

Thomas Koch
Christian Beidl
Hermann Rottengruber

Wissenschaftliche Analyse zum Einsatz temperaturabhängiger Emissionsregelungen von Dieselmotoren

Technische Studie zum Stand des Wissens,
Weiterentwicklung des Standes der Technik
und zur Bewertung der generellen
Notwendigkeit temperaturabhängiger
Emissionsregelungsansätze mit besonderem
Schwerpunkt auf Abgasrückführsysteme

EBOOK INSIDE



Springer Vieweg

Wissenschaftliche Analyse zum Einsatz temperaturabhängiger Emissions- regelungen von Dieselmotoren

Thomas Koch · Christian Beidl ·
Hermann Rottengruber

Wissenschaftliche Analyse zum Einsatz temperaturabhängiger Emissionsregelungen von Dieselmotoren

Technische Studie zum Stand des Wissens,
Weiterentwicklung des Standes der
Technik und zur Bewertung der generellen
Notwendigkeit temperaturabhängiger
Emissionsregelungsansätze mit
besonderem Schwerpunkt auf
Abgasrückführsysteme

 Springer Vieweg

Thomas Koch
Pfinztal, Deutschland

Christian Beidl
Darmstadt, Deutschland

Hermann Rottengruber
Unterschleißheim, Deutschland

ISBN 978-3-662-61876-9 ISBN 978-3-662-61877-6 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-61877-6>

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

© Der/die Herausgeber bzw. der/die Autor(en), exklusiv lizenziert durch Springer-Verlag GmbH, DE, ein Teil von Springer Nature 2020

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Springer Vieweg ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH, DE und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

Allgemeine Erläuterung zu dieser Publikation:

Im Verlauf der öffentlichen Diskussion und zahlreicher rechtlicher Bewertungen der Notwendigkeit temperaturabhängiger dieselmotorischer Emissionsregelungsansätze insbesondere bei der Emissionsnorm EURO5, also bei Fahrzeugen des typischen Verkaufszeitraumes zwischen 2009 und 2014, ist der Verband der Automobilindustrie VDA e.V. auf die Autoren dieser Publikation zugegangen und hat um die Ausarbeitung einer wissenschaftlichen Studie gebeten. Aufgrund der besonderen Komplexität der Thematik ergibt sich nur ein kleiner Kreis an Fachexperten, die sich forschungsseitig zum einen intensiv mit den zur Diskussion stehenden physikalisch-chemischen Abläufen beschäftigen und zudem über die sehr wichtigen Kenntnisse der Entwicklungsprozesse verfügen.

Diese Studie sollte insbesondere den Stand des Wissens der Zusammenhänge zwischen Temperatur und schädlichen Belagsbildungsphänomenen aufzeigen. Nun soll sie in Form einer fortentwickelten Studie auch der Wissenschaft und Allgemeinheit zugänglich gemacht werden.

Noch immer sind Belagsbildungsphänomene, also wandnahe, chemisch-reaktive, instationäre Strömungsphänomene Gegenstand intensiver Forschungsaktivitäten. So werden beispielsweise im Rahmen eines Sonderforschungsbereiches SFB / Transregio 150, der von der Deutschen Forschungsgesellschaft gefördert wird und unter der Federführung der Technischen Universität Darmstadt in Kooperation mit dem Karlsruher Institut für Technologie bearbeitet wird, verschiedene technische Fragestellungen zu wandnahen Strömungsphänomenen analysiert. Weltweit sind noch immer intensive Forschungsaktivitäten zu verzeichnen, auf die auch im Rahmen dieser Ausarbeitung eingegangen wird.

Die Autoren hoffen, mit dieser Studie eine hilfreiche Zusammenfassung für die Diskussion der aufgeführten Fragestellungen zur Verfügung zu stellen.

