

Frank Peters

## Untersuchung von partiellen Regenerationen in Dieselruß-Partikelfiltern von Kraftfahrzeugen

# Untersuchung von partiellen Regenerationen in Dieselruß-Partikelfiltern von Kraftfahrzeugen

Von der Fakultät Energie-, Verfahrens- und Biotechnik  
der Universität Stuttgart  
zur Erlangung der Würde eines Doktors der  
Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.) genehmigte Abhandlung

Vorgelegt von

**Dipl.-Ing. Frank Peters**

aus Giengen an der Brenz

Hauptberichter:                   Apl. Prof. Dr.-Ing. habil. Günter Baumbach  
Mitberichter:                    Apl.Prof. Dr.-Ing. habil. Steffen Schütz  
  Univ.-Prof. Dr. techn. Günter Scheffknecht

Tag der mündlichen Prüfung: 30. September 2019

Institut für Feuerungs- und Kraftwerkstechnik der Universität Stuttgart  
2020



Berichte aus der Verfahrenstechnik

**Frank Peters**

**Untersuchung von partiellen Regenerationen in  
Dieselruß-Partikelfiltern von Kraftfahrzeugen**

D 93 (Diss. Universität Stuttgart)

Shaker Verlag  
Düren 2020

**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Stuttgart, Univ., Diss., 2019

Copyright Shaker Verlag 2020

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-7584-7

ISSN 0945-1021

Shaker Verlag GmbH • Am Langen Graben 15a • 52353 Düren

Telefon: 02421 / 99 0 11 - 0 • Telefax: 02421 / 99 0 11 - 9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • E-Mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

# Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen meiner Tätigkeit als Doktorand bei der Daimler AG in der Abteilung RD/RPE, ehemals GR/APE, im Team Partikelfiltersysteme.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Apl. Prof. Dr.-Ing. habil. Günter Baumbach vom Institut für Feuerungs- und Kraftwerkstechnik für die wissenschaftliche Betreuung der Arbeit und den überaus freundlichen, geduldigen und fairen Umgang.

Den Herren Apl. Prof. Dr.-Ing. habil. Steffen Schütz und Univ.-Prof. Dr. techn. Günter Scheffknecht danke ich für die freundliche Übernahme der Mitberichte und ihrem damit verbundenen Interesse an meiner Arbeit.

Des Weiteren gilt mein Dank in stiller Trauer meinem verstorbenen Abteilungsleiter Herrn Dr. Bernd Krutzsch dafür, dass er es mir ermöglicht hat, die vorliegende Arbeit in seiner Abteilung entstehen zu lassen.

Besonders bedanken möchte ich mich bei meinem ehemaligen Teamleiter Herrn Günter Wenninger für die intensiven fachlichen Diskussionen, die ich mit ihm führen durfte. Durch seine organisatorische Unterstützung sowie sein fundiertes Wissen hat er maßgeblich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen.

Ebenso gilt mein herzlicher Dank meinen Teamkollegen für eine überaus kollegiale und hilfreiche Unterstützung in den verschiedensten Belangen. Sehr gerne erinnere ich mich an zahlreiche Diskussionen, die auch gelegentlich über das Fachliche hinaus gingen. In diesem Zusammenhang sind Frau Doris Bögner sowie die Herren Dr. Timo Deuschle, Hansjoachim Hildner, Ronny Meißner und Dr. Stefan Schöffel zu nennen.

Christian Covini danke ich für seine Unterstützung bei den Prüfstandsuntersuchungen hinsichtlich Motorsteuerung und Automatisierung des Prüflaufs.

Ein großer Dank geht an meine Studenten, die durch Praktika und Abschlussarbeiten einen erheblichen Anteil an dieser Arbeit haben. Zu erwähnen sind hier in alphabetischer Reihenfolge Thomas Bollerhoff, Marcel Putscher, Thomas Rexer, Philipp Schorpp, Josep Tarragona, Stefan Wenzel und Nizar Zghani. Vielen Dank für das Interesse am jeweiligen Thema und den Einsatz für die Arbeit.

