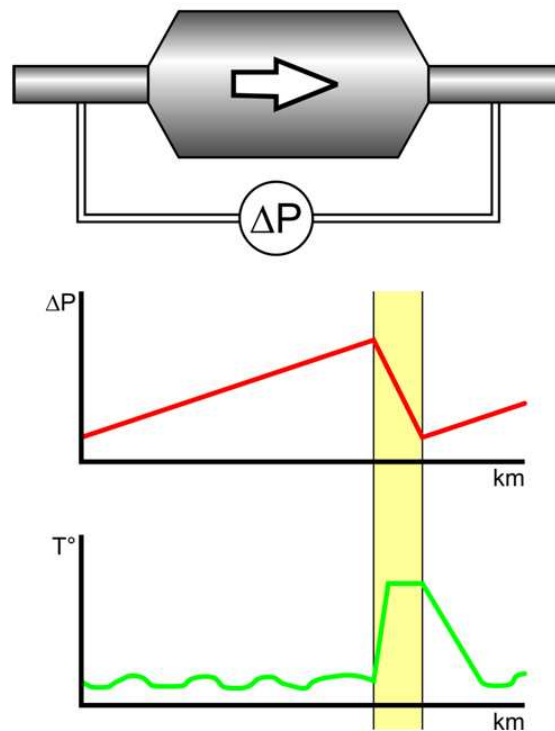


Bild 4 Nach einer gewissen Einsatzzeit enthält der Rußpartikelfilter mehr und mehr Partikel und der Abgasgegendruck steigt. Beim Erreichen eines festgelegten Wertes wird die Regeneration eingeleitet und die Verbrennung der im Filter festgehaltenen Rußpartikel wird provoziert.

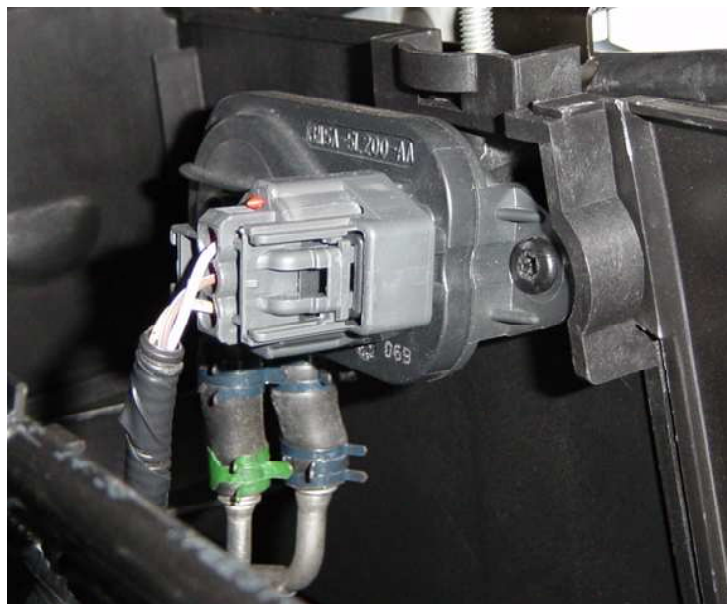


Bild 5 Der Differenzdruck-Sensor ermittelt über jeweils eine Leitung vor und hinter dem Partikelfilter den aktuellen Druck im Abgasstrom. Die Messwerte werden vom Differenzdruck-Sensor in ein Spannungssignal umgewandelt und dem Motorsteuergerät gemeldet.

Ein verstopfter Rußpartikelfilter ist ein Problem für den Turbolader, da die Abgase nicht frei durchströmen können, wodurch die Temperatur auf der Auslassseite des Turboladers ansteigt (**Bild 6**). Dies führt zu Veränderungen der Motorölviskosität und hat dadurch Auswirkungen auf die Schmierung und Kühlung des Turboladers. Es häufen sich verbrannte Motorölreste im Lagergehäuse des Turboladers an, die zur Verstopfung führen, wodurch die Läuferwelle nach einer gewissen Zeit festläuft.



Bild 6 + 7 Der Rußpartikelfilter links im Bild ist deutlich verstopft, durch den hohen Abgasgegendruck steigt die Abgastemperatur was Auswirkungen auf die Schmierung des Turboladers hat. Das rechte Bild zeigt einen gereinigten Partikelfilter.

Werden die modernen Dieselfahrzeuge ausschließlich für kurze Innerortsstrecken benutzt, setzt sich schon nach wenigen hundert Kilometern der Filter mit Ruß zu. Bereits nach rund 200 Kilometern reinen Stadtverkehrs setzt sich der Filter zu. Abhilfe schafft dann beispielsweise eine längere Fahrt auf freier Strecke, bei der die Abgastemperatur wenigstens 500 °C erreicht und die Rußschicht auf der Filteroberfläche verbrennt.

