

Dieselpartikelfilter: Abgasnachbehandlung zur Verringerung von Rußemissionen



Autoren:

Guido Schöffner

Konstruktion Abgasnachbehandlung

Klaus Rusch

Konstruktion Abgasnachbehandlung

Dr. Daniel Chatterjee

Vorentwicklung Abgasnachbehandlung

Dr. Günter Zitzler

Thermodynamik und Aufladesysteme

Das Abgas eines Dieselmotors kann mit Dieselpartikelfiltern (DPF) weitgehend von Rußpartikeln (PM) gesäubert werden. Damit können sehr strenge Emissionsrichtlinien erfüllt werden. Unabhängig vom Emissionsgrenzwert kommt der Dieselpartikelfilter dem Wunsch von Betreibern entgegen, die Wert auf äußerst niedrigen Rußausstoß legen.

Weniger Ruß dank Dieselpartikelfilter

Die Emissionsvorschriften für Dieselmotoren werden weltweit immer strenger. Das macht Anpassungen an den Antrieben erforderlich. Dabei strebt MTU grundsätzlich an, den Schadstoffausstoß durch innermotorische Maßnahmen zu verringern. Je nach Höhe der Grenzwerte kann dadurch oftmals auf einen Dieselpartikelfilter verzichtet werden. Allerdings sind Rußpartikel- und Stickoxidbildung bei der innermotorischen Reduzierung aneinander gekoppelt – werden bei der Verbrennung weniger

Partikel erzeugt, steigt die Stickoxidgehalt und umgekehrt. Bei sehr strengen Emissionsanforderungen ist daher ein zusätzlicher Dieselpartikelfilter notwendig. Er entfernt 90 Prozent und mehr der Rußpartikel aus dem Abgas.

Eine sehr strikte Emissionsvorgabe tritt beispielsweise im Jahr 2012 für Diesellokomotiven in Europa in Kraft. Die Norm EU Stage IIIB verringert den zulässigen Partikelaußstoß von derzeit 0,2 g/kWh um beinahe 90 Prozent auf 0,025 g/kWh. Um diese Werte zu erreichen,

rüstet MTU den neuen Motor der Baureihe 4000 für Bahnanwendungen mit einem Partikelfilter aus; die Stickoxide werden im Gegenzug rein innermotorisch durch den Einsatz einer gekühlten, von MTU patentierten Spenderzylinder-Abgasrückführung von 6,0 g/kWh auf 3,5 g/kWh reduziert.

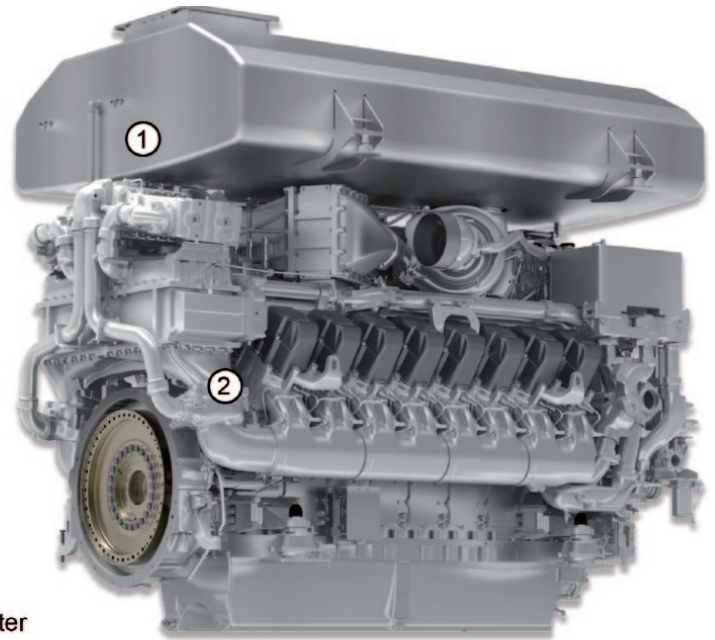
Aufgrund seiner umfassenden Reinigungswirkung kommt ein Partikelfilter auch Anwendern entgegen, die für ihren Antrieb – unabhängig von den Emissionsnormen – so niedrige Rußemissionen wie möglich wünschen. Beispiele hierfür sind luxuriöse Privatyachten oder Bahnanwendungen, bei denen Partikelfilter einen Rußausstoß vermeiden. Mit Einsatz des Filters können die Betreiber ihre gesellschaftliche und ökologische Verantwortung weit über das gesetzliche Maß hinaus dokumentieren.

