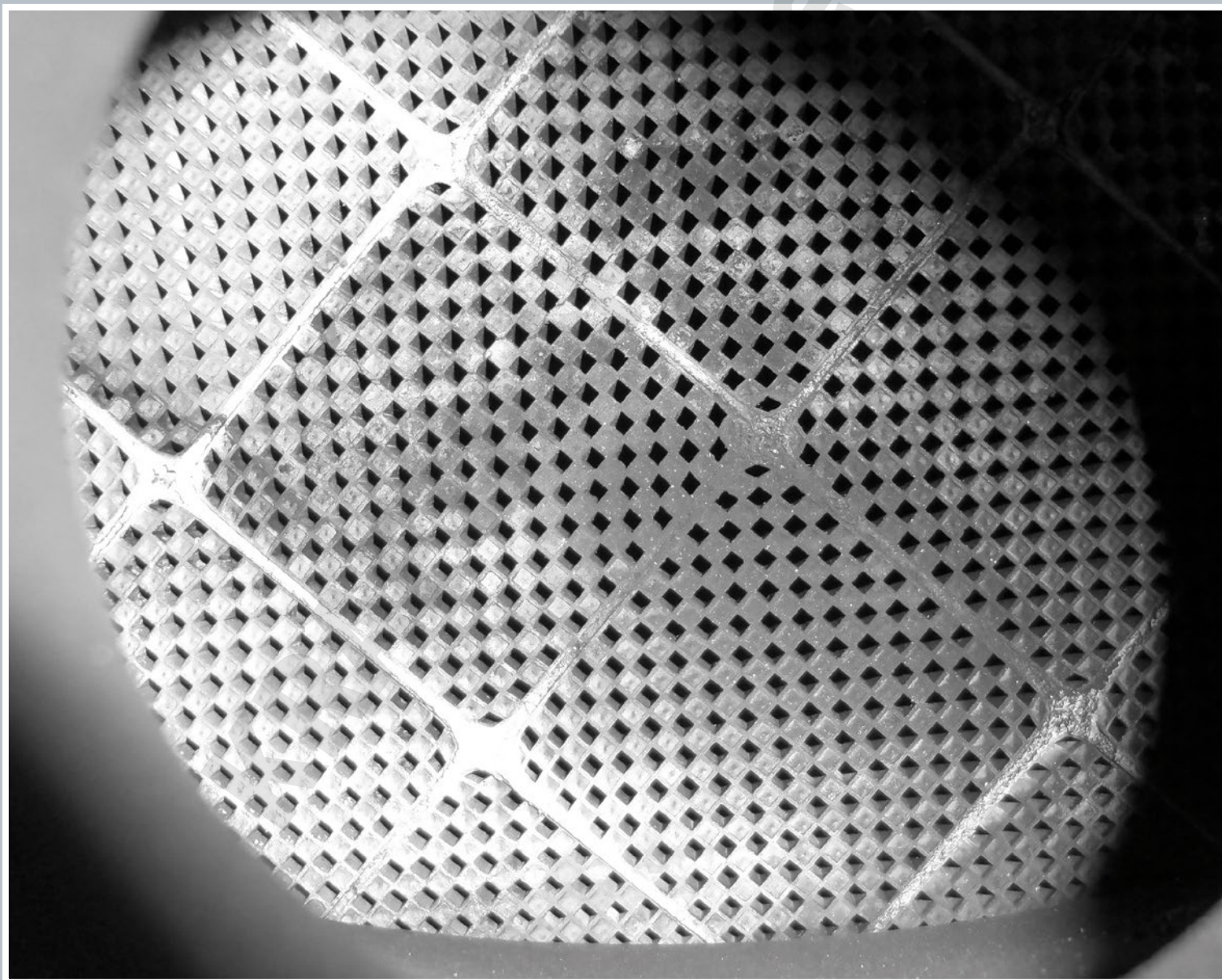


Partikelfilter

für Diesel- und Ottomotoren

Technik, Regeneration, Reinigung



Georg Blenk

Krafthand Medien GmbH

ISBN 978-3-87441-177-6

Text und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt.
Eine Verwertung ist ohne Einwilligung des Verlages unzulässig.

© Krafthand Medien GmbH

Partikelfilter für Diesel- und Ottomotoren

Technik, Regeneration, Reinigung

von
Georg Blenk

Band 23

aus der Reihe
KRAFTHAND-Praxiswissen

Krafthand Medien GmbH
Bad Wörishofen



Inhalt

Vorwort	4
1. Gesetzliche Rahmenbedingungen	5
1.1 Die Messung der Rußpartikelanzahl	8
2. Das Funktionsprinzip eines Dieselpartikelfilters	11
2.2 Seitenblick: Der Differenzdrucksensor	13
2.3 Beispiel: Der DPF des 2-l-Euro-6-Motors von VW	16
3. Sieben Fakten zum Dieselpartikelfilter	20
4. Die Regeneration von Dieselpartikelfiltern	24
4.1 Unterschiedliche Regenerationsmodi	24
5. Reinigen statt tauschen	26
5.1 Reinigen bei beladenem Zustand mit Reinigungsflüssigkeit	26
5.2 Reinigung bei beladenem Zustand mit Schaum	27
5.3 Kraftstoff-Additiv zur DPF-Reinigung (präventiv)	28
5.4 Verschiedene Dienstleister – unterschiedliche Reinigungsmethoden	29
5.4.1 Barten: „Wir reinigen thermisch und mechanisch, ohne den DPF zu öffnen“	29
5.4.2 DPF24: „Wir setzen auf Kältetechnik am geöffneten Filter“	30
5.4.3 Kfz-Technik Stumpf: „Wir reinigen mit Wasser- und Luftdruck“	30
5.4.4 Oberland Mangold: ReNew-Filterservice auch für EURO-6-DPF geeignet	31
5.4.5 Irosoft-Cleantech: „Wir arbeiten kombiniert, mit verschiedenen Methoden“	32
5.4.6 DPF-Clean: „Wir erkennen auch Schäden auf der Keramik“	33
5.4.7 C3/DPF-Partner: „Wir verwenden ein spezielles Waschverfahren“	33
5.5 Der Einbau des DPF nach der Reinigung	34
6. Seitenblick: Rechtliches – Störung am DPF, Mangel oder Verschleiß?	36
7. Der Otto-Partikelfilter (OPF)	38
7.1 Die Reinigung eines Otto-Partikelfilters – notwendig und machbar?	40
8. Vorausschau	42

Vorwort

Der Abgasnachbehandlung, sowohl bei Diesel- als auch bei Ottomotoren, kommt eine zentrale Bedeutung zu. Mit der Einführung der neuen Abgasnormen Euro 6d-temp und Euro 6d gelten noch strengere Anforderungen, auch was die Rußpartikelemissionen angeht.