Widmen möchte ich diese Arbeit meiner Familie mit meinen Eltern Waltraud und Rolf Peters, meinen Brüdern Kai und Dirk. Durch Eure unendliche Geduld und Rücksichtnahme während meiner Promotionszeit war es möglich, diese Arbeit zu einem erfolgreichen Abschluss zu bringen. Ein ganz spezielles und herzliches Dankeschön für die uneingeschränkte Unterstützung gilt meiner Lebensgefährtin Dr. Greta Kurtz und meinen Töchtern Selma und Lotte, durch deren Liebe ich auch in schwierigen Zeiten trotzdem Kraft schöpfen konnte.

Bietigheim, im September 2019

Frank Peters

# Inhaltsverzeichnis

<b>Formelzeichen</b>	<b>VIII</b>
<b>Kurzfassung</b>	<b>XII</b>
<b>Abstract</b>	<b>XV</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2 Grundlagen Dieselpartikelfilter</b>	<b>6</b>
2.1 Aufbau und Funktionsweise . . . . .	6
2.2 Abscheidemechanismen . . . . .	8
2.3 Filtration . . . . .	10
2.4 Druckverlust . . . . .	11
2.5 Regeneration . . . . .	15
2.5.1 Passive Regeneration . . . . .	16
2.5.2 Aktive Regeneration . . . . .	17
2.5.3 Reaktionskinetik . . . . .	18
<b>3 Zielsetzung der Arbeit</b>	<b>20</b>
3.1 Problemstellung . . . . .	20
3.2 Aufgabenstellung . . . . .	23
<b>4 Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung</b>	<b>25</b>
4.1 Motorprüfstand . . . . .	25
4.1.1 Aufbau . . . . .	25
4.1.2 Versuchsdurchführung . . . . .	34
4.2 Messung der Strömungsgeschwindigkeit . . . . .	38
4.3 Optische Untersuchung der Rußverteilung . . . . .	40
4.3.1 Präparation der Filterproben . . . . .	41
4.3.2 Durchführung . . . . .	42

<b>5</b>	<b>Numerische Berechnungen</b>	<b>45</b>
5.1	Modell . . . . .	46
5.1.1	Druckverlust . . . . .	48
5.1.2	Rußverteilung . . . . .	54
5.1.3	Temperaturverteilung . . . . .	57
<b>6</b>	<b>Versuchs- und Berechnungsergebnisse</b>	<b>58</b>
6.1	Versuchsergebnisse . . . . .	59
6.1.1	Versuchsergebnisse - Druckverlust . . . . .	59
6.1.1.1	Druckverlust bei einem Serien-DPF im Neuzustand . .	59
6.1.1.2	Druckverlust bei einem Serien-DPF mit Lauffleistung und einem DPF mit Membrantechnologie . . . . .	63
6.1.1.3	Vergleich des Druckverlusts der verschiedenen DPF-Ty- pen . . . . .	66
6.1.1.4	Ermittlung einer Korrekturfunktion für die Beladungs- erkennung über den Druckverlust . . . . .	69
6.1.2	Versuchsergebnisse - Rußverteilung . . . . .	75
6.1.2.1	Radiale Rußverteilung in Abhängigkeit von unterschied- lichen Restrußmassen . . . . .	78
6.1.2.2	Radiale Rußverteilung in Abhängigkeit von der Anzahl der partiellen Regenerationen . . . . .	80
6.1.2.3	Abgleich zwischen Rußverteilung und Messung der Strö- mungsgeschwindigkeit . . . . .	81
6.1.2.4	Ergebnisse Rasterelektronenmikroskopie . . . . .	84
6.1.2.5	Ergebnisse energiedispersiver Röntgenspektroskopie . .	91
6.1.3	Versuchsergebnisse - Temperaturverteilung . . . . .	93
6.1.3.1	Vergleich der Temperaturverteilung bei Regenerationen nach Beladung aus dem Leerzustand und nach Wieder- beladung . . . . .	94
6.1.3.2	Vergleich der Temperaturverteilung bei Worst-Case-Re- generationen nach Beladung aus dem Leerzustand und nach Wiederbeladung . . . . .	99