Vorteile des MTU-Dieselpartikelfilters

MTU legt den Dieselpartikelfilter auf geringen Bauraumbedarf und lange Serviceintervalle aus. So lässt er sich sehr kompakt in das Antriebspackage integrieren (Abb.1). Durch eine Gesamtsystemoptimierung von Motor und Abgasnachbehandlung kann der Dieselpartikelfilter bei bestehenden Anwendungen oftmals im ohnehin vorhandenen Schalldämpferraum untergebracht werden, da er auch die Funktion des Schalldämpfers übernimmt. Kunden können damit einfacher auf die Motorversion für eine neue Emissionsnorm wechseln. Antriebe von MTU mit Dieselpartikelfilter haben bei deutlich geringeren Emissionen und gleicher Leistung keinen

Abb. 1: **Integration des Dieselpartikelfilters in das Motorkonzept**

MTU legt den Dieselpartikelfilter auf geringen Bauraumbedarf aus, so lässt er sich sehr kompakt in das Antriebspackage integrieren, hier am Beispiel des neuen Bahnmotors der Baureihe 4000 für die Emissionsstufe EU IIIB.



- ① Dieselpartikelfilter
- ② Bahnmotor 16V 4000 RX4

höheren Kraftstoffverbrauch. Die Wartungsintervalle von Motor und Filter sind aufeinander abgestimmt, so dass eine maximale Verfügbarkeit der Anwendung gewährleistet ist. Dieselpartikelfilter von MTU sind dauerläuferprobt

Serienlösungen, die über die gesamte Bandbreite der Motorspezifikation sicher funktionieren, bei extremem Höhenbetrieb genauso wie in der Ebene, bei Kälte wie bei Hitze. Das hat entscheidende Vorteile beispielsweise für Leasinggesellschaften, die ihre Anwendungen mit MTU-Motoren flexibel einsetzen können.

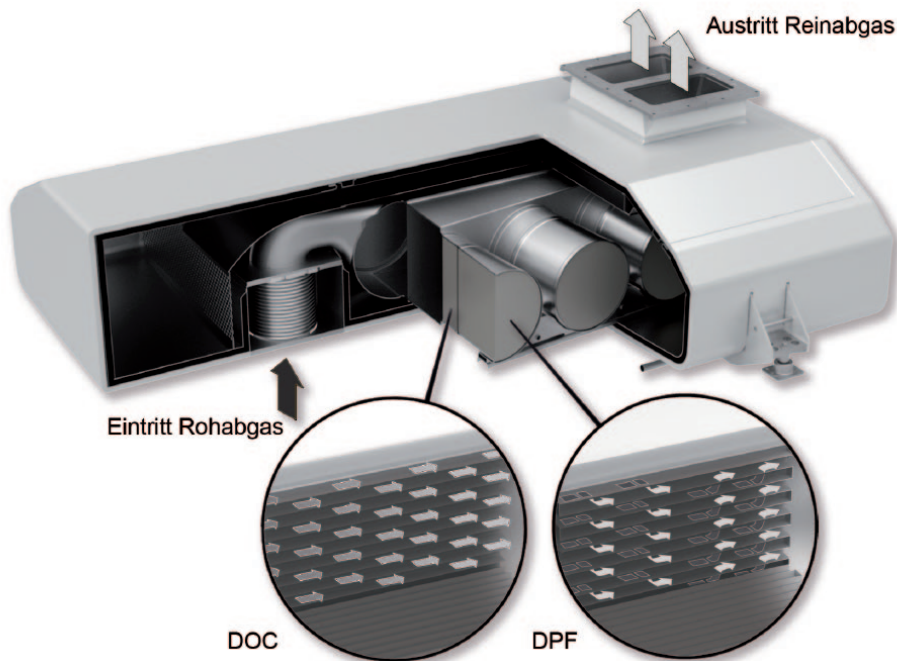
Funktionsweise des Dieselpartikelfilters