Dieselpartikelfilter (DPF) setzen sich mit der Zeit zu, die Temperaturen und der Regenerationszyklus reicht oft nicht mehr aus, um den Ruß optimal abzubrennen. Die Partikelfilter sind gesättigt und unbrauchbar. Häufige Kurzstreckenfahrten kommen hinzu. Eine Alternative zum kostspieligen Neukauf ist die Reinigung. Hier setzen die Anbieter auf verschiedene Ansätze.

Partikelfilter bei Benzin-Direkteinspritzmotoren kommen meist ohne Regeneration aus, die hohen Abgastemperaturen sorgen im Regelfall für die Verbrennung der feineren Rußpartikel. Doch auch Otto-Partikelfiltern (OPF) können sich unter gewissen Umständen zusetzen.

Um die Technik zu DPFs und OPFs zu verstehen, liefert die vorliegende Publikation aus der Reihe KRAFTHAND-Praxiswissen das nötige Grundlagenwissen. Dabei werden auch Filterkombinationen aus DPF und SCR-Katalysator betrachtet.

Zusätzlich stellen wir unterschiedliche Reinigungsstrategien vor und unterziehen sie einem Vergleich. Zahlreiche Anbieter kommen dabei zu Wort. Abgerundet wird die Publikation mit Tipps zum Einbau eines Partikelfilters sowie einem klärenden Kapitel rund um die Frage ‚Mangel oder Verschleiß?‘

An dieser Stelle auch herzlichen Dank an meine Kollegen Torsten Schmidt und Florian Zink für das Basismaterial.

Ich wünsche Ihnen viel Freude und Erkenntnisgewinn bei der Lektüre!



Georg Blenk
Dipl. Wirtschaftsingenieur
Ressortleiter Fachbuch/Corporate Publishing

Gesetzliche Rahmenbedingungen

1

1.1 Die Messung der Rußpartikelanzahl

Ab dem 01.01.2021 wird auch die Messung der Partikelanzahl (PN) bei Dieselmotoren im Rahmen der Abgasuntersuchung (AU) durch eine Messung am Abgasendrohr Pflicht. Sie ist Teil des bereits zum 01.01.2018 eingeführten Gesetzes zur Abgasprüfung (AU, Stufe 1) mittels Endrohrprüfung, zusätzlich zur reinen OBD-Prüfung. Bei der Endrohrprüfung wird bei Diesel-Pkw bisher der sogenannte Trübungswert (k-Wert) gemessen. Er liegt bei Fahrzeugen die vor dem 01.01.2006 zugelassen wurden bei $2,5 \text{ m}^{-1}$, bei Fahrzeugen mit Zulassungsdatum nach dem 01.01.2006 bei $1,5$ bis $2,5 \text{ m}^{-1}$ und bei Euro-6-Pkw (Stufe 2) bei $0,5$ bis $2,5 \text{ m}^{-1}$. Die Endrohrprüfung mit der Messung des k-Werts wird also um die Messung der Partikelmasse (Stufe 3) erweitert.



Bild 4

Die Idee, die Rußpartikelemission im Rahmen der AU zu messen, ist schon vor gut einem Jahrzehnt entstanden, jedoch zunächst gescheitert. Im Unterschied zu heute ging es bei den damals entwickelten Messmodulen um das Ermitteln der Partikelmasse und nicht der Partikelanzahl.

Bild: Torsten Schmidt

Das Messgerät

Nun benötigt man für die Partikelmessung eine geeignetes Mess- und Prüfgerät. Wenn man so will erweitert dieser Umstand das lange währende Drama um die AU und die Hürden für Kfz-Betriebe (nach der Thematik um die geeignete Prüfgerätesoftware sowie der Kalibrier- und Akkreditierungspflicht für AU-Geräte) weiter. Ungewöhnlich ist (Stand Januar 2020), dass sich zum Zeitpunkt der Erscheinung der vorliegenden Publikation noch gar nicht sagen lässt, was genau auf Prüforganisationen, Werkstätten und Kunden zukommt. Seitens des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) heißt es, dass das Messverfahren, die zulässigen, nationalen Grenzwerte und eine dann erforderliche Änderung der AU-Richtlinie rechtzeitig bekannt gegeben werden. Das Problem: Bis Januar 2021 ist es nicht mehr lange hin, aber verbindliche Regelungen und Grenzwerte fehlen bis dato (Redaktionsschluss 20.02.2020). Sollten in Kürze Messverfahren und Spezifikationen bekannt gegeben werden, ist damit zu rechnen, dass entsprechende Geräte oder zusätzliche Prüfmodule relativ zeitnah verfügbar sind. Sämtliche namhafte Anbieter arbeiten bereits daran. Nichtsdestotrotz müssen zuerst Tests, Kalibrierungen, Baumusterprüfungen und letztendlich die Prüfung auf Serienreife erfolgen. Im Übrigen: Mit der Einführung der Abgasnorm Euro 5b im Rahmen der Typgenehmigung, ist eine maximale Partikelanzahl in Höhe von $6 \cdot 10^{11}$ (600 Milliarden Partikel/km) bei Dieselmotoren bereits EU-weit definiert worden. Dies bedeutet, dass man frühestens für diese Fahrzeuge eine Messung der Partikelanzahl einführen könnte. Bei allen anderen Fahrzeugen muss die Messung des Trübungswerts (k-Wert) mit den üblichen Opazimetern ausreichen.

