

Inhaltsverzeichnis

Vorwort des Herausgebers.....	III
Vorwort.....	V
Kurzfassung	VI
Abstract.....	VII
Inhaltsverzeichnis.....	VIII
Chemische Formelzeichen.....	XIII
Griechische Formelzeichen	XIV
Lateinische Formelzeichen.....	XIV
Indizes	XV
1 Einleitung	1
2 Theoretische Grundlagen	3
2.1 Ottomotor	3
2.1.1 Grundlagen	3
2.1.2 Druckverlaufsanalyse.....	6
2.1.3 Nulldimensionale und phänomenologische Simulation der Verbrennung	7
2.2 Emissionsentstehung und physikalisch-phänomenologische Abbildung beim Ottomotor mit Direkteinspritzung	15
2.2.1 Stickstoffoxide.....	16
2.2.2 Kohlenstoffmonoxid	19
2.2.3 Kohlenstoffdioxid	21
2.2.4 Unverbrannte Kohlenwasserstoffe.....	21
2.3 Maschinelles Lernen.....	25
2.3.1 Definition.....	25
2.3.2 Neuronale Netze und Deep Learning Algorithmen	30
2.3.3 Verknüpfung von Methoden des Maschinellen Lernens.....	35
3 Stand der Technik.....	37
3.1 Rolle der Emissionsmodellierung in der Antriebsentwicklung.....	37
3.2 Physikalisch-phänomenologisch basierte Modellierung von Emissionen.....	38
3.3 Datenbasierte Modellierung in der Antriebsentwicklung	39

3.4	Hybride Modellierungsansätze	40
4	Ziel der Arbeit	43
5	Experimentelle Methodik	44
5.1	Prüfstandsversuch	44
5.1.1	Versuchsträger	44
5.1.2	Messtechnik	47
5.2	Stationäre Kennfeldmessungen	49
5.3	Ableitung und Messung realer Lastprofile am hochdynamischen Motorenprüfstand	51
6	Modellbildung	55
6.1	Physikalisch-phänomenologische Modellierung	55
6.1.1	Druckverlaufsanalyse	56
6.1.2	Verbrennungsmodell	61
6.1.3	Optimierung der Emissionsmodelle	64
6.1.4	Motormodell	68
6.2	Datenbasierte Modellierung	72
6.2.1	Anwendungsspezifisch geeignete Methoden des Maschinellen Lernens	74
6.2.2	Aufbereitung der Messdaten	75
6.2.3	Bestimmung der Modelleingänge	78
6.2.4	Modellaufbau und Hyperparametertuning	80
6.3	Hybride Modellierungsansätze	89
6.3.1	Voraussetzung für die Kombination der Modellansätze	89
6.3.2	Parallele Architektur	94
6.3.3	Serielle Architektur	98
7	Analyse der Modellqualität	101
7.1	Physikalisch-phänomenologisches Imitationsmodell	103
7.2	Datenbasiertes Modell	105
7.3	Paralleles Hybridmodell	107
7.4	Serielles Hybridmodell	109
7.5	Vergleich datenbasiertes und paralleles Hybridmodell	111

8 Fazit und Ausblick..... 114

Literaturverzeichnis 118