Inhaltsverzeichnis

1.	Allgemeine Erläuterungen, inhaltliche Schwerpunkte und Struktur dieser Studie	3
	Zusammenfassung 1: Allgemeine Erläuterungen, inhaltliche Schwerpunkte und Struktur dieser Studie	4
2.	Einleitung zum Stand der bestverfügbaren Technik	5
	Allgemeine Informationen zu Stickstoffoxidemissionen	5
	Temperaturabhängige Regelungsalgorithmen und die Wechselwirkung mit Belagsbildungsphänomenen	8
	Zusammenfassung 2: Einleitung zum Stand der bestverfügbaren Technik	9
3.	Allgemeine Grundlagen der Belagsbildung	10
	Zusammenfassung 3: Allgemeine Grundlagen der Belagsbildung	11
4.	Entwicklung des Wissens über die Belagsbildung von Abgasrückführsystemen	13
	Zusammenfassung 4: Entwicklung des Wissens über die Belagsbildung von Abgasrückführsystemen	25
5.	Entwicklung des Wissens über die Belagsbildung und Temperaturabhängigkeit von Abgasnachbehandlungssystemen	27
	Zusammenfassung 5: Entwicklung des Wissens über die Belagsbildung und Temperaturabhängigkeit von Abgasnachbehandlungssystemen	29
6.	Funktionsweise und Herausforderungen des Abgasrückführsystems	30
	Zusammenfassung 6: Funktionsweise und Herausforderungen des Abgasrückführsystems	33
7.	Grundlagen der Entwicklungsmethodik und Absicherung im Entwicklungsprozess	34
	Zusammenfassung 7: Grundlagen der Entwicklungsmethodik und Absicherung im Entwicklungsprozess	36
8.	Risiken für Motorschäden und sicheren Betrieb des Fahrzeuges.....	38
	8.1 Diskussion der negativen Folgen einer nicht- temperaturabhängigen Regelung der Abgasrückführung	38
	8.2 Diskussion des unvorhersehbaren, auch durch Wartungsarbeiten nicht zu vermeidenden Schadensfalls bei einem Fahrzeugbetrieb außerhalb der abgesicherten Betriebsbedingungen	40
	8.3 Diskussion der temperaturabhängigen AGR-Regelung am Beispiel des Dieselpartikelfilters 43	
	8.4 Generelle Diskussion des Einflusses von Applikationsänderungen insbesondere für die Emissionsstufe EURO5	53
	Zusammenfassung 8: Risiken für Motorschäden und sicheren Betrieb des Fahrzeuges	54
9.	Regulatorische Vorgaben zur Notwendigkeit einer temperaturabhängigen NO _x -Emissionsregelung	56
	Zusammenfassung 9: Regulatorische Vorgaben zur Notwendigkeit einer temperaturabhängigen NO_x-Emissionsregelung	58
10.	Zusammenfassung	59
	Fazit 10.: Zusammenfassung	61
11.	Erklärung der Autoren	64
	Literatur	65



1. Allgemeine Erläuterungen, inhaltliche Schwerpunkte und Struktur dieser Studie

Diese Studie behandelt die temperaturabhängigen Regelungsansätze von emissionsbeeinflussenden Bauteilen von Verbrennungsmotoren (umgangssprachlich auch „Thermofenster“ genannt). Insbesondere konzentriert sich die Studie auf dieselmotorische PKW-Anwendungen mit einem besonderen Augenmerk auf EURO5 Fahrzeuge.

Hierbei orientiert sich die Studie an folgenden Kernfragen:

1. Was ist ein Thermofenster?
2. Warum gibt es ein Thermofenster? Ist ein Thermofenster erforderlich, um den Motor oder weitere Bauteile vor Beschädigung zu schützen? Welche Schäden sind ohne die Verwendung von Thermofenstern konkret zu befürchten? Können diese durch regelmäßige Wartungsarbeiten verhindert werden? Kann ohne ein Thermofenster in der Konsequenz auch ein sicherer Betrieb des Fahrzeugs gefährdet sein?
3. Gibt es sachlich nur ein einheitliches („richtiges“) Thermofenster für alle Dieselfahrzeuge?
4. Konnte das Thermofenster aufgrund fortschreitender technologischer Erkenntnisse im Laufe der Jahre verändert und ausgedehnt werden?
5. Entspricht die Verwendung von Thermofenstern in Dieselmotoren der Abgasnorm EU4, EU5 und EU6 dem Stand von Wissenschaft und Technik bzw. der bestverfügbaren Technik?
6. Gibt es alternative Werkstoffe, alternative Konzeptionen oder Konstruktionen, mit denen die Abgasrückführung ohne ein Thermofenster betrieben werden könnte?

Für eine temperaturabhängige Regelung wird umgangssprachlich gelegentlich der Begriff des „Thermofensters“ verwendet. „Thermofenster“ ist indes kein definierter Fachbegriff. Der Begriff dient hier vielmehr als Kurzform dafür, die Temperaturabhängigkeit eines technisch-physikalischen Systems zu benennen. Aus ingenieurmäßiger Sicht beschreibt es jenen Temperaturbereich (der sich beispielsweise auf eine Temperatur an einem Systembauteil oder auf die Umgebungstemperatur beziehen kann), in dem ein System seine spezifizierten Auslegungseigenschaften hat. Der Begriff wird in der gegenständlichen Fragestellung insbesondere auf sogenannte Abgasrückführsysteme (kurz AGR-System) bezogen. Allgemeine Grundlagen hierzu finden sich in kompakter Form in Kapitel 2.