Die Messung

Die eigentliche Messung soll sich einfach gestalten: Der Kfz-Profi muss für wenige Sekunden die Drehzahl auf 2.000/min erhöhen und nach einer kurzen Beruhigungsphase von 30 Sekunden im Leerlauf drei gleichwertige Messungen mit jeweils 60 Sekunden ausführen. Der Mittelwert aus diesen drei Messungen ergibt den finalen Partikelwert.

Für die Partikelmessung haben sich derweil zwei Technologien etabliert.

Die sogenannte Condensation-Particle-Counting-Technologie (CPC) und das Diffusion-Charging-Verfahren (DC). Bei der CPC-Methode werden die Partikelteilchen in einer gesättigten Umgebung (mit einer Verdampfungsflüssigkeit wie etwa n-Butanol oder Iso-

Partikelfilter für Diesel- und Ottomotoren

1

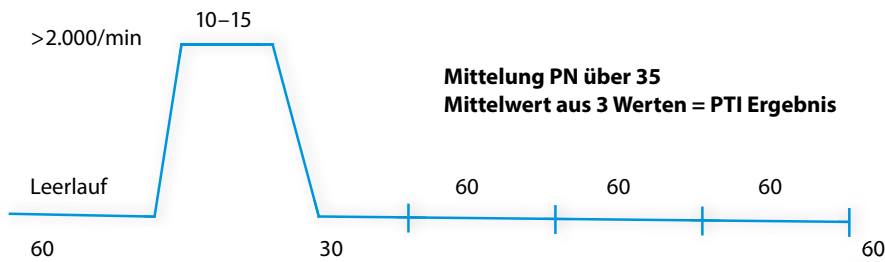


Bild 5

Der Mittelwert aus diesen drei Messungen ergibt den finalen Wert der Partikelanzahl (PN).
Grafik: ASA-Verband

propanol) durch Kondensation auf einige Mikrometer vergrößert. In einer anschließenden Optikeinheit werden die Partikel unter Streulicht erfasst und gezählt.

Die Kosten

Die möglichen Kosten eines neuen AU-Geräts oder eines geeigneten Zusatzmoduls hängen von der Spezifikation und den Kalibriervorgaben ab – also von den Anforderungen, die die Physikalisch Technische Bundesanstalt (PTB) festlegt.

Ob zukünftig auch Pkw mit Otto-Motoren einer Messung der Partikelanzahl (PN) im Rahmen der AU unterliegen, ist noch offen. Die Prüfgeräte wären dann laut Aussagen der Hersteller aber dazu geeignet.

Florian Zink

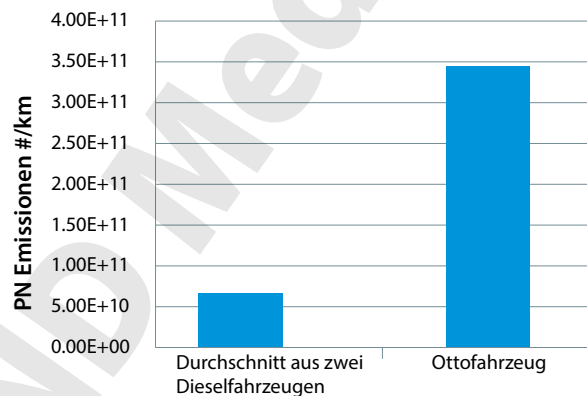


Bild 6

Im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen hat die Forschungsgesellschaft für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik (FVT) Messungen durchgeführt, die unter anderem aufzeigen, dass die Partikelanzahl bei Ottomotoren um einiges höher ist als beim Diesel. Grafik: FVT

Partikelanzahl und defekte Partikelfilter

Das Zählen der Partikelanzahl ist ebenfalls eine probate Methode, um defekte Partikelfilter zu identifizieren. Durch die hohe Sensitivität und den entsprechenden Messbereich lassen sich unmittelbare Aussagen über die Funktion und den Zustand des Partikelfilters treffen. Allerdings lässt sich ein defektes oder nicht sauber funktionierendes SCR-System mit dieser Messmethode nicht erkennen. Dies würde nur mit einer NO_x -Messung im Belastungszustand möglich sein. Solch eine Prüfprozedur ist derzeit seitens des Gesetzgebers nicht geplant und die Investitionen dafür wären für viele Werkstätten nur schwer zu stemmen.

2. Das Funktionsprinzip eines Dieselpartikelfilters

2

In der Regel sind die serienmäßig eingesetzten Dieselpartikelfilter (DPF) im Pkw-Sektor als sogenannte Wall-Flow-Filter (wanddurchflutete Keramikmodule) ausgelegt. Das heißt, sie verfügen über einen katalytisch beschichteten und wabenförmig aufgebauten Keramikmonolithen, an dem sich die Rußpartikel per Adhäsion an der porösen Oberfläche anlagern. Ab einem gewissen Beladungszustand müssen die Partikel über die Filterregeneration zu CO_2 und Asche verbrannt werden, damit kein zu hoher Abgasrückstau entsteht. Wann genau das erfolgt, hängt vom jeweiligen Fahrprofil (zum Beispiel bei viel Kurzstrecke ist eine Regeneration früher fällig) ab. Die Oxidation der Rußpartikel wird in der Regel durch gezielte Nacheinspritzung gewährleistet. Dadurch gelangt Diesel in den Abgasstrang. In der Folge erhöht sich durch den Abbrand des Diesels die Temperatur auf etwa 600 °C, wodurch der Ruß zu Asche verbrennt/oxidiert.

