

FORTSCHRITT-  
BERICHTE

**VDI**

Dipl.-Ing. Thomas Kirchner, Köln

**Experimentelle Untersu-  
chungen und dynamische  
Simulation der Autoabgas-  
katalyse zur Verbesserung  
des Kaltstartverhaltens**

Reihe **12**: Verkehrstechnik/  
Fahrzeugtechnik

Nr. **331**

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>Formelzeichen und Abkürzungen</b>	<b>VIII</b>
<b>Zusammenfassung</b>	<b>XIV</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Gesetzliche Limitierung der Autoabgasemissionen . . . . .	2
1.2 Katalytische Abgasnachbehandlung . . . . .	4
1.3 Inhalt und Ziel der Arbeit . . . . .	6
<b>2 Reaktionskinetik am 3-Wege-Katalysator</b>	<b>9</b>
2.1 Katalysator und Reaktionssystem . . . . .	11
2.2 Versuchsreaktoren . . . . .	13
2.2.1 Differentialkreislaufreaktor . . . . .	13
2.2.2 Flachbettreaktor . . . . .	15
2.2.3 Einsatzbereiche der Reaktoren . . . . .	17
2.3 Experimentelle Ermittlung der Reaktionskinetik . . . . .	18
2.3.1 Voruntersuchungen im Differentialkreislaufreaktor . . . . .	18
2.3.2 Reaktionskinetikmodell für 3-Wege-Katalysatoren . . . . .	29
2.3.3 Kinetikermittlung im Flachbettreaktor . . . . .	31
<b>3 Modellbildung und Kaltstartproblematik des Autoabgaskatalysators</b>	<b>42</b>
3.1 Eindimensionales Zweiphasenmodell . . . . .	44

3.2	Kaltstartverhalten des Autoabgaskatalysators . . . . .	48
3.3	Numerische Lösungsmethode . . . . .	51
<b>4</b>	<b>Bewertung und Optimierung bekannter Kaltstartkonzepte</b>	<b>53</b>
4.1	Elektrisch beheizter Vorkatalysator . . . . .	54
4.1.1	Kaltstartverhalten mit Ekats . . . . .	55
4.1.2	Verfahrenstechnische Optimierung des Ekats . . . . .	58
4.1.3	Kaltstartverhalten mit optimiertem Ekats . . . . .	64
4.2	Externer Benzinbrenner . . . . .	67
4.2.1	Kaltstartverhalten mit Brenner . . . . .	69
4.3	Kohlenwasserstoff-Adsorber . . . . .	74
4.3.1	Experimentelle Untersuchungen am DAY-Zeolith . . . . .	76
4.3.2	Mathematisches Modell des Adsorbers . . . . .	78
4.3.3	Kaltstartverhalten mit Adsorber . . . . .	80
<b>5</b>	<b>Reaktive Katalysatorbeheizung, ein neues Kaltstartkonzept</b>	<b>90</b>
5.1	Auswahl der geeigneten Reaktionskomponente . . . . .	91
5.2	Einfluß der Abgaskomponenten auf die Wasserstoff-Verbrennung . . . . .	94
5.3	Simulationsergebnisse zur reaktiven Beheizung . . . . .	97
5.3.1	Aufheizung mit Wasserstoff/Luft-Gemisch . . . . .	97
5.3.2	Kaltstartverhalten mit reaktiver Katalysatorbeheizung . . . . .	102
5.4	Experimentelle Untersuchung der reaktiven Beheizung . . . . .	106
5.4.1	Versuchsanlage . . . . .	106
5.4.2	Aufheizung mit Wasserstoff/Luft-Gemisch . . . . .	106
5.4.3	Kaltstart mit reaktiver Katalysatorbeheizung . . . . .	109
<b>6</b>	<b>Desaktivierung von Autoabgaskatalysatoren</b>	<b>112</b>

6.1	Katalysatorvergiftung und thermische Alterung . . . . .	112
6.2	Temperaturspitzen unter dynamischen Betriebsbedingungen . . . . .	114
6.3	Einfluß der Katalysatoralterung auf das Kaltstartverhalten . . . . .	121
<b>7</b>	<b>Vergleich und Bewertung der untersuchten Kaltstartkonzepte</b>	<b>129</b>
<b>A</b>	<b>Herleitung des Reaktionskinetik-Ansatzes</b>	<b>133</b>
A.1	Langmuir-Hinshelwood-Mechanismus mit adsorbierender Fremdkomponente	133
A.2	Langmuir-Hinshelwood-Mechanismus mit Adsorption an verschiedenen aktiven Zentren . . . . .	135
<b>B</b>	<b>Ergebnisse der reaktionskinetischen Untersuchungen</b>	<b>137</b>
B.1	Versuchsergebnisse zu den Reaktionsteilsystemen . . . . .	137
B.2	Versuchsergebnisse zum vollständigen Reaktionssystem . . . . .	142
<b>C</b>	<b>Herleitung und Zusammenstellung der Modellgleichungen</b>	<b>155</b>
<b>D</b>	<b>Modellparameter</b>	<b>159</b>
D.1	Herleitung der effektiven, radialen Wärmeleitfähigkeit von Monolithen . . .	159
D.2	Geometrische Größen am Monolith und Stoffwertkorrelationen . . . . .	164
D.3	Zusammenstellung der Simulationsparameter . . . . .	166
<b>E</b>	<b>Hochtemperaturanlage zur künstlichen Katalysatoralterung</b>	<b>169</b>
E.1	Hochtemperatur-Versuchsanlage . . . . .	170
E.2	Anstehende Untersuchungen zur Katalysator-Alterung . . . . .	174
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>176</b>