Regenerationsprozess

Je nach Filtersystem läuft die vom Motormanagement eingeleitete Regenerierung auf unterschiedliche Weise ab. Bei Selbstzündern aus dem französischen PSA-Konzern (Peugeot/Citroen), die auch bei Modellreihen von Ford, Mazda, Volvo, ... zu finden sind, wird dem Dieselkraftstoff nach jeder Betankung aus einem separaten Behälter eine bestimmte Menge Additiv zugesetzt. Die genaue Dosierung des Kraftstoffadditivs erfolgt über ein Kraftstoffadditivsteuergerät. Durch die Beimengung des Additivs sinkt die Abbrenntemperatur des Rußes von 550 °C auf 450 °C, eine Temperatur, die bereits bei normalen Fahrten erreicht werden kann. Falls nicht, erfolgt über das Motormanagement eine kurzfristige Anhebung der Abgastemperatur durch Verschiebung des Einspritzpunktes, Nacheinspritzung, schließen des AGR-Ventils und einem Ladeluftkühlerbypass (**Bild 8**) wodurch der Ruß durch die höhere Abgastemperatur verbrannt wird.

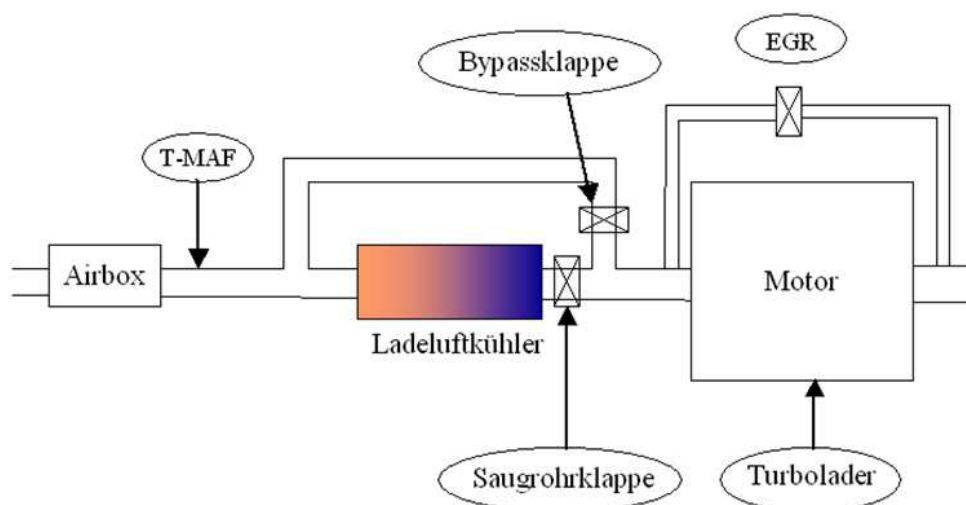


Bild 8 Durch den Ladeluftkühlerbypass wird die Ansauglufttemperatur konstant gehalten. Die Bypass- und Saugrohrklappe regulieren während der Regeneration, wie viel Ansaugluft durch den Ladeluftkühler geführt wird.

Nach einer Laufleistung von 60.000 km muss bei diesem additivgestütztem System das Kraftstoffadditiv (auf Cerium basierte Flüssigkeit) nachgefüllt werden hinzu kommt, dass je nach Modell zwischen 120.000 km und 180.000 km ein Austausch des Partikelfilters vorgesehen ist, da die Additive nicht regenerierbare Feststoffe im Partikelfilter hinterlassen. Werden diese Anweisungen nicht beachtet, kann dies zu einem oder mehreren der folgenden Probleme führen:

- Starke Rußansammlung, was zu hohen Temperaturen bei der Regeneration des DPF und in der Folge zu der Gefahr führt, dass die untere Motorabdeckung und die umgebenden Kunststoffteile schmelzen.
- Starke Verdünnung des Motoröls (Kraftstoff im Öl), was zu Beschädigungen der Lager im Motor und der Gefahr einer überhöhten Motordrehzahl führt.