Adhäsion

Unter dem Begriff Adhäsion versteht man den grenzflächigen, mechanischen Zusammenhalt zweier Stoffe (Feststoffe, auch zusammen mit Flüssigkeiten). Dies geschieht durch eine molekulare Wechselwirkung an der Grenzflächenschicht der beiden beteiligten Partner. Ein Beispiel ist das ‚Anhaften‘ von Wassertropfen an einer Glasscheibe.

Neben den Werten des Differenzdrucksensors, der den Abgasdruck vor und hinter dem Filter misst, dienen die Werte des Abgastemperatursensors dem Steuergerät zur Berechnung des Beladungszustands. Außerdem fungieren beide Sensoren als Bauteilschutz. Erkennen sie

Funktionsweise des Diesel-Partikelfilters

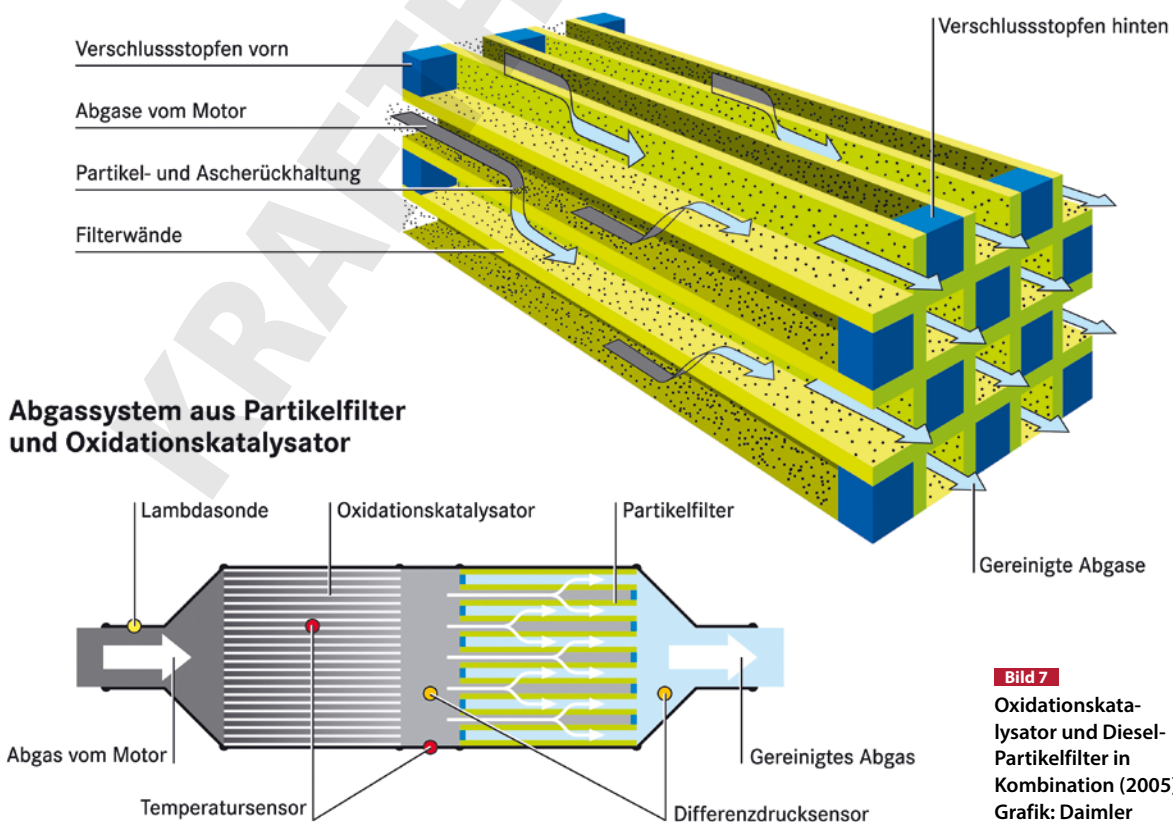


Bild 7

Oxidationskatalysator und Dieselpartikelfilter in Kombination (2005).
Grafik: Daimler