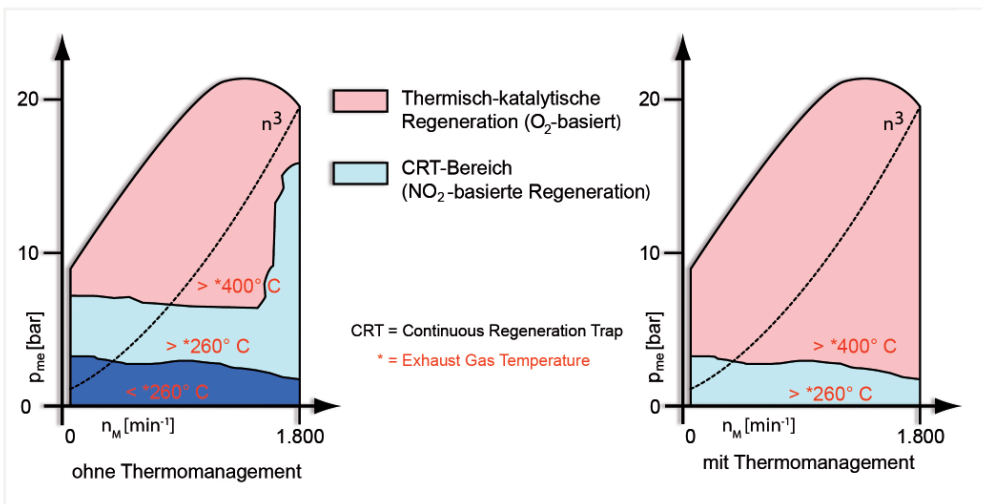
Ein Dieselpartikelfilter reinigt das Abgas von Rußpartikeln, die während der Verbrennung im Motor entstehen (Abb. 2). Dazu wird das Abgas durch eine feinporige Keramikstruktur im Inneren des Filters geleitet, das so genannte Substrat. Die Rußpartikel werden an den Wänden der Kanäle abgeschieden, während das gesäuberte Abgas diese durchströmt. MTU setzt bevorzugt einen passiv regenerierenden Dieselpartikelfilter ein, der den so genannten CRT-Effekt (Continuous Regeneration Trap) nutzt und kontinuierlich regeneriert. Bei dieser Technik reichen die Abgastemperaturen des Motors bei normalen Betriebszuständen für den kontinuierlichen Rußabbau im Dieselpartikelfilter aus. Nur bei besonderen klimatischen Bedingungen oder ununterbrochenem Niedriglastbetrieb muss die Regeneration durch Thermomanagement unterstützt werden.

Das MTU-eigene Motormanagement in der ECU (Engine Control Unit) berechnet dazu den aktuellen Beladungszustand des Dieselpartikelfilters anhand einer Sensorik, die die Druckdifferenz

Abb. 2: **Funktionskizze der Partikelfiltration**

Der Dieselpartikelfilter reinigt das Abgas von Rußpartikeln, die während der Verbrennung im Motor entstehen.





über die DPF-Substrate erfasst. Falls erforderlich, wird durch innermotorisches Thermomanagement die Abgastemperatur und damit der Rußabbrand kurzzeitig deutlich erhöht (Abb. 3). Abhängig vom jeweiligen Betriebspunkt kommen dazu eine Reduzierung des Verbrennungsluftverhältnisses, ein späterer Einspritzbeginn der Haupteinspritzung sowie eine optionale Nacheinspritzung zum Einsatz.

Bei speziellen Anwendungen, zum Beispiel im Schiffsbereich, kann jedoch wegen der schlechteren Kraftstoffqualität kein CRT-System installiert werden. Hier kommt die aktive Regeneration zum Einsatz. Dabei wird in diesem Fall

die notwendige Energie durch einen Brenner im Abgas bereitgestellt.

