

Johanna Musiol

**Einsatz zellularer metallischer Strukturen  
im motornahen Abgasstrang zur Reduktion  
der Kohlenwasserstoff-Emission  
in der Kaltstartphase**



Herbert Utz Verlag · München

# Institut für Materialforschung – Bayreuth

Band 24

Zugl.: Diss., Bayreuth, Univ., 2006

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek:  
Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation  
in der Deutschen Nationalbibliografie;  
detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über  
<http://dnb.ddb.de> abrufbar.

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

Copyright © Herbert Utz Verlag GmbH · 2006

ISBN 3-8316-0641-2

Printed in Germany

Herbert Utz Verlag GmbH, München  
089-277791-00 · [www.utzverlag.de](http://www.utzverlag.de)

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG .....</b>	<b>1</b>
<b>2 GRUNDLAGEN.....</b>	<b>4</b>
<b>2.1 Emissionen bei der ottomotorischen Verbrennung während der Kaltstart- und Warmlaufphase .....</b>	<b>4</b>
2.1.1 Abgasgesetzgebung.....	5
2.1.2 Entstehung schädlicher Abgaskomponenten, insbesondere unverbrannter Kohlenwasserstoffe .....	5
2.1.3 Abgasnachbehandlung.....	9
<b>2.2 Frei durchströmbare Strukturen - Herstellung, Eigenschaften und Einsatz .....</b>	<b>12</b>
<b>3 EXPERIMENTELLE ARBEITEN.....</b>	<b>17</b>
<b>3.1 Werkstoffe, Strukturen und Bauteile .....</b>	<b>17</b>
3.1.1 Hochtemperaturbeständige frei durchströmbare Strukturen .....	17
3.1.2 Abgaskrümmen .....	18
<b>3.2 Experimentelle Vorgehensweise.....</b>	<b>19</b>
3.2.1 Apparativer Aufbau, Probengeometrien und Versuchsdurchführung .....	19
3.2.1.1 Modifizierter Gaschromatograph.....	19
3.2.1.2 Einzylinder-Motor-Prüfstand .....	22
3.2.1.3 Metallographische Analyse .....	27
3.2.1.4 Methodik zur Charakterisierung der physikalischen Eigenschaften .....	28
3.2.2 Thermodynamische Simulation .....	30
3.2.3 Prototypenerprobung.....	31
<b>4 ERGEBNISSE .....</b>	<b>34</b>
<b>4.1 Metallographische Strukturcharakterisierung.....</b>	<b>34</b>
4.1.1 Mesostruktureller Aufbau .....	34
4.1.2 Mikrostruktureller Aufbau .....	38
<b>4.2 HC-Adsorptionscharakterisierung.....</b>	<b>43</b>
4.2.1 Modifizierter Gaschromatograph .....	43
4.2.2 Ein-Zylinder-Motor-Prüfstand .....	44
<b>4.3 Eigenschaftscharakterisierung .....</b>	<b>48</b>
4.3.1 Thermophysikalische Eigenschaften.....	48
4.3.2 Schallabsorption und Strömungswiderstand.....	52

<b>4.4 Simulationsergebnisse .....</b>	<b>59</b>
4.4.1 Simulation der thermischen Dynamik.....	59
4.4.2 Strömungssimulation.....	61
<b>4.5 Prototypencharakterisierung .....</b>	<b>62</b>
4.5.1 Prototypenbewertung .....	62
4.5.2 Prototypenerprobung.....	63
<b>5 DISKUSSION UND SCHLUSSFOLGERUNGEN .....</b>	<b>70</b>
<b>5.1 Prüftechniken zur Bestimmung von HC-Adsorptionseigenschaften.....</b>	<b>70</b>
<b>5.2 Struktureigenschaften.....</b>	<b>72</b>
5.2.1 Thermophysikalische Kennwerte .....	72
5.2.2 Akustische Eigenschaften und Strömungsresistanz .....	76
5.2.3 Adsorptions-/Desorptionsmechanismen .....	88
<b>5.3 Prototypenbewertung.....</b>	<b>93</b>
<b>6 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK .....</b>	<b>96</b>
<b>7 LITERATUR.....</b>	<b>104</b>
<b>8 ANHANG .....</b>	<b>110</b>
<b>8.1 Anhang A.....</b>	<b>110</b>
<b>8.2 Anhang B.....</b>	<b>112</b>
<b>8.3 Anhang C.....</b>	<b>115</b>