Generell wichtig ist der Sachverhalt, dass eine temperaturabhängige Regelung, also das, was als Thermofenster bezeichnet wird, ganz allgemein für viele technische Systeme notwendig ist. So arbeitet die Regelung von Fahrzeugkühlsystemen, von Fahrzeugantriebsbatterien, von Fahrzeugklimaanlagen, von elektronischen Schaltungen oder Prozessoren, Visco-Kupplungen und ganz allgemein von Abläufen von Energie- oder Stoffwandlungsprozessen typischerweise in Abhängigkeit von charakteristischen Temperaturgrößen. Technische Systeme sind nicht unter allen Temperaturbedingungen in gleicher Weise funktionsfähig.

Außerhalb des Thermofensters ist nur ein eingeschränkter oder gar kein Betrieb des technischen Systems möglich. Mit Hilfe elektronischer Regelungen kann jedoch für einen Betrieb außerhalb des Thermofensters eine jeweils optimale Parametrierung gefunden werden, die die technischen Potenziale bestmöglich ausnützt. Innerhalb des Thermofensters arbeitet das System mit maximaler Leistungsfähigkeit. Wird der Temperaturbereich des Thermofensters verlassen, können einzelne Bauteile und in weiterer Folge der ganze Motor beschädigt werden, was auch sicherheitsrelevant sein kann.

Welche physikalischen, also vor allem temperaturabhängigen Randbedingungen bei der Regelung des Verbrennungsmotors vorliegen, welche Herausforderungen zu beachten waren und welcher Wissensstand hier im Verlauf der beiden letzten Jahrzehnte aufgebaut wurde, dies darzustellen, ist ein wesentliches Element dieser Studie. Die physikalisch-chemischen Randbedingungen, die vor allem das AGR-System betreffen, sind in den Kapiteln 3 und 4 dargestellt.

Kompakt wird auf ähnliche Herausforderungen bei Abgasnachbehandlungssystemen in Kapitel 5 verwiesen.

Anschließend wird im Kapitel 6 auf die genauen technischen Anforderungen und Bauteilbelastungen des AGR-Systems eingegangen. Hierfür liegen Stellungnahmen von Entwicklungsverantwortlichen namhafter internationaler Zulieferbetriebe vor.

Inwiefern, auf welcher Grundlage und über welche Zeiträume diese Bauteil- oder Systembelastungen beispielsweise des Abgasrückführfades im Rahmen des Entwicklungsprozesses von Fahrzeugen abgebildet werden können, wird im Kapitel 7 erläutert. Ein wesentliches Ziel des Entwicklungsprozesses ist die Vermeidung eines unerwünschten Bauteilversagens. Mögliche Konsequenzen eines Bauteilversagens und Risiken für den sicheren Betrieb des Fahrzeugs bei Missachtung einer temperaturabhängigen Abgasrückführung werden daher im Kapitel 8 diskutiert.

Es schließt sich ein Kapitel 9 an, in dem die geltenden technisch-regulatorischen Randbedingungen aus technischer Sicht bewertet werden. Hintergrund für dieses Kapitel war eine teilweise deutlich abweichende Interpretation der technisch-regulatorischen Vorgaben durch fachfremde Institutionen oder Personen, deren Analyse im Widerspruch zum technischen Sachverhalt und der technischen Einschätzung steht.

Die Studie schließt mit einer Zusammenfassung (Kapitel 10) und einer Erklärung der Ersteller dieser Studie zur Unabhängigkeit bei der Erstellung dieser Ausarbeitung (Kapitel 11).

Zusammenfassung 1.: Allgemeine Erläuterungen, inhaltliche Schwerpunkte und Struktur dieser Studie

Diese Studie erläutert allgemein die Notwendigkeit von temperaturabhängigen Regelungsansätzen, die oftmals durch den Begriff „Thermofenster“ charakterisiert werden.

Die Struktur dieser Studie wird vorgestellt. Insbesondere wird bereits einleitend auf die generell sinnhafte und in der Technik oftmals applizierte Regelung verschiedener Systeme auf der Basis von temperaturbasierten Größen eingegangen.