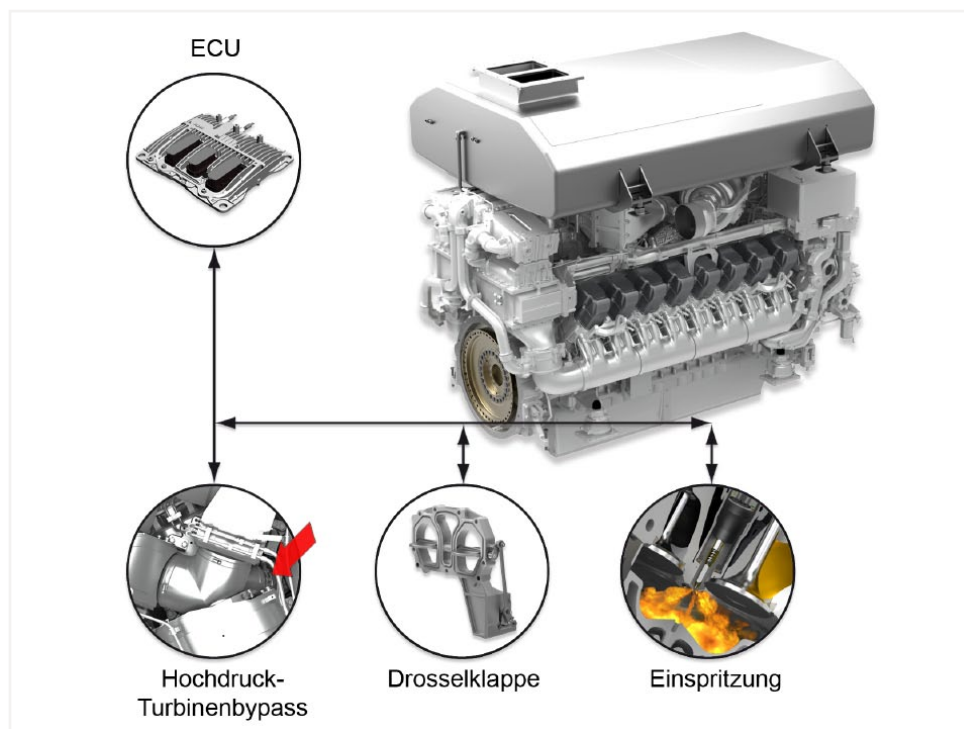
Entwicklung bei MTU

MTU fokussiert sich bei der Entwicklung von Dieselpartikelfiltern auf das Gesamtsystem Motor und Abgasnachbehandlung als eine Einheit. Alle Parameter des Filters wie Filtermaterial, Filtervolumen oder Filterform werden für jeden Motor und für jede Anwendung individuell adaptiert. Mithilfe moderner Simulationen werden beispielsweise die Durchströmung des Abgases durch den Filter, die Beladung der Keramik mit Partikeln und die Regeneration optimiert. Das Ergebnis ist ein sehr

kompakter Filter mit hohem Wirkungsgrad und langer Lebensdauer.

Einbindung in das Emissionskonzept

MTU stimmt das gesamte Emissionskonzept des Motors – innermotorische Optimierung durch Aufladung, Einspritzung und Abgasrückführung (AGR) sowie gegebenenfalls SCR-Katalysator (selective catalytic reduction, kurz: SCR) zur Stickoxidreduzierung – optimal auf den Partikelfilter ab (Abb. 4). Trotz Dieselpartikelfilter wird die Verbrennung auf geringe Partikel-Rohemissionen ausgelegt, um den Einsatz eines kraftstoffsparenden, passiv regenerierenden Dieselpartikelfilters zu ermöglichen.



Damit die Reaktionen, die dem CRT-Effekt zur Partikelfilterregeneration zugrunde liegen, kontinuierlich im Abgastrakt ablaufen, passt MTU die Abgasbedingungen des Motors entsprechend an. Bei der Auslegung der Aufladung des Motors ist dabei auf eine hohe Abgasgedrueckfähigkeit ohne erheblichen Mehrverbrauch zu achten.

