

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	2
Eidesstattliche Erklärung.....	4
Kurzfassung	5
1 Einleitung, Forschungsgegenstand und Zielsetzung.....	11
1.1 Mobilität und Globale Emissionssituation	11
1.2 Technische Herausforderungen im Spannungsfeld	18
1.3 Zielsetzungen.....	20
2 Grundlagen Verbrennung, Schadstoffe, Katalyse und Verfahren	22
2.1 Schadstoffentstehung bei der dieselmotorischen Verbrennung.....	22
2.1.1 Kraftstoff	22
2.1.2 Thermische Umsetzung	23
2.1.3 Verfahrensführung.....	24
2.2 Gasförmige Schadstoffe aus Dieselabgasen.....	25
2.2.1 Kohlenwasserstoffe (HC).....	27
2.2.2 Kohlenstoffmonoxid (CO).....	30
2.2.3 Kohlenstoffdioxid (CO ₂).....	32
2.2.4 Stickoxide (NO _x)	32
2.2.5 Schwefelverbindungen (SO _x).....	36
2.2.6 Ammoniak (NH ₃)	36
2.3 Grundlagen der heterogenen Katalyse	36
2.3.1 Prinzip	36
2.3.2 Kenngrößen von Katalysatoren	41
2.4 Verfahren zur Abgasreinigung.....	43
2.4.1 Nicht-selektive katalytische CO-, HC-, H ₂ -, und NO-Oxidation (DOC).....	46
2.4.2 Selektive CO-Konvertierung durch direkte thermische Zersetzung	47
2.4.3 Nicht-selektive katalytische NO _x -Reduktion (HC-CR oder NSCR)	48
2.4.4 Nicht-selektive katalytische NO _x -Speicherung (PNA) und Reduktion (LNT) ..	50
2.4.5 Nicht-selektive katalytische Reduktion von NO _x mittels H ₂ (H ₂ -DeNO _x)	57
2.4.6 Selektive nicht-katalytische NO _x -Reduktion (SNCR)	59
2.4.7 Selektive NO _x -Rückführung (SNR)	60
2.4.8 Selektive NO _x -Reduktion durch direkte thermische NO-Zersetzung.....	60
2.4.9 Selektive katalytische Reduktion von NO _x mittels Ammoniak (NH ₃ -SCR).....	62
2.4.10 Selektive direkte Zersetzung von N ₂ O.....	65
3 Grundlagen Modelle und Messtechnik	66
3.1 Modelle.....	66
3.1.1 Modellierung der Fahrzeuglängsdynamik.....	66

3.1.2	Modellierung der Abgasnachbehandlung	67
3.2	Abgasmesstechnik	70
3.2.1	Paramagnetischer Detektor (PMD)	71
3.2.2	Flammenionisationsdetektor (FID)	72
3.2.3	Chemolumineszenz-Detektor (CLD)	73
3.2.4	Nichtdispersiver Infrarotsensor (NDIR)	74
3.2.5	Quantenkaskadenlaser (QCL)	75
3.2.6	Fourier-Transform-Infrarotspektrometer (FTIR)	76
3.2.7	Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC)	78
3.2.8	Massenspektroskopie (MS)	79
4	Methodisches Vorgehen	81
4.1	Prozessschritte	82
4.1.1	Anforderungsanalyse (R)	83
4.1.2	Zielwerte (T)	83
4.1.3	Modellbasiertes Systemdesign (S)	84
4.1.4	Teilsystemintegration (I-1)	84
4.1.5	Vollsystemintegration (I-2)	85
4.2	Entwicklungswerkzeuge	85
4.2.1	Entwicklungswerkzeuge der modellbasierten Entwicklung	86
4.2.2	Entwicklungswerkzeuge der experimentellen Entwicklung	86
4.2.3	Synthese der Entwicklungswerkzeuge	86
5	Anforderungsanalyse	89
5.1.1	Prüfzyklen und Prüfverfahren	90
5.1.2	Grenzwerte Abgasemissionen	91
5.2	Funktionale Anforderungen	97
5.3	Geometrische Anforderungen Bauraum Abgasnachbehandlung	99
5.4	Zielwerte für die Entwicklung	100
5.4.1	Zielwertkatalog – Aufbau und Struktur	100
5.4.2	Zielwertkatalog – Inhalte	104
5.4.3	Zielwertkatalog – Entwicklungsmatrix	121
6	Modellbasiertes Systemdesign	123
6.1	Fahrzeugkonzeption	124
6.1.1	Fahrzeugarchitektur	132
6.1.2	Charakteristik Fahrzeug	134
6.1.3	Charakteristik Dieselmotor	134
6.1.4	Charakteristik Kennungswandlung	135
6.1.5	Charakteristik Fahrzeugantrieb	136
6.1.6	Charakteristik Abgasnachbehandlung	137