Vorwiegend deutsche Dieselhersteller bevorzugen die wartungsfreie Variante ohne Additiv. Dabei wird die Abbrandtemperatur durch innermotorische Maßnahmen wie Nacheinspritzung, Spätverschiebung der Haupteinspritzung oder Drosselung der Ansaugluft erzielt. Die Nacheinspritzung bringt den Oxidationskatalysator auf die nötige Betriebstemperatur. Sobald der Abgastemperatur-Sensor hinter dem Katalysator meldet, dass der Katalysator seine Betriebstemperatur erreicht hat, erfolgt die Nacheinspritzung so spät (oder es erfolgt eine zweite Nacheinspritzung), wodurch der Kraftstoff nicht im Zylinder sondern im Katalysator verbrennt und somit den Partikelfilter auf Zündtemperatur bringt. Die Rußpartikel verbrennen zu Kohlendioxid, dabei kann es zu einer verstärkten Rauchentwicklung kommen. Hierbei handelt es sich aber hauptsächlich um Wasserdampf. Nach etwa zehn Minuten ist der Regenerierungsprozess beendet. Da die späte Nacheinspritzung den Schmierfilm an der Zylinderwand abwaschen kann, gehen einige Hersteller dazu über einen zusätzlichen Injektor bzw. ein Kraftstoffverdampfer vor dem Oxidationskatalysator anzuordnen, der über eine Vorförderpumpe mit Kraftstoff versorgt wird und mit Beginn des Regenerationsprozesses vom Motorsteuergerät angesteuert wird. Durch den Einsatz eines Kraftstoffverdampfers können bei der aktiven Regeneration die stark ölverdünnenden Nacheinspritzungen weitgehend reduziert werden (**Bild 9**).

Hinweis: Wird der Motormanagement eingeleitete Regenerationsprozess durch Fahrtende abgebrochen dreht der Kühlerlüfter nach Abstellen des Motors noch einige Zeit mit höherer Geschwindigkeit weiter.

Bild Ford

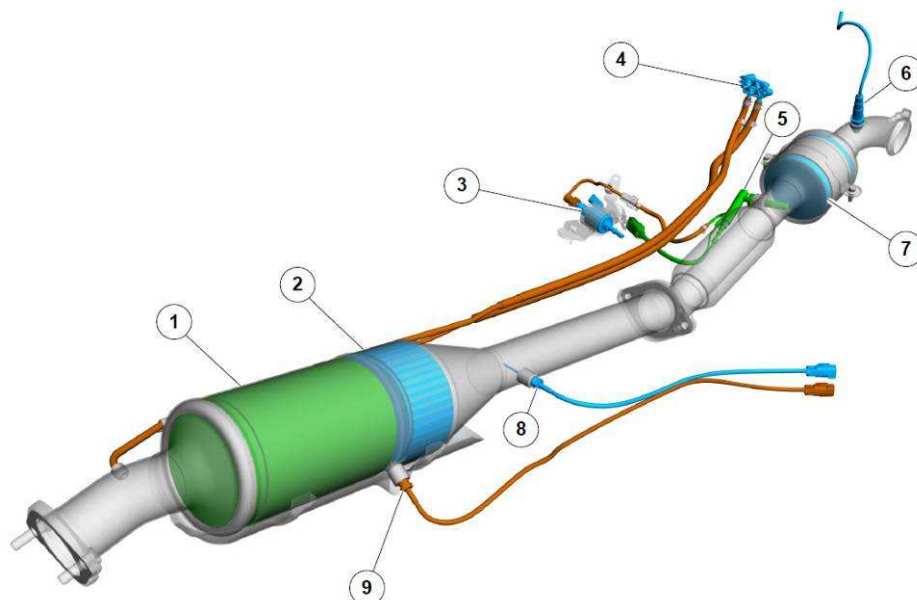


Bild 9 Übersicht eines Dieselpartikelfilters mit Kraftstoffverdampfer. Der Kraftstoff für die Nacheinspritzung wird bei diesem System in das Auspuffrohr eingespritzt. 1 = Dieselpartikelfilter, 2 = Oxidationskatalysator – DPF, 3 = Kraftstoffpumpe – Kraftstoffverdampfersystem, 4 = Differenzdruck-Sensor – DPF, 5 = Kraftstoffverdampfer, 6 = Breitband-Lambda-Sonde, 7 = Oxidationskatalysator, 8 = Abgastemperatur-Sensor – Oxidationskatalysator – DPF, 9 = Abgastemperatur-Sensor – DPF.

Verstopfter Dieselpartikelfilter

Verstopfte Partikelfilter können im ausschließlichen Kurzstreckenverkehr bei beiden Systemen auftreten wobei die mit Additiv etwas weniger anfällig sind. Das Verstopfen des Rußpartikelfilters ist häufig das Resultat übermäßiger Rußbildung des Motors (z.B. durch klemmendes EGR-Ventil, undichtes Ladeluftsystem etc.) oder kann mehreren fehlgeschlagenen Regenerationszyklen zugeschrieben werden.

