

Schnelle Beladung von Dieselpartikelfiltern mit Asche

Von der Fakultät für Maschinenbau
der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig

zur Erlangung der Würde
eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte Dissertation

von

Dipl.-Ing. Rodja Fabian Sonntag

aus Vorwerk

eingereicht am: 18.12.2015

mündliche Prüfung am: 01.07.2016

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Peter Eilts

Prof. Dr.-Ing. Gennadi Zikoridse

Berichte aus dem ivb

Band 14

Rodja Fabian Sonntag

Schnelle Beladung von Dieselpartikelfiltern mit Asche

Shaker Verlag
Aachen 2016

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.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 2016

Copyright Shaker Verlag 2016

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-4892-6

ISSN 2364-3862

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Zeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Verbrennungskraftmaschinen der Technischen Universität Braunschweig.

Mein besonderer Dank gilt zunächst Herrn Prof. Dr.-Ing. Peter Eilts für seine Unterstützung und sein Engagement bei der Betreuung dieser Arbeit. Durch seine konstruktiven Anmerkungen und Hinweise hat er entscheidend zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen. Ebenfalls herzlich bedanken möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Gennadi Zikoridse für die freundliche Übernahme des Zweitgutachtens sowie bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Ferit Küçükay für sein Mitwirken in der Prüfungskommission.

Diese Arbeit ist zu einem großen Teil das Ergebnis des von der Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen e.V. (FVV, Frankfurt) geförderten Projekts Schnellveraschung. Der FVV und insbesondere dem Arbeitskreis unter der Führung des Obmanns Herrn Dr. rer. nat. Bernhard Lüers sei an dieser Stelle herzlichst für die Unterstützung gedankt.

Ein weiterer Dank gebührt meinen Kollegen und Freunden, durch die ich meine Promotionszeit in schöner Erinnerung behalten werde. Meinen ehemaligen Kolleginnen und Kollegen am Institut für Verbrennungskraftmaschinen danke ich für die gute Zusammenarbeit. Ein besonderer Dank geht an das ehemalige Büro 014 für das großartige Arbeitsklima und die zahlreichen gemeinsamen außerdienstlichen Aktivitäten.

Ich danke allen Studenten, die mit ihren Ausarbeitungen zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben oder mir bei anderen Projekten unterstützend zur Seite standen.

Weiterhin danke ich meinem Schwiegervater Herrn Dr. Gerhard Rubow für die zahlreichen Diskussionen und Anregungen, die wesentlich zum Erfolg dieser Arbeit beigetragen haben.

Ferner danke ich meiner Frau für ihr immerwährendes Verständnis, ihre unerschöpfliche Geduld und ihr herzliches Einfühlungsvermögen. Zuletzt danke ich meinen Kindern, die mir jeden Tag wieder zeigen, was die wirklich wichtigen Dinge im Leben sind.

Kurzfassung

Aus der Literatur sind zahlreiche Verfahren zur schnellen Veraschung von Partikelfiltern bekannt. Es ist jedoch weitestgehend ungeklärt, wie sich diese Verfahren in Kombination miteinander verhalten und welches dieser Verfahren zu der realitätsnahesten Asche führt. Da auch die Einflussgrößen auf die Ascheentstehung nicht vollständig geklärt sind, werden Partikelfilter im Rahmen dieser Arbeit in einem definierten Zyklus aus mehreren Betriebspunkten auf unterschiedliche Art verascht. Die erste Veraschung erfolgt ohne Maßnahmen zur erhöhten Einbringung von Asche mit einem Low-SAPS-Öl. Die auf diese Weise erhaltene Asche dient als Referenz und wird im Weiteren mit den untersuchten Verfahren verglichen.

Es werden dabei folgende vier Verfahren untersucht:

1. Erhöhung des Sulfatascheanteils im Motoröl
2. Brennergestützte Aschezugabe
3. Öleinspritzung in den Ansaugkanal
4. Kraftstoffdotierung

Die Schnellveraschungen erfolgen im gleichen Zyklus und mit demselben Motor wie der Referenzlauf. Dadurch ist ein direkter Vergleich der einzelnen Verfahren möglich. Die bei den einzelnen Verfahren entstehende Asche wird hinsichtlich des Ablagerungsortes, der Aschemorphologie und -zusammensetzung, der Wiederfindungsrate, des Differenzdrucks und des maximal erzielten Raffungsfaktors bewertet und mit der Referenz verglichen.

Darüber hinaus werden Schaumfilter mit einem nachgestellten großmotorischen Abgas mit Asche beladen und auf ihre Eignung am Großmotor geprüft.

Abstract

There are numerous methods for rapid ashing of particulate traps known from literature. However, it is largely unknown how the results of rapid ashing processes are compared with each other and which one generates the most realistic ash. Since the influencing variables on the ash formation are not yet fully understood, a particle filter in a defined cycle is ashed at several operating points within the framework of this work. The first ashing takes place with Low SAPS oil without any methods to increase the quantity of produced ash. The obtained ash is used as a reference and is compared hereinafter with the process examined.