6.2	Berechnungsergebnisse . . . . .	106
6.2.1	Berechnungsergebnisse - Kalibrierung . . . . .	108
6.2.1.1	Eingangsgrößen . . . . .	109
6.2.1.2	Beladung aus dem Leerzustand - Kalibrierung des Druckverlusts . . . . .	110
6.2.1.3	Beladung aus dem Leerzustand - Kalibrierung der radialen Rußverteilung . . . . .	112
6.2.1.4	Partielle Regeneration - Kalibrierung . . . . .	114
6.2.1.5	Partielle Regeneration - Kalibrierung der Reaktionskinetik und Rußmasse . . . . .	114
6.2.1.6	Partielle Regeneration - Kalibrierung der radialen Rußverteilung . . . . .	116
6.2.2	Berechnungsergebnisse - Validierung . . . . .	118
6.2.2.1	Validierung des Druckverlusts . . . . .	119
6.2.2.2	Validierung der Reaktionskinetik und Rußmasse . . . . .	121
6.2.2.3	Überprüfung der Validierung . . . . .	122
6.2.3	Berechnungsergebnisse - Parameterstudie . . . . .	125
6.2.3.1	Beschreibung der Ausgangszustände, Eingangsgrößen und Validierung . . . . .	125
6.2.3.2	Vergleich der Berechnungsergebnisse für die beiden Ausgangszustände . . . . .	127
6.2.3.3	Parameterstudie - Auswahl der Eingangsszenarien . . . . .	131
6.2.3.4	Parameterstudie - Ergebnisse und Schlussfolgerungen . . . . .	132
<b>7</b>	<b>Schlussfolgerungen und Ausblick</b>	<b>138</b>
7.1	Schlussfolgerungen . . . . .	138
7.2	Ausblick . . . . .	139
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>140</b>
	<b>Anhang</b>	<b>143</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>161</b>

# Formelzeichen

## Formelzeichen lateinisch

Symbol	Erläuterung	Dimension
$A$	Stofffaktor oder präexponentieller Faktor	$Pa^{-1} s^{-1}$
$A_F$	Filtrationsfläche	$m^2$
$a_{OF}$	Steigung von $f_{OF}(x)$	$mbar (g l^{-1})^{-1}$
$a_{TF}$	Steigung von $f_{TF}(x)$	$mbar (g l^{-1})^{-1}$
$b$	geometrischer Parameter der Simulation (Definition wie in Abbildung 5.5)	$m$
$b_{OF}$	Ordinatenschnittpunkt von $f_{OF}(x)$	$mbar$
$b_{TF}$	Ordinatenschnittpunkt von $f_{TF}(x)$	$mbar$
$C_1$	Korrekturkonstante für die Permeabilität der Filterwand	1
$C_2$	Korrekturkonstante für die Permeabilität der Filterwand	1
$C_4$	Korrekturkonstante für die Gleitströmung	$ms (kg mol T)^{-1/2}$
$d$	hydraulischer Durchmesser	$m$
$d_{Auslasskanal}$	hydraulischer Durchmesser Auslasskanal	$m$
$d_{Einlasskanal}$	hydraulischer Durchmesser Einlasskanal	$m$
$d_{c1}$	Breite Einlasskanal (Definition wie in Abbildung 5.4)	$m$
$d_{c2}$	Breite Auslasskanal (Definition wie in Abbildung 5.4)	$m$
$d_{c3}$	Breite Ecke Einlasskanal (Definition wie in Abbildung 5.4)	$m$
$d_{Kollektor}$	Durchmesser Kollektor	$m$
$d_p$	Porengröße	$m$
$D_{Part}$	Partikeldiffusionskoeffizient	$m^2 s^{-1}$

