

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	i
Summary	iii
Inhaltsverzeichnis	v
1 Einleitung	1
2 Grundlagen	3
2.1 NH ₃ -SCR-Abgasnachbehandlung	3
2.1.1 Reaktionen und Grundlegendes	3
2.1.2 SCR-Katalysatormaterialien	5
2.2 Hochfrequenzgestütztes Messverfahren	7
2.3 Stand der Technik	10
2.3.1 Abgasnachbehandlungssysteme für Dieselmotoren	10
2.3.2 Harnstoffdosierung und NH ₃ -Durchmischung	14
2.3.3 Regelung eines SCR-Systems	16
2.3.4 Hochfrequenzgestützte Zustandsdiagnose in der Abgasnachbehandlung	17
3 Zielsetzung und Aufbau der Arbeit	19
4 Experimentelle Methoden	21
4.1 Untersuchte SCR-Katalysatoren	21
4.2 Hochfrequenzgestütztes Messverfahren und Datenanalyse	24
4.3 Synthesegasprüfstand	26
4.4 Motorprüfstand	28
4.5 Regelungssystem zur Harnstoffdosierung	30
4.6 Finite-Elemente-Modellierung	32
4.6.1 Hohlraumresonatoren	32
4.6.2 Modellbasierte Permittivitätsbestimmung aus Messdaten	34
5 Studie zur Eignung aktueller SCR-Katalysatoren am Synthesegasprüfstand	37
5.1 Grundlegende Betrachtung von Einflussgrößen auf die NH ₃ -Beladungserkennung	37
5.1.1 NH ₃ -Konzentration und Temperatur	37
5.1.2 NH ₃ -Oxidation bei metallkationenausgetauschten Zeolithen	42
5.1.3 Einfluss von Kohlenwasserstoffen, Wasserstoff und Kohlenmonoxid	47

5.1.4 Vergleich der Materialeffekte und Ansatz zur Permittivitätsabschätzung	50
5.2 Charakterisierung neuer und gealterter Serien- und Forschungskatalysatoren	61
5.2.1 Testverfahren	61
5.2.2 Chemische Charakterisierung	65
5.2.3 Hochfrequenzsignal und Feuchteeinfluss	72
5.3 Zusammenfassende Betrachtung der Eignungsstudie	77
6 Untersuchungen am Motorprüfstand unter stationären Bedingungen	79
6.1 Beobachtungen am HF-geregelter SCR-System	79
6.1.1 Funktionstest und Einfluss der Harnstoffdosierrate	79
6.1.2 Stöchiometrische Harnstoffdosierung	82
6.1.3 Einfluss der NH ₃ -Beladung auf den Katalysatorumsatz	83
6.1.4 Temperaturabhängigkeit des Hochfrequenzsignals	89
6.1.5 Abgasfeuchte und Kaltstartwasser	90
6.2 Vergleichende Diskussion des Hochfrequenzsignals und von Alterungseffekten	94
6.2.1 Temperaturabhängigkeit des HF-Signals auf NH ₃ -freie Katalysatoren und dessen NH ₃ -Empfindlichkeit	94
6.2.2 NH ₃ -Speicherfähigkeit, NO _x -Umsatz und Zielkurve für transienten Betrieb	98
6.2.3 Kaltstartverhalten	101
6.3 Zusammenfassende Betrachtung der stationären Motorversuche	107
7 Transiente Versuche am Motorprüfstand mit automatischer HF-geregelter Harnstoffdosierung	109
7.1 Transienter Testzyklus	109
7.2 Einfluss der NH ₃ -Zielbeladung auf den NO _x -Umsatz	112
7.2.1 Analyseverfahren	112
7.2.2 Anwendung verschiedener Ansätze der NH ₃ -Zielbeladung	116
7.2.3 Vergleich des Umsatzverhaltens von neuen und gealterten Katalysatorsystemen	120
7.3 Betrachtung von Quereinflüssen auf das HF-Signal und Ansatz zur HF-Signalkorrektur	125
7.4 Zusammenfassende Betrachtung der transienten Versuche am Motorprüfstand	129
8 Modellierung des SCR-Katalysatorsystems	131
8.1 Aufbau des chemischen Modells	131
8.2 Anpassung der Modellparameter an Synthesegasmessungen	134
8.3 Übertragung des Modells auf Motorprüfstandsversuche	141
9 Zusammenfassung und Ausblick	145
Anhang	151
A Kalibrierfunktionen des HF-Systems am Motorprüfstand	151

Abkürzungen und Symbole	155
Literaturverzeichnis	159
Verzeichnis eigener Publikationen	173
Danksagung	177
Lebenslauf	179