# 1 Einleitung und Zielsetzung

Vor dem Hintergrund eines stetig wachsenden individuellen und gewerblichen Kraftfahrzeugverkehrs zusammen mit dem steigenden ökologischen Bewusstsein der Gesellschaft stellt die Reduzierung von Kraftstoffverbrauch, Emissionen und Lärm von Kraftfahrzeugen ein wichtiges Ziel der Automobilindustrie dar. Neue Gesetzgebungen, die die Emissionen von Kraftfahrzeugen regulieren, wie die bevorstehende Einführung der EURO V, stellen die Automobilhersteller zusätzlich vor steigende Herausforderungen. Der verstärkte Einsatz von technischen Neuentwicklungen, wie z.B. elektronischer Motorsteuerungssysteme, führte in den letzten Jahren neben einer Leistungssteigerung auch zu einer deutlichen Verbesserung der Abgasqualität. Zusätzlich unterstützen moderne Abgasnachbehandlungssysteme die Maßnahmen zur Schadstoffreduzierung.

Trotz der Fülle an verfügbaren Innovationen, wie z.B. Abgasrückführung (EGR), ist die Problematik des erhöhten Kohlenwasserstoffausstoßes bei der ottomotorischen Verbrennung vor allem während der Kaltstartphase immer noch präsent. Gerade in dieser Phase entstehen aufgrund unvollständiger Verbrennung bis zu 90% der emittierten Kohlenwasserstoffe [FRISCHMUTH M. (2000)], die im Rahmen der anschließenden Abgasnachbehandlung aufgrund niedriger Katalysatortemperatur nicht vollständig umgesetzt werden können.

Der Einsatz effizienter und wirtschaftlicher motornaher Abgasnachbehandlungssysteme, die neben der Reduktion dieser Schadstoffe zusätzlich auch akustische Vorteile bieten, stellt daher einen entscheidenden Beitrag zur Umweltentlastung dar.

In diesem Zusammenhang kann die neue Werkstoffklasse der zellularen metallischen Strukturen zur Reduktion der Kohlenwasserstoffe in der Kaltstartphase funktionell beitragen. Sie zeichnet sich durch die hohe Porosität bei gleichzeitig variabel einstellbaren Eigenschaften aus. Basierend auf dem Prinzip der Adsorption sollen bei einem motornahem Einsatz die Kohlenwasserstoffe in der Struktur gespeichert und idealerweise frühestens bei Erreichung der Light-Off-Temperatur des Katalysators wieder desorbiert werden.

Bei ersten Voruntersuchungen am Otto-Sechs-Zylinder-Motorprüfstand in der DaimlerChrysler Forschung in Untertürkheim konnte das Potential der zellularen metallischen Werkstoffe festgestellt werden. Hierbei wurde beobachtet, dass die Menge der emittierten Kohlenwasserstoffe in den ersten Sekunden des Kaltstarts durch den Einsatz poröser Inlays im motornahen Abgasstrang um ca. 20% reduziert wurde. Bei der Potenzialbestimmung und Auslegung solcher Systeme ist jedoch zuvor eine Reihe sowohl technischer als auch wirtschaftlicher Herausforderungen zu lösen. Die Grundlage hierbei

bildet die Kenntnis der Eigenschaften poröser Strukturen, nicht nur im Hinblick auf die Adsorptionsfähigkeit sondern auch hinsichtlich akustischer und thermophysikalischer Eigenschaften in Korrelation zum Strukturaufbau.