6.2	Modellaufbau für Längsdynamiksimulation.....	139
6.2.1	Gesamtmodell.....	139
6.2.2	Einzelmodelle.....	142
6.3	Längsdynamiksimulation Gesamtsystem.....	156
6.3.1	FTP75-Testzyklus.....	158
6.3.2	US06-Testzyklus.....	163
6.3.3	HFET-Testzyklus.....	165
6.3.4	SC03-Testzyklus.....	167
6.4	Auslegung Abgasnachbehandlung.....	171
6.4.1	SCR-Reduktionsmittelzuführung.....	172
6.4.2	SCR-Reduktionsmittelaufbereitung.....	174
6.4.3	SCR-Reduktionsmittelzumessung.....	180
6.5	Systemintegration.....	187
6.5.1	Beschreibung Zielfahrzeug.....	188
6.5.2	Systemintegration in Zielfahrzeug.....	188
7	Experimentelle Systemintegration.....	191
7.1	Teilsystemintegration und Voroptimierung am Prüfstand.....	191
7.1.1	Versuchsaufbau auf dem Motorprüfstand.....	192
7.1.2	Thermomanagement Abgasnachbehandlung.....	200
7.1.3	Gleichverteilung SCR-Reduktionsmittelgleichverteilung.....	203
7.1.4	Abgasgegendruck Abgasnachbehandlung.....	207
7.1.5	Schadstoffemissionen.....	209
7.1.6	Treibhausgasemissionen und Kraftstoffeffizienz.....	216
7.2	Vollsystemintegration und Detailoptimierung im Fahrzeug.....	225
7.2.1	Versuchsaufbau des Prototypenfahrzeuges.....	225
7.2.2	Thermomanagement Abgasnachbehandlung.....	229
7.2.3	Schadstoffemissionen.....	238
7.2.4	Treibhausgasemissionen und Kraftstoffeffizienz.....	262
8	Analyse der Leistungsfähigkeit der Modellkette.....	269
8.1	Definition der Kennwerte.....	269
8.2	Analyse motorischer Parameter.....	279
8.2.1	Pedalwert, Gangstufe, Motorleistung, Energie.....	280
8.2.2	Motoröltemperatur.....	282
8.2.3	Raumgeschwindigkeiten Katalysatoren.....	282
8.2.4	Abgastemperaturen.....	283
8.3	Analyse der Emissionsspezies.....	284
8.3.1	NO _x -Emissionen.....	285
8.3.2	THC-Emissionen.....	289
8.3.3	CO-Emissionen.....	293

8.3.4	CO ₂ -Emissionen	297
9	Zusammenfassung	302
9.1	Entwicklungsmethodik SULEV30	303
9.2	Funktionsnachweis SULEV30	308
10	Ausblick.....	316
10.1	Funktion	316
10.2	Technologiepaket	317
10.3	Methodik	320
11	Anhang	323
11.1	Anhang Kapitel 1.....	323
11.2	Anhang Kapitel 5.....	325
11.3	Anhang Kapitel 6.....	329
11.4	Anhang Kapitel 7.....	334
11.5	Anhang Kapitel 8.....	338
	Symbolverzeichnis arabischer Buchstaben.....	346
	Symbolverzeichnis griechischer Buchstaben	346
	Indizes	347
	Abkürzungsverzeichnis	348
	Chemische Elemente / Verbindungen	353
	Literaturverzeichnis.....	355
	Abbildungsverzeichnis	369
	Tabellenverzeichnis	385