



Markus Anton Bauer

Entstehung von Formaldehydemissionen in Magergasmotoren

Herausgegeben von:
Prof. Dr.-Ing. Georg Wachtmeister
LVK – Lehrstuhl für Verbrennungskraftmaschinen
Technische Universität München

Zugleich:
Dissertation, München, Technische Universität München, 2015

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben - auch bei nur auszugsweiser Verwendung - vorbehalten.

Die Informationen in diesem Buch wurden mit großer Sorgfalt erarbeitet. Dennoch können Fehler nicht völlig ausgeschlossen werden. Verlag und Autor übernehmen keine juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für eventuell verbliebene fehlerhafte Angaben und deren Folgen.

Layout und Satz: Markus A. Bauer
Copyright © Markus A. Bauer 2015
ISBN: 978-3-943813-15-9
1. Auflage

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN
Lehrstuhl für Verbrennungskraftmaschinen

Entstehung von Formaldehydemissionen in Magergasmotoren

Markus Anton Bauer

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Maschinenwesen
der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktor-Ingenieurs
genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. phil. Klaus Bengler

Prüfer der Dissertation: 1. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Georg Wachtmeister
2. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Thomas Sattelmayer

Die Dissertation wurde am 29.12.2014 bei der Technischen Universität München
eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen am 20.05.2015 angenommen.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	III
Inhaltsverzeichnis	V
Formelzeichen und Abkürzungen	VII
Abbildungsverzeichnis.....	XVII
Tabellenverzeichnis	XXIII
1 Einleitung.....	1
1.1 Zielsetzung.....	2
1.2 Vorgehensweise	3
2 Stand der Technik	5
2.1 Formaldehyd	5
2.1.1 Allgemeines	5
2.1.2 Entstehung und Vorkommen	5
2.1.3 Toxikologie	7
2.1.4 Immissionsschutz	8
2.2 Gasmotoren.....	9
2.2.1 Schadstoffemissionen von Gasmotoren.....	10
2.2.2 Abgasgesetzgebung für stationäre Gasmotoren.....	11
2.2.3 Gemischzusammensetzung und Brennverfahren	12
2.2.4 Brenngase für Gasmotoren	15
2.3 Formaldehyd im Verbrennungsprozess	16
2.3.1 Mehrphasige Niedertemperaturentflammung	16
2.3.2 Einphasige Hochtemperaturentflammung und vorgemischte Flamme.....	17
2.4 Möglichkeiten der motorischen Formaldehydentstehung	20
2.5 Messverfahren.....	23
3 Vorgehensweise	27
3.1 Motorversuche	27
3.2 Simulationen	27
4 Motorversuche	29
4.1 Prüfstands Aufbau.....	29

4.1.1	Versuchsmotor AVL520LVK.....	30
4.1.2	Versuchsmotor MTU396.....	34
4.2	Emissionsmessung.....	35
4.2.1	Abgasmesstechnik.....	35
4.2.2	Einheiten.....	35
4.3	Basisversuche.....	37
4.4	Parametervariationen.....	40
4.4.1	Brenngasvariationen.....	40
4.4.2	Drallvariationen.....	48
4.4.3	Variation des Verdichtungsverhältnisses.....	53
4.4.4	Variation der Brennraumgeometrie.....	58
4.4.5	Variation des Feuerstegvolumens.....	62
4.5	Stichversuche.....	72
4.5.1	Kühlmitteltemperatur.....	72
4.5.2	Frischgastemperatur.....	75
4.5.3	Abgasgedruck.....	77
4.5.4	Einfluss der Frischgasfeuchte.....	82
4.5.5	Entnahmeposition im Abgasstrang.....	87
4.6	Diskussion der Versuchsergebnisse.....	92
5	Numerische Simulation.....	97
5.1	Auswahl des Simulationswerkzeugs und des Reaktionsmechanismus.....	97
5.2	Reaktionskinetische Untersuchungen der Nachreaktionen in der Abgasanlage.....	101
5.3	Reaktionskinetische Untersuchungen der Vor- und Nachreaktionen im unverbrannten Zylinderinhalt des Versuchsmotors.....	105
5.3.1	Formaldehydentstehung durch Vorreaktionen im Endgas.....	105
5.3.2	Formaldehydentstehung durch Nachoxidationsreaktionen.....	112
6	Diskussion der Ergebnisse.....	115
7	Abgasnachbehandlung und Übertragbarkeit der Ergebnisse auf Vollmotoren.....	127
8	Zusammenfassung und Ausblick.....	135
9	Literaturverzeichnis.....	135