Zusammenfassung

Partikelfilter von MTU reduzieren die Rußemissionen um 90 Prozent und mehr. Damit lassen sich auch sehr strenge Umweltrichtlinien für Dieselantriebe erfüllen. MTU passt das gesamte Emissionskonzept der Motoren an den Dieselpartikelfilter an. Dazu wird das Zusammenspiel der anderen Schlüsseltechnologien Aufladung, Einspritzung, Elektronik sowie gegebenenfalls SCR-Katalysator mit dem Dieselpartikelfilter optimiert. Im Vergleich zu Versionen ohne Abgasnachbehandlungssystem verbrauchen die Motoren daher nicht mehr Kraftstoff und haben eine ebenso hohe Leistung bei deutlich geringeren Emissionen. Auch für Betreiber, die – unabhängig von der Emissionsnorm – einen Rußausstoß durch ihre Anwendung vermeiden wollen, ist ein Dieselpartikelfilter die richtige Lösung.

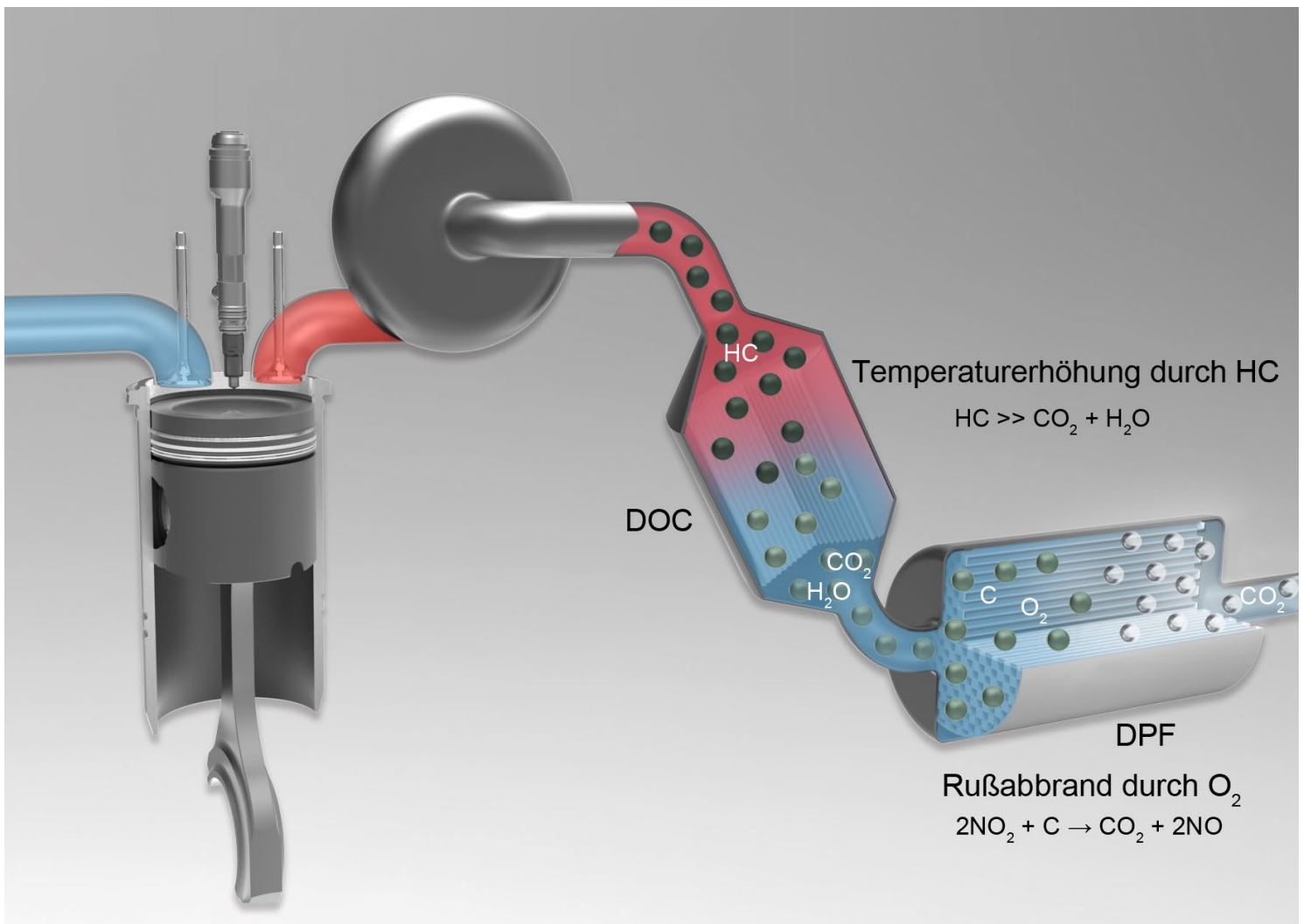
Abb. 4: Anpassung des gesamten Motor-Emissionskonzeptes auf den Dieselpartikelfilter
Für eine optimale Abstimmung wird das Zusammenspiel der anderen Schlüsseltechnologien Aufladung, Einspritzung, Elektronik sowie gegebenenfalls SCR-Katalysator mit dem Dieselpartikelfilter optimiert.