Symbol	Erläuterung	Dimension
$E_A$	Aktivierungsenergie	$J \text{ mol}^{-1}$
$E_{cake}$	Abscheidegrad Rußschicht (oberflächenfiltriert)	1
$f_{OF}(x)$	lineare Funktion zur Approximation des Druckverlusts während der Oberflächenfiltration	$mbar$
$f_{TF}(x)$	lineare Funktion zur Approximation des Druckverlusts während der Tiefenfiltration	$mbar$
$H$	Wärmeübertragung pro Filtervolumen	$W \text{ m}^{-3}$
$h_{Ru\beta}$	Rußschichtdicke (oberflächenfiltriert)	$m$
$i$	Index für Ein- oder Auslasskanal (i=1 für Einlasskanal, i=2 für Auslasskanal)	1
$k$	Reaktionsgeschwindigkeitskonstante	$Pa^{-1} \text{ s}^{-1}$
$k$	Permeabilität	$m^2$
$k_{Ru\beta}$	Rußpermeabilität	$m^2$
$k_p$	scheinbare Permeabilität der Rußschicht (global)	$m^2$
$k_{p,0}$	Permeabilität der Rußschicht (global)	$m^2$
$k_s$	Permeabilität des Substrats (Filterwand) (global)	$m^2$
$k_{s,0}$	Permeabilität des leeren Substrats (Filterwand ohne Ruß)	$m^2$
$M$	Molmasse	$kg \text{ mol}^{-1}$
$M_g$	Molmasse Abgas	$kg \text{ mol}^{-1}$
$m_{nachReg}$	spezifische Rußmasse nach Ende der aktiven Regeneration	$g \text{ l}^{-1}$
$m_{ox.}$	spezifische regenerierte Rußmasse während aktiver Regeneration	$g \text{ l}^{-1}$
$m_{vorReg}$	spezifische Rußmasse vor Beginn der aktiven Regeneration	$g \text{ l}^{-1}$
$m_{Ru\beta \text{ vor DPF}}$	Rußmasse vor DPF	$g$
$m_{Ru\beta \text{ nach DPF}}$	Rußmasse nach DPF	$g$
$N$	Anzahl poröser Wände eines Einzelkanals	1
$n_m$	Geometrischer Parameter für Mikrostruktur des Substrats	1
$p$	Druck	$Pa$
$p_{Einlasskanal}$	Druck im Einlasskanal	$Pa$
$p_{Auslasskanal}$	Druck im Auslasskanal	$Pa$

Symbol	Erläuterung	Dimension
$Pe$	Peclet-Zahl	1
$R$	allgemeine Gaskonstante	$J \text{ mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$
$Re$	Reynolds-Zahl	1
$T$	Temperatur	$K$
$V_F$	effektives Filtervolumen	$m^3$
$v$	Geschwindigkeit	$m \text{ s}^{-1}$
$w$	Dicke Rußschicht (Simulation)	$m$
$w_s$	Dicke Filterwand (Simulation)	$m$
$w_p$	Grenzrußschichtdicke bis Erreichen von max. Abscheidegrad der Rußschicht bzw. max. Rußpackungsdichte (Simulation)	$m$
$x$	Raumvariable rechtwinklig zur Oberfläche der Filterwand	$m$
$x_{SP}$	spezifische Rußmasse am Übergangspunkt zwischen Tiefen- und Oberflächenfiltration	$g \text{ l}^{-1}$
$x_{Start}$	spezifische Rußmasse zu Beginn einer (Wieder-)Beladung	$g \text{ l}^{-1}$

