

---

## Inhaltsverzeichnis

---

<b>Kurzfassung</b>	<b>I</b>
<b>Abstract</b>	<b>III</b>
<b>Vorwort</b>	<b>V</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>XI</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>XVII</b>
<b>Symbolverzeichnis</b>	<b>XVIII</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>XXII</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Motivation . . . . .	1
1.2 Gliederung der Arbeit . . . . .	3
<b>2 Grundlagen und Stand der Technik</b>	<b>5</b>
2.1 Grundlagen der Antriebsstrangentwicklung . . . . .	5
2.1.1 Entwicklungsprozess und -methodik . . . . .	6
2.1.2 Entwicklungsumgebungen . . . . .	7
2.2 Systemtopologie von Motor- und Antriebsprüfständen . . . . .	9
2.2.1 An- und Abtriebskonfiguration . . . . .	9
2.2.2 Automatisierungssystem und Regelung . . . . .	10
2.2.3 Medienversorgung und -konditionierung . . . . .	12
2.2.4 Messtechnik und Datenübertragung . . . . .	13
2.2.5 Restbussimulation . . . . .	18
2.2.6 Sonstige Systeme . . . . .	19
2.3 Schadstoffemissionen von Ottomotoren . . . . .	21
2.3.1 Gasförmige Emissionen . . . . .	22
2.3.2 Partikelemissionen . . . . .	33
2.4 Emissionsgesetzgebung . . . . .	39

---

---

2.4.1	Historische Entwicklung	39
2.4.2	Aktueller Stand	40
2.5	Entwicklungsmethodiken und -plattformen für die RDE-Emissionierung	46
2.5.1	Auswirkungen von RDE auf die Emissionierung	46
2.5.2	Entwicklungsmethodiken für die RDE-Emissionierung	49
<b>3</b>	<b>Ziele und Inhalte dieser Arbeit</b>	<b>57</b>
<b>4</b>	<b>Erhöhung der RDE-Absicherungskonfidenz durch schadstoff- und antriebs-spezifische Fahrzyklen</b>	<b>63</b>
4.1	Einsatz von Fahrzyklen in der Emissionierung	63
4.2	Ableitung von Zielen und Maßnahmen für die Erzeugung spezifischer Fahrzyklen	64
4.3	Untersuchungen zur Schadstoffbildung und Identifikation kritischer Fahr-manöver und Antriebszustände	68
4.3.1	Versuchsträger und Prüfstandstopologie	70
4.3.2	Manöver für hohe Emissionen von Stickoxiden	73
4.3.3	Manöver für hohe Partikelrohemissionen	94
4.4	Methodik zur Erzeugung von Fahrzyklen aus den identifizierten Ma-növern	104
4.4.1	Methoden der Zyklengenerierung	105
4.4.2	Mathematische Grundlagen	106
4.4.3	Modellierung von Fahrzeug, Antrieb und Fahrer	113
4.4.4	Aufbau einer durchgängigen Werkzeugkette durch Kombination von Manöverdaten, Zyklengeneration und Modellumgebung	115
4.5	Ergebnisse	130
4.5.1	Zyklen für Stickoxidemissionen	130
4.5.2	Zyklen für Partikelemissionen	148
4.6	Fazit	153
<b>5</b>	<b>Bewertung von Prüfstandssystemen hinsichtlich ihrer Eignung für die RDE-Emissionierung</b>	<b>155</b>
5.1	Bewertungskriterien	155

---

---

5.1.1	Versuchsaufgabe und Regelart . . . . .	156
5.1.2	Medienkonditionierung . . . . .	159
5.1.3	Dynamik der Belastungseinheiten . . . . .	160
5.2	Ist-Stand des Prüffeldes und Toolentwicklung . . . . .	161
5.3	Ergebnisse . . . . .	165
5.3.1	Quantitative Analyse . . . . .	165
5.3.2	Qualitative Analyse . . . . .	169
<b>6</b>	<b>Ableitung und Implementierung von Maßnahmen zur Erhöhung der Eignung ausgewählter Prüfstandssysteme für die RDE-Emissionierung</b>	<b>181</b>
6.1	Fahrzeugrealistische Ladeluftkühlung am Prüfstand . . . . .	182
6.1.1	Anforderungen . . . . .	182
6.1.2	Lösungskonzept . . . . .	184
6.1.3	Validierung . . . . .	187
6.2	Datenquellen für realistische Streckeninformationen . . . . .	193
6.2.1	Betrachtete Datenquellen . . . . .	194
6.2.2	Möglichkeiten der Datennachbearbeitung . . . . .	196
6.2.3	Bewertung . . . . .	200
6.3	Simulative Abbildung der PHEV-Betriebsstrategie am konventionellen Motorprüfstand . . . . .	202
6.3.1	PHEV Grundlagen . . . . .	202
6.3.2	Elemente der Simulationsumgebung . . . . .	205
6.3.3	Versuchsumgebung und Referenzmessung . . . . .	209
6.3.4	Reproduktion der Referenzmessung . . . . .	213
6.3.5	Fahrzeugunabhängige Parametervariation . . . . .	216
6.3.6	Fazit . . . . .	218
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Schlussfolgerungen</b>	<b>221</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>		<b>225</b>
<b>A</b>	<b>Modellierung mit künstlichen neuronalen Netzen</b>	<b>249</b>
A.1	Übersicht von Modellierungsansätzen . . . . .	249
A.2	Aufbau künstlicher neuronaler Netze . . . . .	250

---

---

A.3	Feature selection und Architekturbestimmung . . . . .	252
A.3.1	Datenaufbereitung und Preprocessing . . . . .	252
A.3.2	Fehler- und Bestimmtheitsmaße . . . . .	254
A.3.3	Feature selection . . . . .	255
A.3.4	Architekturbestimmung . . . . .	256
A.4	Festlegung des finalen KNNs . . . . .	257