Das Funktionsprinzip eines Dieselpartikelfilters

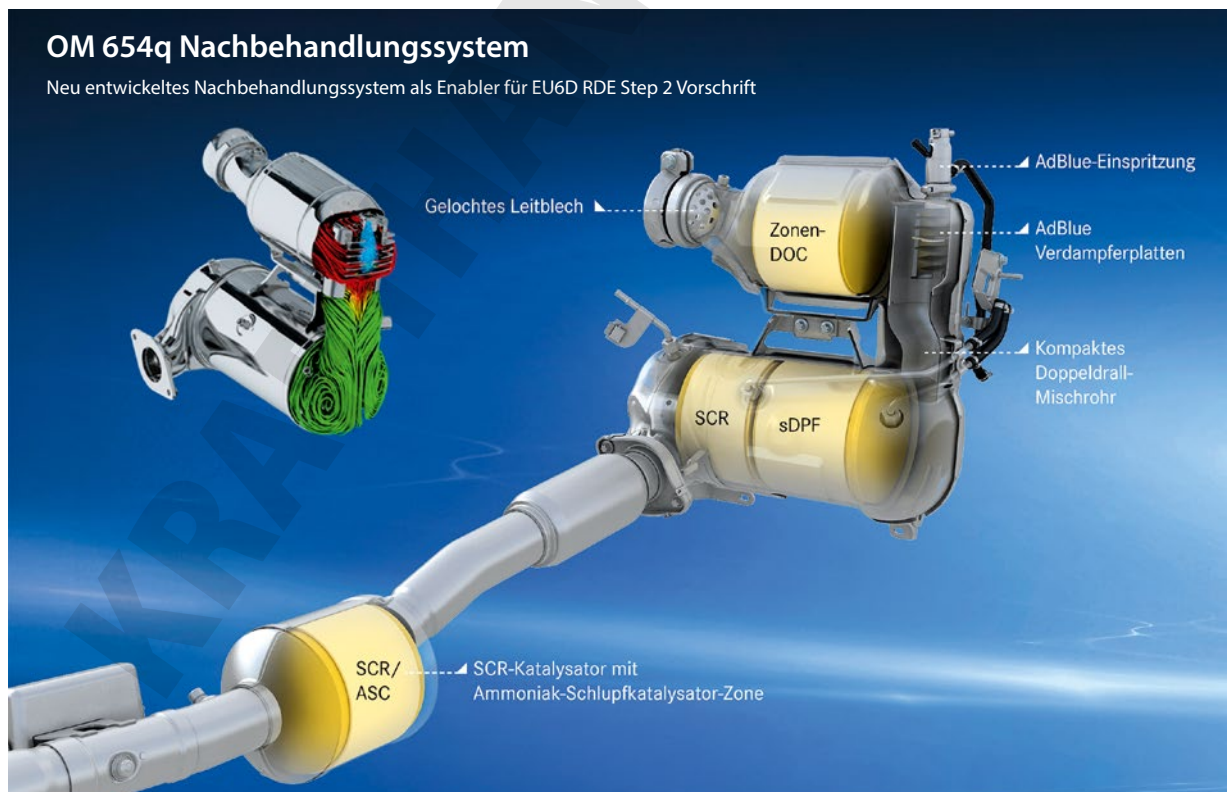
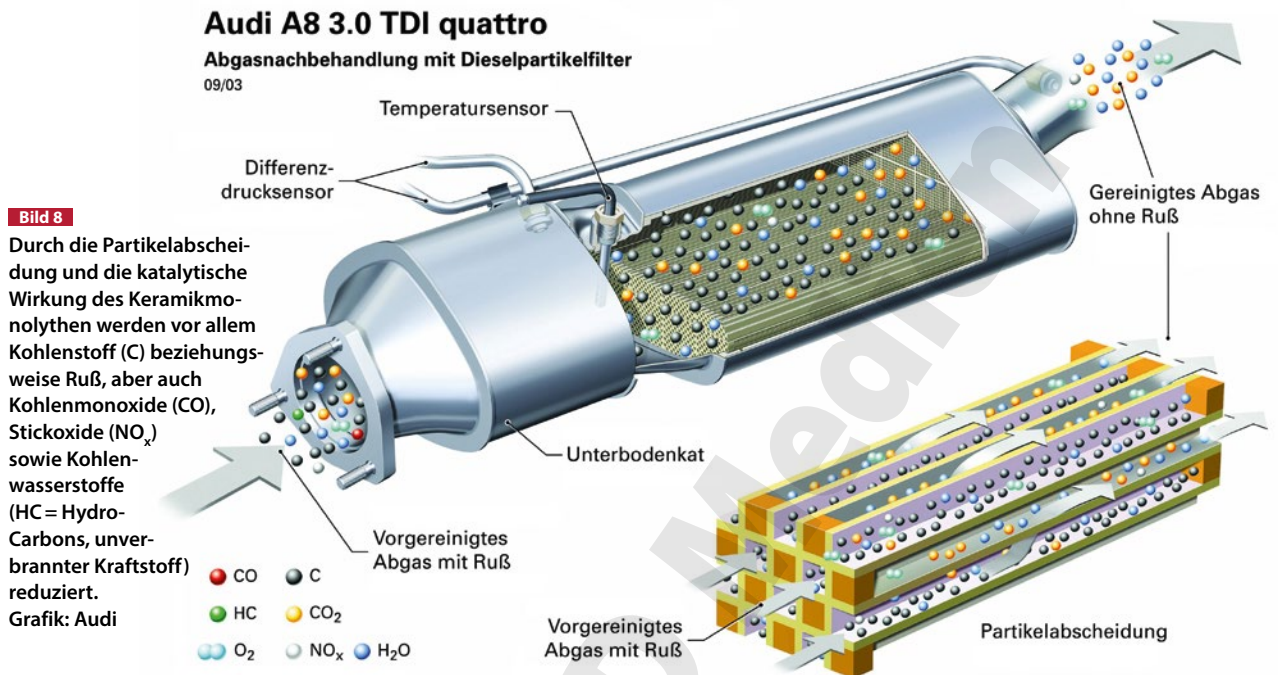


Bild 9

Der DPF im Gesamtverbund einer Abgasreinigungsanlage am Beispiel des Mercedes Vierzylindermotors OM 654q. Die Anlage besitzt eine Hoch- und Niederdruck-Abgasrückführung inklusive Kühlung. Ein Diesel-Oxidationskatalysator (DOC) dient zur Reduzierung der Kohlenmonoxid-Emissionen (CO) und von unverbrannten Kohlenwasserstoffen (HC). Der Partikelfilter sorgt für die Abscheidung von Rußpartikeln und verfügt in Kombination über eine SCR-Funktion (sDPF). Der SCR-Katalysator mit AdBlue-Einspritzung reduziert dabei die Stickoxide. Dabei entsteht Ammoniak. Ein zusätzlicher Unterboden-Ammoniak-Schlupfkatalysator (ASC) oxidiert Ammoniak selektiv zu den unschädlichen Produkten Stickstoff (N₂) und Wasser (H₂O). Die Abgasanlage erfüllt die seit 2020 verbindliche RDE-Norm (Real Driving Emissions) der Stufe 2 und ist nach Euro 6d zertifiziert. Grafik: Daimler

Partikelfilter für Diesel- und Ottomotoren

Bild 10

Bei der neuen Vierzylinder-Dieselmotoren-Plattform OM 654 kommt neben dem Oxidationskatalysator (1) ein sogenannter sDPF (2) zum Einsatz, eine Kombination aus DPF und SCR-Kat. Bild: Daimler



2

einen zu hohen Rückstau beziehungsweise eine zu hohe Abgastemperatur, aktiviert die Steuerelektronik den Notlauf, um das Triebwerk und den Turbolader zu schützen. Hinweis: Bei vielen Fahrzeugen befindet sich im Gehäuse des DPF auch der Oxidations-Katalysator. Der Oxi-Kat ist dem Partikelfilter vorgeschaltet. Außerdem gibt es DPF, die mit einer SCR-Beschichtung versehen sind (siehe Kapitel 2.3).