The following four methods will be studied:

1. Increase of sulfated ash level in the engine oil
2. Burner generated ash addition
3. Oil injection into the intake manifold
4. Fuel doping

The rapid ashing processes are run in the same test cycle and with the same engine as the reference run. Thus, a direct comparison of the different methods is possible. The resulting ash is evaluated in terms of deposition, morphology and composition, recovery rate and differential pressure. Next to this, the time saving factor is calculated and compared to the reference.

In addition foam filters are loaded with ash with a simulated large bore engine exhaust. So the suitability is proved for these large bore engines.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	IV
Abstract	V
1 Einleitung.....	1
1.1 Motivation	1
1.2 Methodik und Zielsetzung	2
2 Stand der Forschung und Technik	3
2.1 Dieselmotorische Verbrennung	3
2.1.1 Schadstoffentstehung	3
2.1.1.1 Gasförmige Schadstoffe	4
2.1.1.2 Partikel	6
2.1.2 Schadstoffreduzierung	8
2.1.3 Partikelfilter.....	11
2.1.3.1 Aufbau und Funktionsweise von DPF	12
2.1.3.2 Regeneration von DPF	16
2.1.3.3 Beschichtung von Partikelfiltern	18
2.2 Aschequellen	20
2.3 Ascheablagerungen im Partikelfilter.....	21
2.3.1 Art der Ascheablagerungen	21
2.3.2 Aschetransport im Partikelfilter	22
2.4 Ölverbrauch	25
2.4.1 Ölverbrauchsmechanismen	25
2.4.2 Messung des Ölverbrauchs	29
2.5 Öladitive	30
2.6 Methoden der Schnellveraschung.....	32
2.6.1 Erhöhung des Sulfatascheanteils.....	32
2.6.2 Brennergestützte Aschezugabe	33
2.6.3 Öleinspritzung Ansaugkanal	34
2.6.4 Kraftstoffadditivierung	34
2.6.5 Weitere Methoden zur Schnellveraschung.....	36
2.7 Offenporige Filter bei motorischen Anwendungen	37
3 Versuchsaufbau und Durchführung experimenteller Untersuchungen.....	38
3.1 Prüfstands Aufbau	38
3.1.1 Motorprüfstand	38
3.1.2 Laborgasprüfstand.....	40
3.1.3 Strömungsprüfstand	41
3.2 Messtechnik.....	42

3.2.1	Standardmesstechnik	42
3.2.2	Partikelmesstechnik	43
3.3	Veraschungszyklus	44
3.4	Verwendete Motoröle	50
3.5	Abgasnachbehandlungssystem	52
3.6	Brennersystem.....	54
3.6.1	Aufbau des Brenners	55
3.6.2	Parametrierung des Ölsprays	61
3.6.3	Parametrierung des Blaubrenners	67
3.6.4	Parametrierung des Gelbbrenners mit angepasstem Rußmassenstrom	67
3.6.5	Nachstellung ECA-Betrieb	68
3.7	Öleinspritzung in den Ansaugkanal.....	72
3.7.1	Systemaufbau.....	72
3.7.2	Parametrierung.....	74
3.8	Kraftstoffdotierung	75
4	Ergebnisse experimenteller Untersuchungen an Wandstromfiltern	76
4.1	Differenzdruck Wandstromfilter.....	79
4.2	Ölverbrauch und Aschefanggrad.....	83
4.3	Chemische Zusammensetzung.....	85
4.4	Physikalische Charakterisierung der Ascheablagerungen.....	87
4.4.1	Computertomographie	87
4.4.2	Bestimmung der Ascheschichtstärke	89
4.4.3	Aschemassenverteilung.....	94
4.4.4	Packungsdichte	97
4.4.5	Röntgendiffraktometrie.....	98
4.4.6	Porosität	100
4.4.7	Partikelgrößenverteilung.....	101
4.5	Optische Charakterisierung der Aschen.....	102
4.6	Konvertierung veraschter Proben	110
4.6.1	Konvertierung aschefreier Proben	110
4.6.2	Konvertierung aschehaltiger Proben	112
4.6.3	Konvertierung des mit Asche beladenen DOC.....	115
4.7	Wiederholbarkeit von Veraschungsläufen.....	119
4.7.1	Einflussparameter auf die Ascheentstehung.....	119
4.7.2	Beschreibung des Veraschungslaufs zur Wiederholbarkeit.....	122
4.7.3	Ergebnisse des Veraschungslaufs zur Wiederholbarkeit.....	123
4.8	Ergebniszusammenfassung Schnellveraschungsverfahren	126

4.8.1	Sulfatascheerhöhung	127
4.8.2	Brennergestützte Aschezugabe	128
4.8.3	Öleinspritzung Ansaugkanal	129
4.8.4	Kraftstoffdotierung	131
5	Experimentelle Untersuchungen an offenzelligen Filtern	133
6	Bewertung der Ergebnisse	141
6.1	Aschemorphologie und –charakteristik	141
6.2	Wirtschaftliche Parameter	143
6.3	Verfahrenseigenschaften	144
6.4	Weitere Systemeigenschaften	146
6.5	Gesamtbewertung	146
7	Zusammenfassung und Ausblick	148
8	Formelzeichen und Abkürzungen	150
9	Literaturverzeichnis	154
10	Anhang	163