## Formelzeichen griechisch

Symbol	Erläuterung	Dimension
$\alpha_1$	Druckverlustbeiwert	1
$\rho$	Dichte	$kg\ m^{-3}$
$\rho_p$	Rußpackungsdichte	$kg\ m^{-3}$
$\mu$	dynamische Viskosität	$kg\ m^{-1}\ s^{-1}$
$\mu_{Abgas}$	dynamische Viskosität des Abgases	$kg\ m^{-1}\ s^{-1}$
$\varepsilon_p$	Porosität	1
$\eta$	Abscheidegrad	1
$\eta_D$	Kollektorabscheidegrad durch Diffusionsabscheidung	1
$\Delta m_{TF}$	Tiefenfiltrationsanteil der spezifischen abgeschiedenen Rußmasse	$g\ l^{-1}$
$\Delta p$	Druckverlust einer durchströmten Fläche	$Pa$
$\Delta p_{Einlasstrichter}$	Druckverlust durch Expansion im Einlasstrichter	$Pa$
$\Delta p_{Eintritt}$	Druckverlust durch Kontraktion beim Eintritt in den Eintrittskanal	$Pa$
$\Delta p_{Eintrittskanal}$	Druckverlust durch Wandreibung im Eintrittskanal	$Pa$
$\Delta p_{Ru\beta}$	Druckverlust beim Durchtritt durch die Rußschicht	$Pa$
$\Delta p_{Wand}$	Druckverlust beim Durchtritt durch die Filterwand	$Pa$
$\Delta p_{Austrittskanal}$	Druckverlust durch Wandreibung im Austrittskanal	$Pa$
$\Delta p_{Austritt}$	Druckverlust durch Expansion beim Austritt aus dem Austrittskanal	$Pa$
$\Delta p_{Auslasstrichter}$	Druckverlust durch Kontraktion im Auslasstrichter	$Pa$
$\Delta x$	Dicke einer durchströmten Fläche	$m$

# Kurzfassung

Aufgrund gesetzlicher Vorgaben ist es erforderlich, die Rußemissionen von Dieselmotoren in Kraftfahrzeugen zu reduzieren. Dazu werden Dieselpartikelfilter eingesetzt, in denen die Rußemissionen abgeschieden werden. Der abgeschiedene Ruß muss während der sogenannten Regeneration in regelmäßigen Abständen wieder aus dem Filter entfernt werden, da während des Fahrzeugbetriebs durch den Aufbau der Rußschicht im Filter der Abgasgegendruck steigt und dadurch die Effizienz des Motors sinkt. Durch motorische Maßnahmen (Nacheinspritzung) wird während der Regeneration die Temperatur so erhöht, dass der Ruß im Filter vollständig oxidieren kann. Wird diese Regeneration nur unvollständig durchgeführt, spricht man von einer partiellen Regeneration, die Gegenstand der Untersuchung der vorliegenden Dissertation ist.

Das Ziel der Untersuchung lag in der Beurteilung, ob es möglich ist, nach einer partiellen Regeneration mit einer verbleibenden Restrußmenge diesen Dieselpartikelfilter wieder direkt mit Ruß aus dem Motor zu beladen und welche Folgen eine solche Wiederbeladung auf den nachfolgenden Betrieb des Dieselpartikelfilters hat. Ziel dieser Arbeit war es, anhand von Grundlagenuntersuchungen am Motorprüfstand (Stationärversuche) zu bewerten, ob die Anwendung partieller Regenerationen sinnvoll ist und wie gegebenenfalls eine Anpassung der Betriebsstrategie im Fahrzeug zu erfolgen hätte. Ergänzend wurde ein Simulationsmodell zu Hilfe genommen, um die Bewertung umfangreicher abzusichern, speziell in Hinsicht auf eine Worst-Case-Regeneration. Bei einer Worst-Case-Regeneration wird während der Regeneration direkt in den Leerlauf gewechselt, z.B. wenn ein Fahrzeug während der Regeneration angehalten werden muss (z.B. an einer roten Ampel). Diese Worst-Case-Regeneration ist zumeist aufgrund sehr guter Bedingungen für die Rußoxidation (geringer Massendurchsatz, hohe Sauerstoffkonzentration) mit einer hohen Temperaturentwicklung verbunden. Diese hohe Temperaturentwicklung kann unter Umständen aufgrund thermischer Spannungen im Filtermaterial einen Schaden des Dieselpartikelfilters zur Folge haben.