Glossar

Aktive Regeneration

Läuft ein Motor oft unter sehr geringer Belastung, kann die Abgastemperatur so weit abfallen, dass eine kontinuierliche Regeneration nicht mehr vollständig gewährleistet ist. Um unter solchen Betriebsbedingungen die Überladung des Dieselpartikelfilters zu vermeiden, muss kurzfristig zusätzliche Wärmeenergie in das Abgas eingebracht werden. Das kann zum Beispiel mit einer oder mehreren späten Nacheinspritzung(en) von Kraftstoff in den Brennraum oder einer nachmotorischen Kraftstoffeinspritzung direkt in

das Abgas erfolgen. Dieser Kraftstoff verbrennt dann vollständig am Oxidationskatalysator des Motors. Dabei wird so viel Wärme freigesetzt, dass die Abgastemperatur im Partikelfilter auf über 550 Grad Celsius steigt. Auch der Einsatz eines Brenners ist möglich. Dadurch oxidiert der eingelagerte Dieselruß mit dem im Abgas vorhandenen, überschüssigen Sauerstoff. Eine aktive Regeneration des Partikelfilters kommt hauptsächlich bei Pkw und Nutzfahrzeugen mit höheren spezifischen Rußbelastungen zum Einsatz.



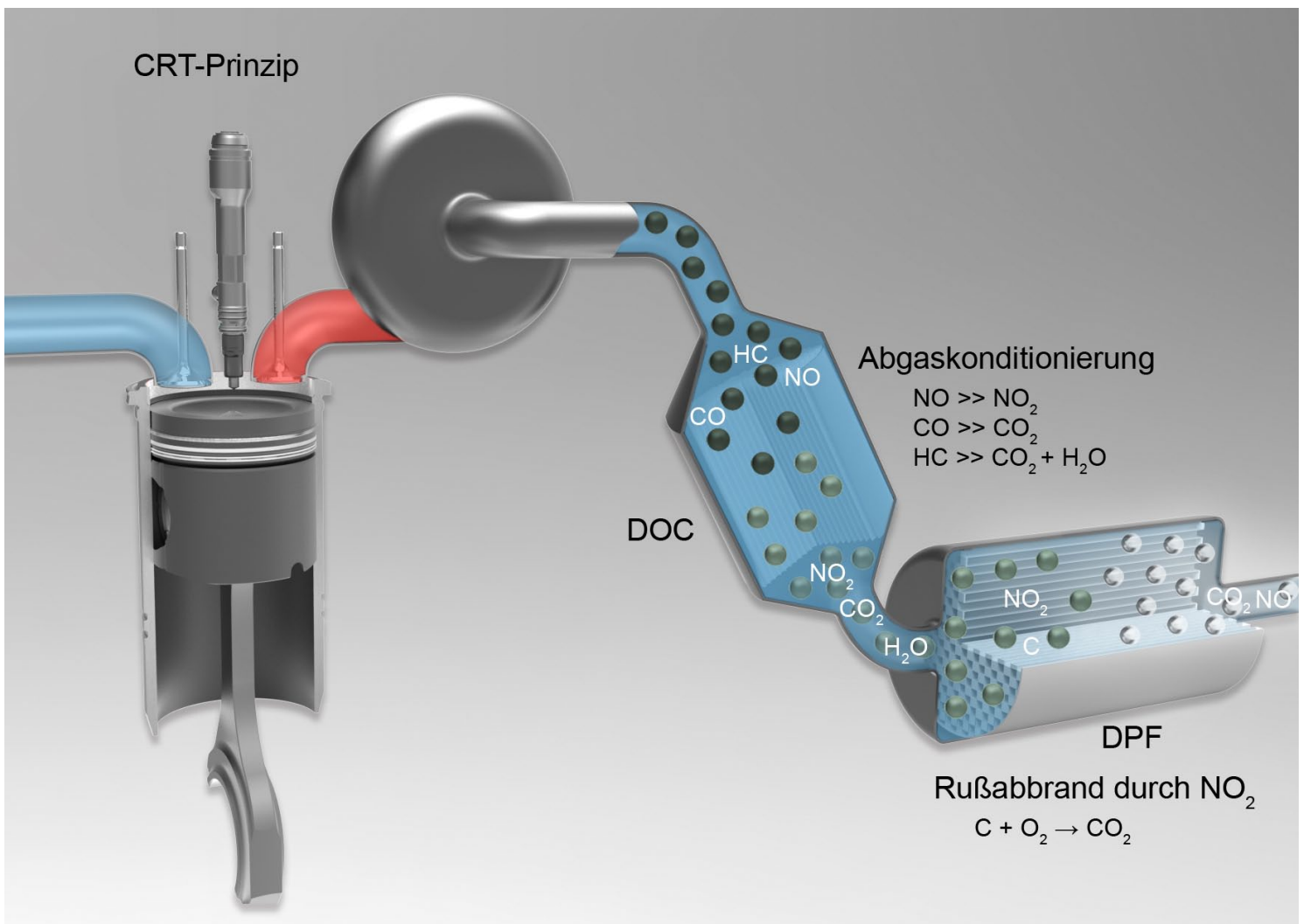