Im Rahmen dieser Arbeit werden somit die Zusammenhänge zwischen Strukturaufbau, sowie Struktur- und Bauteileigenschaften erarbeitet. Das Ziel ist hierbei die Entwicklung und Bewertung eines Konzeptes für eine neue Abgasnachbehandlungstechnologie zur Reduzierung von Kohlenwasserstoff-Emissionen in der Kaltstartphase eines Ottomotors unter Einsatz frei durchströmbarer metallischer Strukturen im motornahen Abgasstrang.

Wie in Abbildung 1.1 zusammenfassend dargestellt ist, werden zunächst zwei Prüftechniken zur Untersuchung der HC-Adsorptionsprozesse entwickelt und aufgebaut, welche unter Minimierung der Freiheitsgrade schnell und effizient die Bestimmung und Bewertung der HC-Kondensatbildungs- sowie HC-Kondensatspeicherungsfähigkeit poröser Strukturen ermöglichen. Ausgehend von zwei zellularen metallischen Strukturen, dem galvanisch hergestellten offenporigen Metallschaum und gesinterter Hohlkugelstruktur, werden die Zusammenhänge zwischen Strukturaufbau (wie z.B. Kugel-, bzw. Porendurchmesser, Wandporosität, Wandstärke, Strukturdichte) und den in dieser Arbeit ermittelten Eigenschaften entwickelt. Hierzu gehören Messungen der HC-Adsorptionsfähigkeit, der Strömungsresistenz und -impedanz sowie Untersuchungen der Wärmeleitfähigkeit, Wärmekapazität und -ausdehnung. Unterstützt werden diese Untersuchungen von Simulationsberechnungen des Strömungsverhaltens sowie des Wärmehaushaltes. Parallel zur grundlegenden Eigenschaftscharakterisierung der zellularen Strukturen wird eine Verifizierung des Verhaltens an Prototypen durchgeführt. In Motorprüfstandtests wird in diesem Zusammenhang das HC-Reduktionspotenzial der konzipierten Bauteile während der Kaltstartphase untersucht. Zusätzlich werden im Rahmen erster Bewertung der Umsetzbarkeit der Innovation technologische Fragestellungen wie die Herstellung der Einlegebauteile und die Fügetechnologie beleuchtet.

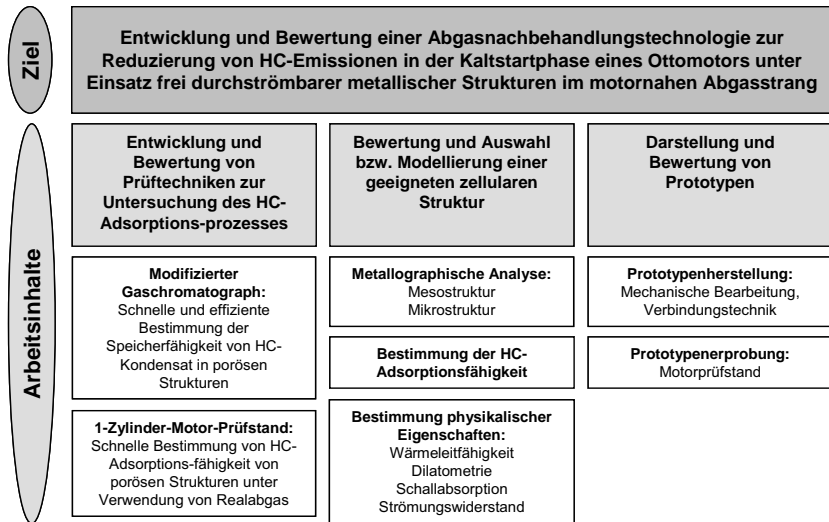


Abbildung 1.1: Struktur der vorliegenden Dissertation.