Ist die aktive Regeneration wegen dauerndem Kurzstreckenbetrieb nicht möglich, warnt bei manchen Herstellern eine Warnleuchte im Kombiinstrument um auf eine Verstopfung des Filters hinzuweisen. Das Motorsteuergerät nimmt in diesem Fall die Motorleistung zurück. Manche Hersteller empfehlen dann in der Betriebsanleitung eine Regenerationsfahrt. Bei Audi soll der Fahrer etwa 15 Minuten im vierten Gang mit mindestens 60 Stundenkilometer schnell fahren. Die Drehzahl sollte dabei 2000 Umdrehungen pro Minute betragen. Eine weitere Möglichkeit den Partikelfilter freizubrennen besteht darin, dass die Werkstatt über den Diagnosetester in der Lage ist eine statische Regeneration durchzuführen (**Bild 10**). Durch das entsprechende Freibrennprogramm wird der Motor einige Minuten lang mit 4000 1/min betrieben.

Hinweis: Bei der statischen Regeneration treten erhöhte Temperaturen aus dem Auspuffendrohr auf (ca. 500 °C). Normale Abgasschläuche sind diesen Temperaturen nicht gewachsen. Sicherstellen, dass das Fahrzeug nicht vor entflammaren oder wenig hitzebeständigen Materialien abgestellt ist.

Bild Decoster

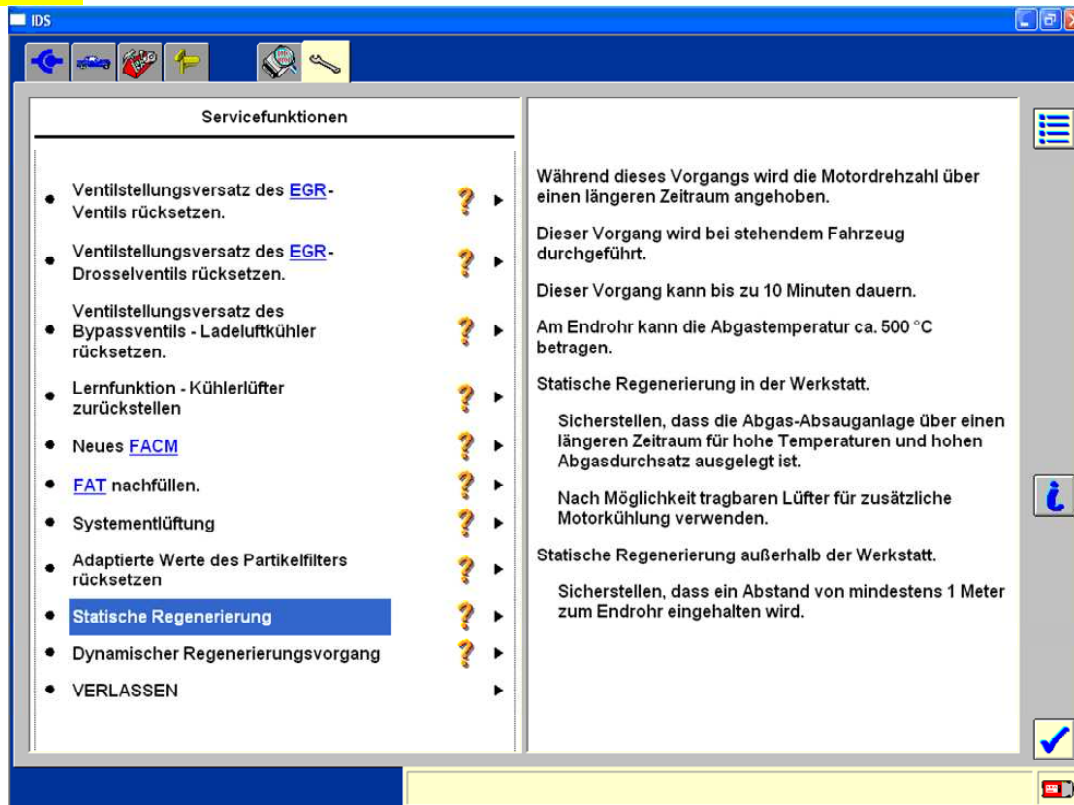


Bild 10 Die statische Regeneration wird bei stehendem Fahrzeug durchgeführt und dauert etwa 10 Minuten.

Problemlösung für verstopfte Dieselpartikelfilter

Sollte sich der Partikelfilter nicht mehr Freibrennen lassen gibt es mittlerweile von der Firma TUNAP Wolfratshausen eine Reinigungslösung. Die Reinigungslösung wird direkt durch vorhandene Öffnungen auf den Partikelfilter gesprüht und löst dort den festgesetzten Ruß (**Bild 11**). Anschließend kann dieser im Rahmen des manuell gestarteten Regenerationsprogramms im Fahrzeug abgebrannt werden. (Weitere Informationen unter <http://www.tunap.com>)



Bild 11 Der neue Reiniger für verstopfte Dieselpartikelfilter von TUNAP wird direkt in den Partikelfilter gesprüht. Dort löst er den Ruß, der anschließend umweltfreundlich verbrannt wird.