C	Kohlenstoff	DOC	Dieseloxydationskatalysator
CO_2	Kohlenstoffdioxid	DPF	Dieselpartikelfilter
H_2O	Wasser		
HC	Kohlenwasserstoff		
O_2	Sauerstoff		

Glossar

Passive Regeneration/CRT-Effekt (Continuous Regeneration Trap)

MTU nutzt den CRT-Effekt zur Regeneration des Dieselpartikelfilters. Er basiert auf chemischen Reaktionen, die im Abgasmachbehandlungssystem des Motors ablaufen. Zunächst wird am Oxidationskatalysator Stickstoffdioxid (NO_2) aus dem Stickstoffmonoxid (NO) im Abgas gewonnen. Im Dieselpartikelfilter kehrt sich der Vorgang um, wobei der im Dieselpartikel-

filter eingelagerte Ruß kontinuierlich abgebrannt wird. Daher der Name „Continuous Regeneration Trap“ (CRT), also ein sich kontinuierlich regenerierender Filter. Dieser Effekt wird auch als passive Regeneration bezeichnet. Im Gegensatz zur aktiven Regeneration benötigt die Reaktion keine zusätzliche Energie.

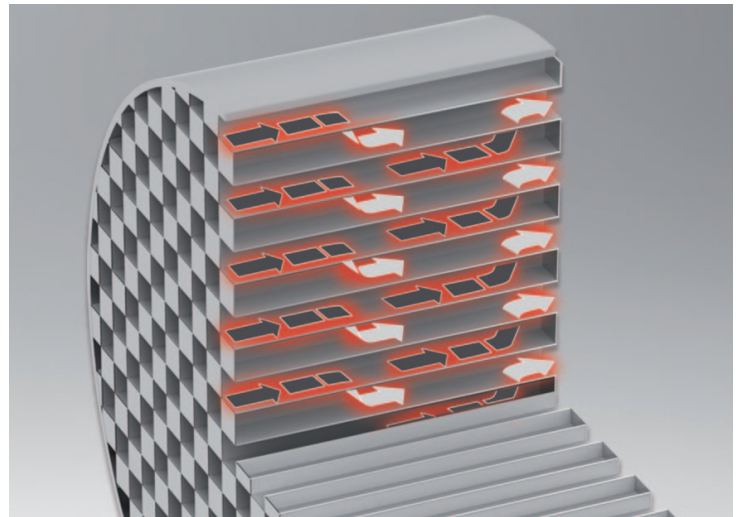


C	Kohlenstoff	DOC	Dieseloxydationskatalysator
CO	Kohlenmonoxid	DPF	Dieselpartikelfilter
CO ₂	Kohlendioxid		
H ₂ O	Wasser		
HC	Kohlenwasserstoff		
NO	Stickstoffmonoxid		
NO ₂	Stickstoffdioxid		