2.2 Seitenblick: Der Differenzdrucksensor

Die Abgas- oder der Differenzdrucksensoren, der vor und nach dem Dieselpartikelfilter den Abgasdruck messen, sind essenziell für die Überwachung der Funktion des Dieselpartikelfilters.

Abgasdrucksensoren finden sich bis auf wenige Ausnahmen hauptsächlich in Dieselfahrzeugen mit Partikelfilter, um den Beladungszustand zu überprüfen. Je nach Ausführung erfolgt dies über einen Fühler, der den Staudruck vor dem DPF misst oder über zwei Drucksensoren oder einen Differenzdrucksensor. Bei den beiden letztgenannten Varianten werden die Drücke vor und hinter dem DPF erfasst. Diese Methode hat gegenüber

der Messung nur vor dem DPF Vorteile. Gerald Schnee-hage, Autor des Fachbuches ‚Motormanagement Sensoren‘ schreibt im entsprechenden Kapitel dazu: „Die Messung des Staudrucks vor und hinter dem Dieselpartikel bietet den Vorteil, dass auch eine verstopfte Auspuffanlage vom Abgasdifferenzdrucksensor erkannt werden kann. Bei Motormanagementsystemen, die mit einem Niederdruck-AGR-System ausgestattet sind, ist die Messung des Staudrucks vor und nach dem Partikelfilter sogar unumgänglich, da für die Niederdruckabgasrückführung eine Stauklappe im Abgassystem zum Teil geschlossen wird.“



Bild 11

Differenzdrucksensor mit einem Masseanschluss (Atmosphärendruckanschluss (links) und Anschluss vor dem DPF). Bild: Gerald Schnee-hage

Der Otto-Partikelfilter (OPF)

7. Der Otto-Partikelfilter (OPF)

Aufgrund der kontinuierlichen Verschärfung der Abgasgesetzgebung müssen auch die Hersteller von Ottomotoren höheren Anforderungen an die motorischen Rohemissionen und an die Abgasnachbehandlung gerecht werden. Seit der Einführung der Abgasnorm Euro 6c und dem WLTP sowie RDE-Zyklus für alle typgenehmigten Pkw ab September 2017 kommen die meisten Hersteller auch beim Ottomotor nicht mehr am Partikelfilter vorbei. Die Norm macht unter anderem eine Senkung der Partikelgrenzwerte bei Benzinfahrzeugen erforderlich. Neu homologierte Modelle mit Ottomotor dürfen demnach wie die Dieselfahrzeuge nur noch $6 \cdot 10^{11}$ Partikel (PN = Partikelanzahl) pro Kilometer ausstoßen, die Partikelmasse (PM) ist auf maximal 4,5 mg/km beschränkt. Der Grund: Feinste, mikroskopisch kleine Nanopartikel, die beim Ottomotor mit Direkteinspritzung emittiert werden, können bis in die Lungenbläschen gelangen. Die Lunge kann die feinen Partikel nicht mehr ausfiltern und abstoßen.

Um die neue Abgasnorm sicher einhalten zu können, setzen die Automobilhersteller bei Fahrzeugen mit Direkteinspritzung auf einen OPF (Otto-Partikelfilter)

Info

Innere motorische Ölemissionen (Ölverbrennung), meist aufgrund hoher Drehzahlen oder Verschleiß, führen zu Steigerungen der Partikelanzahl bei Ottomotoren.

beziehungsweise GPF (Gasoline-Particle-Filter). Laut Expertenmeinung stoßen Benzinmotoren mit Direkteinspritzung besonders viele Rußpartikel aus.

Aufbau und Funktion

Ein Benzinpartikelfilter ist weniger komplex aufgebaut als ein Dieselpartikelfilter und somit auch kostengünstiger, was Hersteller wie Faurecia oder Eberspächer bestätigen. Rein technisch gesehen läuft der Vorgang der Reduzierung der Partikel ähnlich ab wie beim Dieselpartikelfilter. Der OPF ist motor-nah montiert, die sehr heißen Abgase gelangen in den OPF und bleiben an der