Die Firma Büchli in den Niederlanden hat eine Methode entwickelt um verstopfte Partikelfilter innerhalb von 24 Stunden wieder zu reinigen. Diesel Büchli zerlegt den Partikelfilter und begutachtet das Filterelement, sind keine Verschmelzungen vorhanden wird das Filterelement in einem Ofen bei 700 °C behandelt. (Weitere Informationen unter <http://www.buchli.nl>)

Fehlersuche

Das Partikelfiltersystem wird von der Eigendiagnose des Motormanagement überwacht und informiert den Fahrer bei Funktionsstörungen über eine Warnleuchte oder eine Textmeldung im Fahrerinformationssystem. Auch das Auslesen der Parameter liefert viele Informationen über das Partikelfiltersystem. So kann beispielsweise die durchgeführte aktive Regeneration anhand des Parameters mit der Bezeichnung "Zurückgelegte Wegstrecke nach letzter erfolgreicher Regeneration" im Messwertaufnehmer geprüft werden. Wenn die Fahrstrecke seit der letzten erfolgreichen Regeneration gleich 0 ist, wurde die Regeneration mit Erfolg abgeschlossen (**Bilder 12, 13 + 14**).

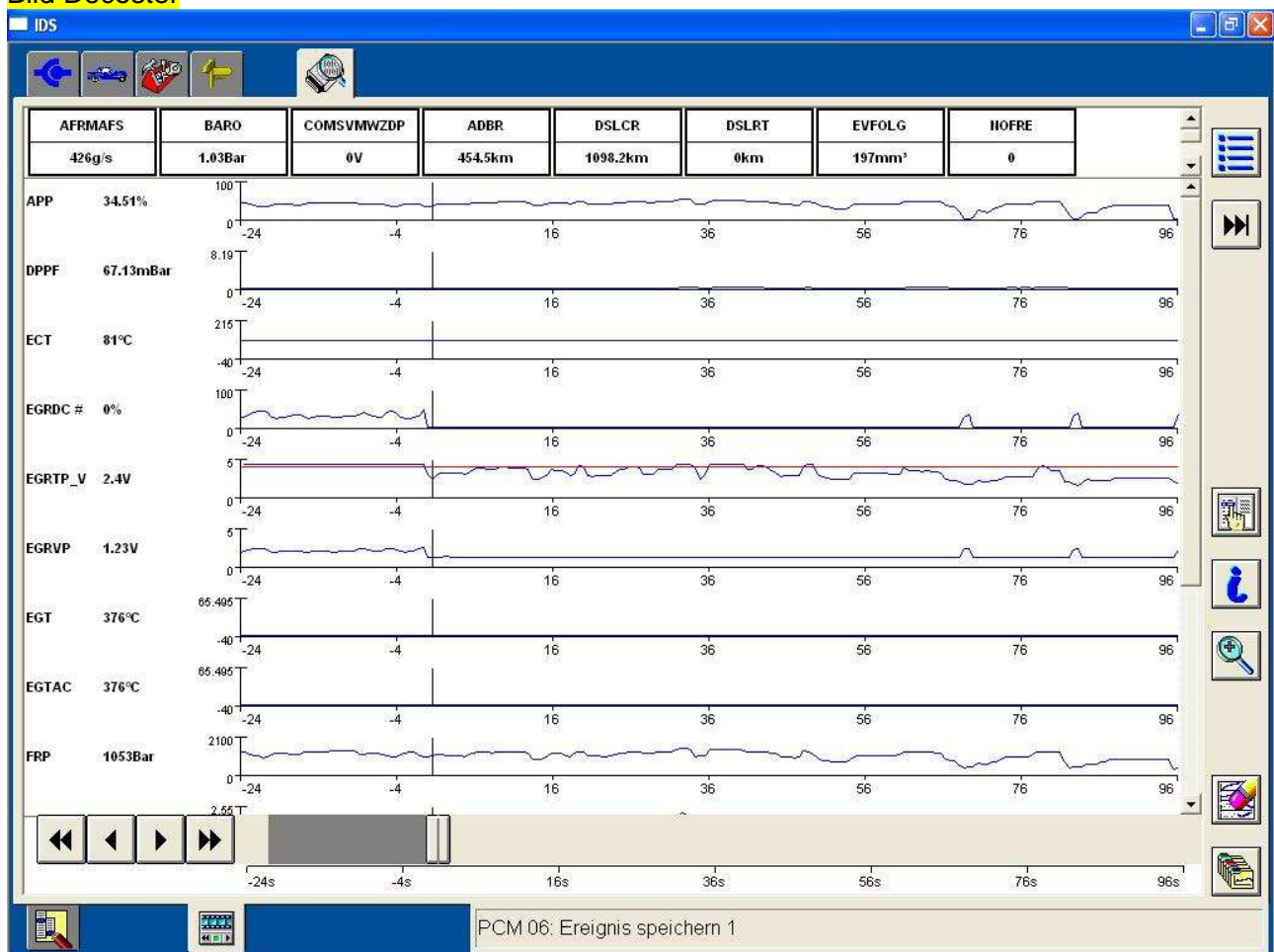


Bild 12 Bei dieser Aufzeichnung kann man deutlich erkennen, dass die aktive Regeneration eingeleitet wurde. Der Parameter „DSLRT“ (Entfernung seit letztem Regenerationsversuch) zeigt Null Kilometer an und das AGR-Ventil (EGRDC) wird nicht mehr angesteuert.

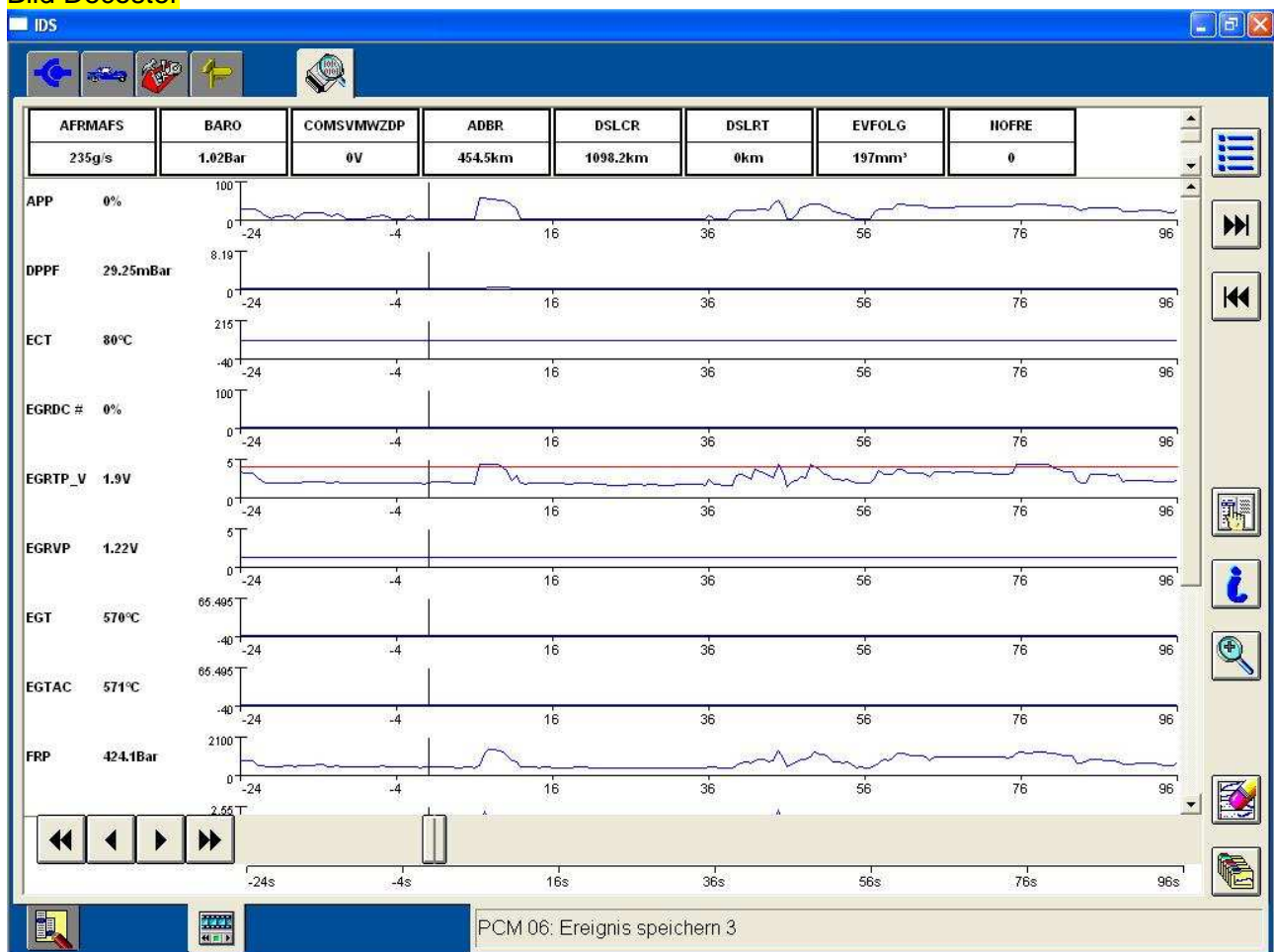


Bild 13 Bei dieser Aufnahme kann man gegenüber Bild 12 sehen, dass die Abgastemperatur (EGT = Abgastemperatur vor Katalysator und EGTAC = Abgastemperatur nach Katalysator) stark angestiegen ist. Ebenso kann man beobachten, dass der Abgasgegendruck sinkt (DPPF = Differenzdruck vom Partikelfilter).