Glossar

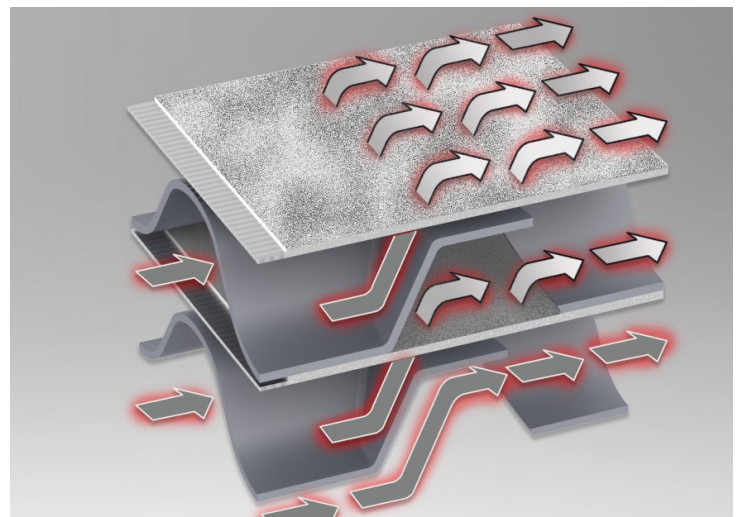
Geschlossener Dieselpartikelfilter

Bei einem geschlossenen Dieselpartikelfilter wird der gesamte Abgasstrom durch die feinporigen Keramikwände des Filterelements geleitet. Damit sind sehr hohe Partikelreduktionsraten von über 90 Prozent möglich. Allerdings muss die Filterregeneration in den verschiedensten Einsatzfällen des Motors gewährleistet sein, um eine Überladung zu vermeiden. Ein dadurch bedingter hoher Abgasgegendruck würde zu einem Mehrverbrauch des Antriebs und schlimmstenfalls zu Schäden am Motor und Filter führen. Bei der Entwicklung des Systems hat die Einbindung der Thermomanagementmaßnahmen des Motors daher besonderen Stellenwert. Geschlossene Partikelfiltersysteme können sowohl mit passiver als auch aktiver Regeneration kombiniert werden. MTU setzt einen geschlossenen Dieselpartikelfilter unter anderem im neuen Bahnmotor der Baureihe 4000 ein.



Offener Dieselpartikelfilter

Ein offener Dieselpartikelfilter ist präziser ausgedrückt ein Partikelabscheider. Die Abscheidewirkung beruht auf einer starken Strömungsumlenkung des Abgases, bei der die Partikel teilweise abgeschieden werden. Dabei treten im Vergleich zu geschlossenen Dieselpartikelfiltern ähnliche, teilweise sogar höhere Abgasgegendrucke auf. Ein offener Dieselpartikelfilter kann nicht verstopfen. Der Rückhaltegrad beträgt bei vergleichbarem Abgasdruck eines geschlossenen Dieselpartikelfilters jedoch lediglich 30 bis 40 Prozent.



MTU Friedrichshafen GmbH

A Rolls-Royce Power Systems Company

www.mtu-online.com

MTU is a brand of Rolls-Royce Power Systems AG. MTU high-speed engines and propulsion systems provide power for marine, rail, power generation, oil and gas, agriculture, mining, construction and industrial, and defense applications. The portfolio is comprised of diesel engines with up to 10,000 kilowatts (kW) power output, gas engines up to 2,150 kW and gas turbines up to 35,320 kW. MTU also offers customized electronic monitoring and control systems for its engines and propulsion systems.

August 2011



Power. Passion. Partnership.