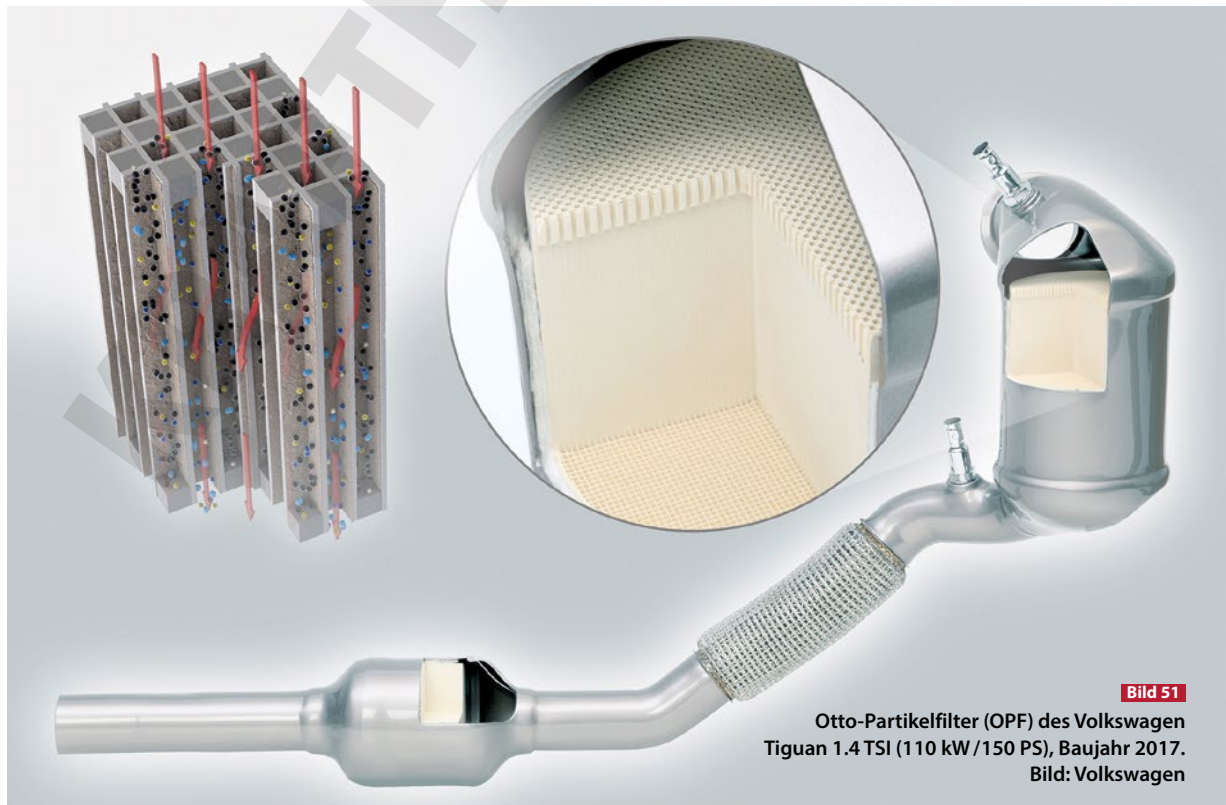


Bild 51

Otto-Partikelfilter (OPF) des Volkswagen Tiguan 1.4 TSI (110 kW/150 PS), Baujahr 2017.
Bild: Volkswagen

Partikelfilter für Diesel- und Ottomotoren



Bild 52

Otto-Partikelfilter (OPF) im Schnitt.
Die Filterkeramik besteht aus Cordierite.
Bild: Eberspächer

hochporösen und hitzebeständigen Keramik hängen. Bei abgeschalteter Einspritzung verbrennen die Rußpartikel zu gasförmigen Kohlendioxid (CO_2). Damit steigen jedoch die CO_2 -Emissionen um durchschnittlich 2 g/km an. Die Kohlenmonoxid-Werte (CO) werden durch Katalysatoren sowie durch inermotorische Optimierungen gering gehalten. Stickoxide (NO_x) und Kohlenwasserstoffe (HC) entstehen in geringen Mengen und bedürfen keiner aufwendigen Abgasnachbehandlung.

Im Vergleich zum teureren Siliziumcarbid-Partikelfilter für Dieselfahrzeuge im Pkw-Segment kommt beim Benzinpartikelfilter Cordierite – ein synthetischer Keramikwerkstoff – als Filtermaterial zum Einsatz. Die

eigentlichen Rußpartikel erweisen sich beim Benziner gegenüber den Dieselpartikeln zwar als ähnlich, sie sind jedoch im Mittel deutlich kleiner und erweisen sich als feuchter, da sie mehr unverbrannte Kohlenwasserstoffe (HC) aufnehmen können. Aufgrund der höheren Abgastemperaturen beim Ottomotor verbrennen die Rußpartikel Herstellerangaben zufolge auf dem Filter stetig durch

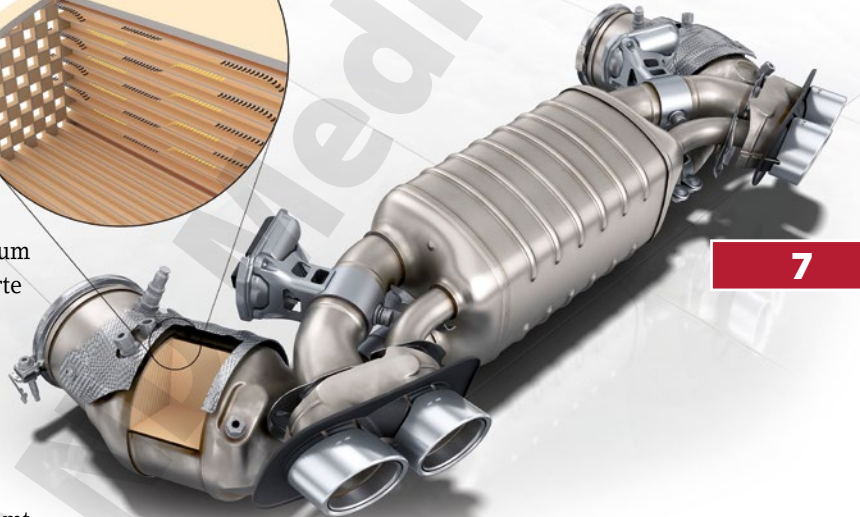
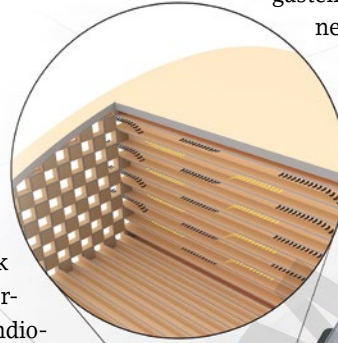


Bild 53

Abgasanlage mit Otto-Partikelfilter des 911 Carrera S/4S (Typ 992). Bild: Porsche