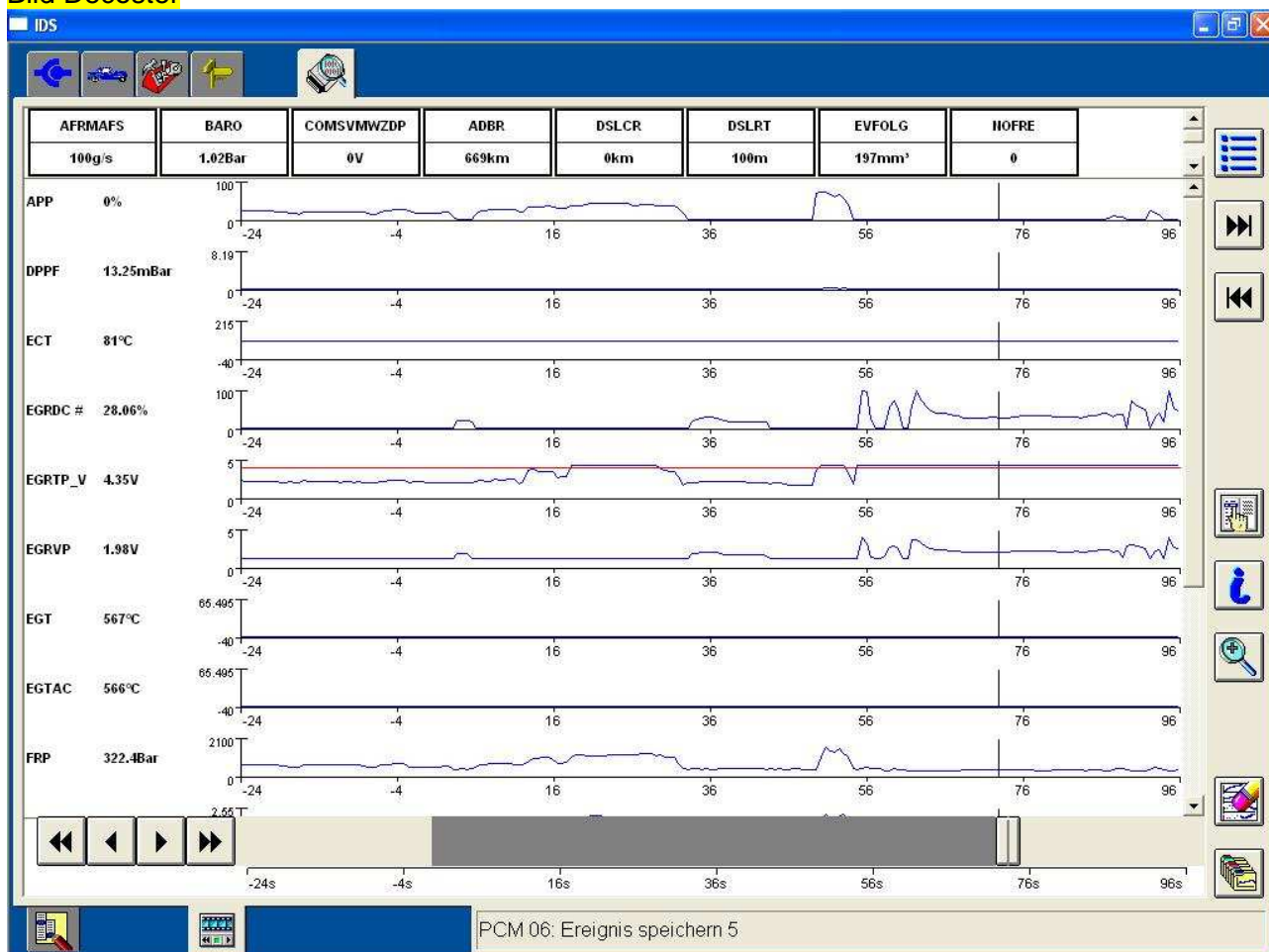


Bild 14 In dieser Aufzeichnung kann man erkennen, dass die aktive Regeneration beendet wurde „DSLRT“ zeigt 100 Meter an und das AGR-Ventil wird wieder angesteuert. Auch fällt auf, dass die Abgastemperatur sinkt. Weitere interessante Messwerte sind: ADBR = Durchschnittsentfernung zwischen Regenerationen, DSLCR = Entfernung seit letzter Regeneration, EVFOLG = Geschätzte Kraftstoffmenge Leichtöl, NOFRE = Anzahl fehlgeschlagener Regenerationsversuche.