Durch die Untersuchungen am Motorprüfstand wurden Erkenntnisse hinsichtlich des Druckverlusts, der Rußverteilung, der Strömungsverteilung und der Temperaturver-

teilung im Dieselpartikelfilter gewonnen. Daraus resultierend zeigt sich, dass durch die Anwendung partieller Regenerationen der durch den beladenen Filter verursachte Differenzdruckverlust bei Wiederbelastungen deutlich niedriger ausfällt als bei einer entsprechenden Beladung aus dem Leerzustand. Basierend auf dieser Erkenntnis ist es gelungen, eine Korrekturfunktion abzuleiten, die eine Beladungserkennung über den Druckverlust bei den durchgeführten Stationärversuchen gewährleistet. Als Ursache für dieses niedrigere Druckverlustniveau konnte der Tiefenfiltrationseffekt identifiziert werden, der bei Wiederbeladung nach einer partiellen Regeneration in deutlich geringem Ausmaß stattfindet. Zur Bestimmung der Rußverteilung wurden durch ein speziell entwickeltes Verfahren Dieselpartikelfilter vom Motorprüfstand in unterschiedlichen Zuständen (beladen, partiell regeneriert und wiederbeladen) so zerlegt, dass anhand von optischen Analyseverfahren wie Licht- und Rasterelektronenmikroskopie Rußschichtdicken ermittelt werden konnten. Als Ergebnis hat sich gezeigt, dass die Rußschichtdicken nach einer partiellen Regeneration in der radialen Filtermitte erheblich niedriger sind als im Außenbereich. Dieses Phänomen zeigt sich in etwas abgeschwächter Form auch beim Zustand nach der Wiederbeladung. Dies bedeutet einen erheblichen Unterschied zur Beladung aus dem Leerzustand, bei dem die Rußschichtdicken mehr oder minder konstant über den gesamten Querschnitt sind. Diese inhomogene Verteilung der Rußschichtdicken hat einen direkten Einfluss auf die Durchströmung und die Temperaturverteilung im Dieselpartikelfilter. Aufgrund der geringeren Rußschichtdicken in der radialen Filtermitte sind in diesem Bereich höhere Strömungsgeschwindigkeiten und Temperaturen detektiert worden. Die Interaktion zwischen Ruß-, Strömungs- und Temperaturverteilung ist entscheidend dafür, welche Temperaturen während einer Regeneration und einer Worst-Case-Regeneration im speziellen in einem Dieselpartikelfilter aufgrund der Exothermie der Rußoxidation entstehen können. Diese Interaktion wird bei einer Worst-Case-Regeneration maßgeblich durch den Sprung in den Leerlauf beeinflusst.

Die endgültige Absicherung, ob kritische Temperaturen Schäden am Dieselpartikelfilter verursachen können, wurde anhand einer Parameterstudie durch die Simulation bewertet, mit der Zielsetzung, welchen Einfluss der Zeitpunkt für den Sprung in den Leerlauf auf das Temperaturverhalten im Dieselpartikelfilter hat. Die Studie hat ergeben, dass unter den untersuchten Versuchsbedingungen keine kritischen Temperaturen entstanden sind, die einen Schaden für den Dieselpartikelfilter bedeuten.

Die Grundlagenuntersuchungen dieser Arbeit zeigen, dass die Anwendung partieller Regenerationen als Betriebsstrategie in einem PKW möglich und gleichzeitig sinnvoll erscheint. Die Einschränkung dieser Arbeit besteht darin, dass die Untersuchungen

nur am Motorprüfstand unter stationären Bedingungen durchgeführt wurden. Es wäre weiterhin notwendig, die Ergebnisse unter instationären Bedingungen (z.B. in einem Erprobungsfahrzeug) zu prüfen, die einer realen Anwendung in der Praxis entsprechen.