Audi Q3

2.0 TFSI mit Otto-Partikelfilter

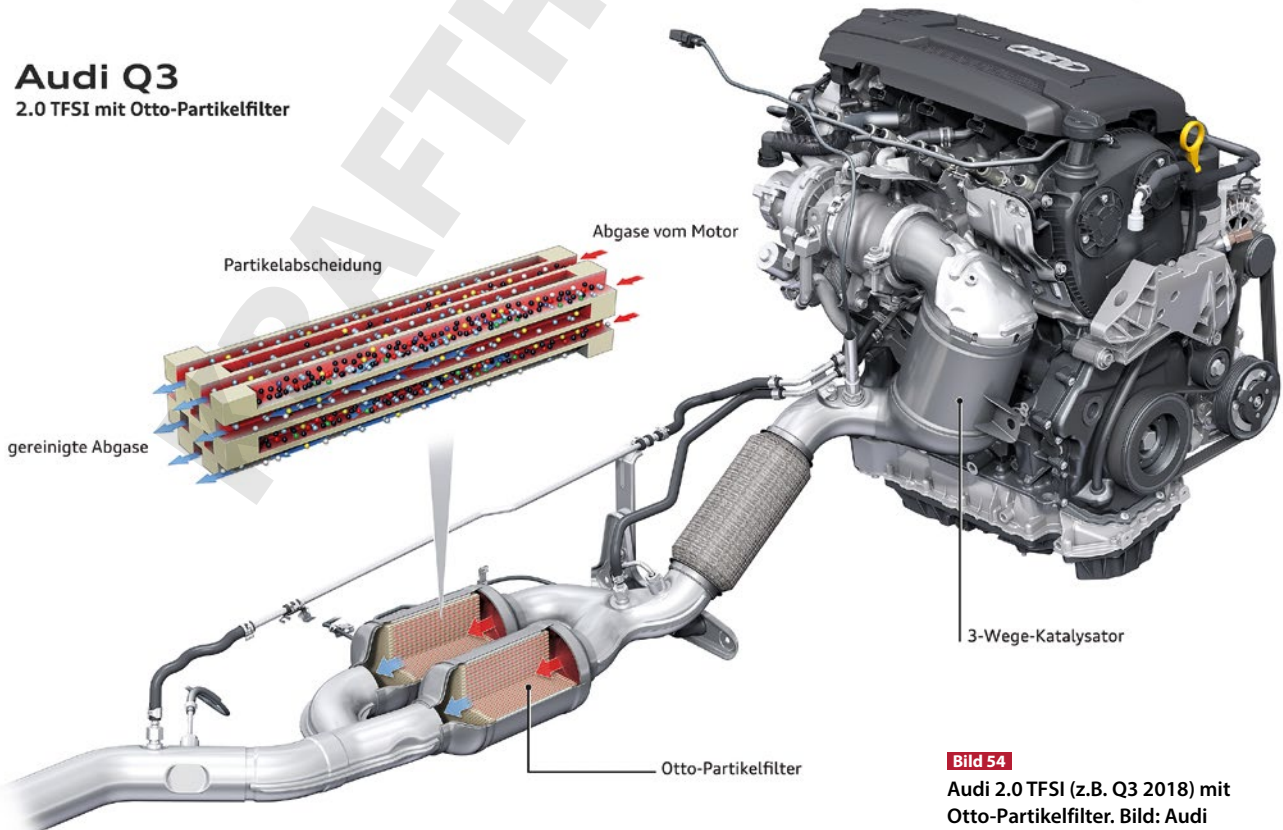


Bild 54

Audi 2.0 TFSI (z.B. Q3 2018) mit Otto-Partikelfilter. Bild: Audi

KRAFTHAND

PRAXISWISSEN

Partikelfilter für Diesel- und Ottomotoren

Technik, Regeneration, Reinigung

Der Abgasnachbehandlung, sowohl bei Diesel als auch bei Ottomotoren, kommt eine zentrale Bedeutung zu. Mit der Einführung der neuen Abgasnormen Euro 6d-temp und Euro 6d (ff.) gelten noch strengere Anforderungen, auch was die Rußpartikel-Emissionen angeht. Somit gehören Diesel- als auch Otto-Partikelfilter zu den zentralen Bauteilen um die strengen Emissionsvorschriften einzuhalten.

Dieselpartikelfilter (DPF) setzen sich mit der Zeit zu, die passive und aktive Regeneration reicht oft nicht mehr aus, um den Ruß abzubrennen. Die Partikelfilter sind gesättigt. Häufige Kurzstreckenfahrten begünstigen dieses Phänomen. Eine Alternative zum kostspieligen Neukauf ist die Reinigung. Hier setzen die Anbieter auf unterschiedliche Ansätze. Der Autor beschreibt verschiedene Strategien und stellt die Vergleichbarkeit her.

Otto-Partikelfilter, die bei Aggregaten mit Benzin-Direkteinspritzung eingesetzt werden, kommen theoretisch ohne Regeneration aus. Die hohen Abgastemperaturen sorgen selbstständig für die Verbrennung der feineren Rußpartikel. Doch auch Otto-Partikelfilter (OPF) können sich zusetzen.

Um die Technik der DPFs und OPFs, der unterschiedlichen Regenerationsphasen und Reinigungsstrategien zu verstehen, liefert die neue Fachbroschüre aus der Reihe KRAFTHAND-Praxiswissen das nötige Grundlagenwissen. Tipps für die Werkstattpraxis sowie eine Vorausschau runden die Broschüre ab.

„Diese Publikation liefert einen verständlichen Überblick über die gängige DPF- und OPF-Technik und gibt dem Kfz-Profi die notwendigen Hintergrundinformationen an die Hand, um im Sinne des Werkstattkunden optimale Lösungen zu finden. Ich kann sie nur weiterempfehlen!“

Adrian Karafiol,
Kfz-Mechatroniker-Meister,
Autohaus Hündl-Leitner, Inh. Jakob Hündl e.K.
(Subaru, Suzuki, Kia), Aschau im Chiemgau

Der Autor

Georg Blenk studierte nach dem Abitur politische Wissenschaften und Wirtschaftsingenieurwesen und absolvierte zahlreiche Praktika – unter anderem bei der Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG. Seine berufliche Karriere startete er im Frühjahr 2000 als Consultant Marketing+Communications bei der Cydelion AG in München. 2001 wechselte er zur Bertelsmann AG/Springer Science+Business Media, wo er als Redaktionsleiter zahlreiche Print- und Online-Projekte verantwortete. Die Automobilindustrie stand dabei immer wieder im Fokus. Seit 2006 ist Georg Blenk für die Krafthand Medien GmbH tätig, aktuell als Ressortleiter Fachbuch/Corporate-Publishing. Er ist Herausgeber und Autor zahlreicher Fachbeiträge sowie verschiedener Fachbücher.