Nach Austausch des Partikelfilters oder auffüllen des Additivtanks, müssen Adaptionswerte im Motorsteuergerät zurückgesetzt werden (Bild 10).

Fazit: Nach dem aktuellen Stand der Technik sind Dieselfahrzeuge für ständige Kurzstreckenfahrten von nur wenigen Kilometern schlicht untauglich! Deshalb kommt den Verkaufsberatern in den Autohäuser eine besondere Aufgabe zu, sie müssen Dieseld Käufer nach ihren Fahrgewohnheiten befragen und kompetent beraten.

KASTEN

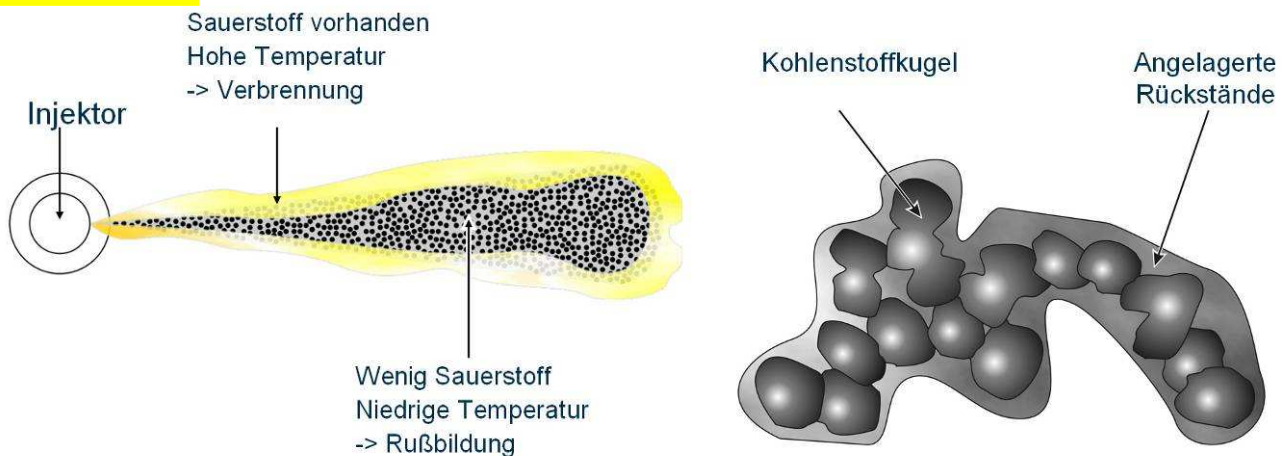
Rußpartikel

Unter bestimmten Betriebsbedingungen des Motors (beispielsweise Kaltstart, Last oder beim Beschleunigen) verbrennt der größte Anteil des Kraftstoffs als Diffusionsflamme. Dabei ist lokaler Sauerstoffmangel im Brennraum unvermeidlich. Dadurch verbrennt der Kraftstoff unvollständig und es kommt zu verstärkter Rußpartikelbildung.

Die mikroskopisch kleinen Rußteilchen bestehen aus winzigen Kohlenstoffkugeln, die einen Durchmesser von nur etwa 50 Nanometer (0,00005 mm) haben. An diesen Kügelchen lagern sich die aus Kraft- und Schmierstoff stammenden Kohlenwasserstoffe sowie Wasser und Sulfate an, wodurch die Größe zum Teil deutlich zunimmt und sich die Formgebung ändert.

Partikel die kleiner als 0,0025 mm sind (zum Vergleich ein Haar ist rund 0,07 mm dick), werden beim Menschen nicht mehr über Nase und Bronchen gefiltert, sondern können über die Atemwege bis tief in die Lunge gelangen und stellen dort besonders bei Kindern und anfälligen Personen eine Gesundheitsgefährdung dar. Rußpartikel können Allergien und Krebs auslösen. Dies gilt speziell für die sogenannten Feinstpartikel mit einer Größe zwischen 100 und 1000 Nanometern.

Bilder Decoster



Ein Teil des eingespritzten Kraftstoffes wandelt sich immer in Ruß bevor er verbrannt wird. Sind die Verbrennungsumstände ungünstig, wird ein Teil des Rußes nicht verbrannt und im Auspuff ausgestoßen.