**Schlüsselwörter:**

unvollständige Regeneration, partielle Regeneration, Worst-Case-Regeneration, Dieselpartikelfilter (DPF), Motorprüfstand, Simulation, Druckverlust, Temperaturverteilung, Rußverteilung, Strömungsverteilung

# Abstract

Due to legal requirements, it is necessary to reduce the soot emissions of diesel engines in motor vehicles. For this purpose, diesel particulate filters are used in which the soot emissions are captured. The deposited soot must be removed from the filter at regular intervals during a so-called regeneration, since during vehicle operation the build-up of the soot layer in the filter increases the back pressure of the exhaust gas and thereby decreases the efficiency of the engine. By means of engine measures (post-injection), the temperature during regeneration is increased so that the soot in the filter can completely oxidize. If the regeneration is carried out incompletely, it is named partial regeneration, which is the subject of the investigation of the present thesis.

The aim of this investigation was to assess whether it is possible to load the diesel particulate filter again with soot from the engine directly after a partial regeneration with a remaining amount of soot. Furthermore, it should have been determined which consequences such a reloading has on the subsequent operation of the diesel particulate filter. The objective of this thesis was to evaluate, based on fundamental investigations on an engine test bench (stationary tests), whether the application of partial regeneration makes sense, and if necessary, how an adaptation of the vehicle operating strategy would have to be carried out. In addition, a simulation model was used to make the assessment more comprehensive, especially with regard to a worst-case regeneration. A worst-case regeneration means that the engine is switched to idle during regeneration, for example when a vehicle has to be stopped at a red traffic light during regeneration. This worst-case regeneration is usually associated with a high temperature development due to very good conditions for soot oxidation (low mass flow, high oxygen concentration). This high temperature development may result in damage to the diesel particulate filter due to thermal stress in the filter material.

The engine test bench investigations provided insights into pressure loss, soot and flow distribution and temperature distribution in the diesel particulate filter. It was observed that the application of partial regenerations causes significantly lower pressure losses of the filter for reloads than for a corresponding load from the empty state. Based

on this finding it has been possible to derive a correction function which ensures load detection via pressure loss for the stationary tests conducted. The deep bed filtration effect could be identified as the reason for the lower pressure loss level, which occurs to a much lesser extent, when reloaded after a partial regeneration. To determine the soot distribution, a specially developed method was used to disassemble diesel particulate filters from the engine test bench in different states (loaded, partially regenerated and reloaded) in such a way that the soot layer thicknesses could be determined by optical analysis methods, such as light and scanning electron microscopy. As a result, it was found that after a partial regeneration the soot layer thicknesses are significantly thinner in the radial center of the filter than on the outside area close to the casing. This phenomenon was detected in a somewhat attenuated form even in the state after reloading. This means a significant difference to the load from the empty state, in which the soot layer thicknesses are more or less constantly distributed over the entire cross section. This inhomogeneous distribution of soot layer thicknesses has a direct influence on the flow and temperature distribution in the diesel particulate filter. Due to the lower soot layer thicknesses in the filter center, higher flow velocities and temperatures were detected in this area. The interaction between soot, flow and temperature distribution is critical for high temperatures which can arise during regeneration and especially in a worst-case regeneration in a diesel particulate filter due to the exothermic soot oxidation. This interaction is significantly influenced by the jump to idle in a worst-case regeneration.

The final evaluation whether critical temperatures could cause damage to the diesel particulate filter was conducted with a simulation parameter study. The aim of this study was to determine the impact of the idle jump timing on the temperature behavior in the diesel particulate filter. The study showed that under the investigated experimental conditions no critical temperatures arose, which could have caused damage to the diesel particulate filter.

The results of this thesis show that the partial regeneration as an operating strategy for a car seems possible and reasonable. The limitation of this study is that the tests were carried out only on the engine test bench under stationary conditions. It would furthermore be necessary to re-test the results under transient conditions for example using a test vehicle in real-life conditions.

**Keywords:**

incomplete regeneration, partial regeneration, worst-case regeneration, diesel particulate filter (DPF), engine test bench, simulation, pressure loss, temperature distribution, soot distribution, flow distribution