

2 Stand der Technik

Wie einleitend beschrieben, zeigen die Entwicklungen der letzten Jahre auf dem Gebiet der Zylinderdrucksensorik, dass ein Serieneinsatz möglich ist. So finden bereits heute unterschiedliche Zylinderdruck basierte Regelkonzepte Anwendung in der elektronischen Motorsteuerung von Serienmotoren, wenngleich dies immer noch eine Seltenheit darstellt. Wie in [27] und [28] vorgestellt, bietet beispielsweise Volkswagen seit Mitte 2008 in den USA einen 2,0-l-Dieselmotor mit zylinderindividueller Druckerfassung zur Regelung des indizierten Momentes und der Verbrennungsschwerpunktlage an, um auch bei unterschiedlichen Kraftstoffqualitäten Bin5-Emissionsgrenzwerte einzuhalten. In [74] wird von General Motors ein 2,0-l-Biturbodieselmotor mit ebenfalls einer Zylinderdruck basierten Regelung der Verbrennungsschwerpunktlage vorgestellt. Die zylinderindividuelle Verbrennungsregelung dient bei diesem Motor, welcher seit Anfang 2012 in Serienfahrzeugen verbaut wird, zur Stabilisierung einer teilhomogenen Verbrennung im Teillastbereich. In [53] stellt General Motors eine Zylinderdruck basierte Verbrennungsregelung für einen Ottomotor vor, um den Einfluss von Alterungseffekten und fertigungsbedingten Toleranzen auf die Verbrennung zu kompensieren. Während sich die Automobilhersteller mit Publikationen von Arbeiten zur Zylinderdruck basierten Motorsteuerung relativ bedeckt halten, wurden von Hochschulen, Zulieferern und Entwicklungsdienstleistern jedoch diverse Arbeiten veröffentlicht.

Das Potential einer Verbrennungsregelung zur Kompensation des Kraftstoffeinflusses auf die Verbrennung wird in [65] diskutiert. Das vorgestellte Konzept wird an zwei in den USA erhältlichen Kraftstoffen von unterschiedlicher Qualität untersucht und umfasst zwei getrennte Regelstrukturen. Mit Hilfe des Ansteuerbeginnes und der Masse der Voreinspritzung werden der Beginn und der maximale Umsatz der Vorverbrennung geregelt. Aufgrund ihres kleinen Gesamtumsatzes ist die Schwerpunktlage der Pilotverbrennung als Brennbeginn definiert. Die Hauptverbrennung wird über die Schwerpunktlage und die maximale Umsatzrate geregelt. Stellgrößen sind dabei der Ansteuerbeginn der Haupteinspritzung und der Raildruck.

In [39] wird ein Zylinderdruck basiertes Motormanagement vorgestellt, welches als wesentliches Merkmal das aus der Fahrpedalstellung abgeleitete Fahrerwunschmoment nicht über eine rein gesteuerte Strecke sondern über eine Verbrennungsregelung bereitstellt. In zwei voneinander unabhängigen Regelkreisen werden zylinderindividuell der indizierte Mitteldruck und der Verbren-

nungsbeginn ermittelt, um die bereitgestellte Energie zur Erzeugung des Antriebsmomentes sowie die Verbrennungslage zu regeln.

Ebenfalls auf Basis einer Heizverlaufsrechnung wird in [15] die Verbrennungsschwerpunktlage für die Regelung der Verbrennung eines Nutzfahrzeug-Dieselmotors herangezogen. Diskutiert werden die Ergebnisse anhand einer Simulationsumgebung. Während in GT-Power [23] der Motor modelliert wird, ist die Regelstruktur in Matlab/Simulink umgesetzt.

In [67] wird eine emissionsgeführte Regelung für Nutzfahrzeugmotoren vorgestellt, welches die Einflüsse von Alterungseffekten und Bauteiltoleranzen auf die Emissionen kompensiert. Dabei werden die NO_x - und Partikelrohmissionen über Sensoren erfasst und dem Regelkreis zugeführt. Die Partikelmissionen werden über den Rail- und den Ladedruck und die NO_x -Emissionen über die AGR-Rate und den, aus dem Zylinderdruck berechneten, Verbrennungsschwerpunkt geregelt.

Neben den Publikationen, in welchen unterschiedliche Ansätze zur Zylinderdruck basierten Regelung der Verbrennung vorstellt werden, gibt es eine Vielzahl an Arbeiten, die sich mit der Modellierung physikalischer Größen aus dem gemessenen Zylinderdruck beschäftigen. Ziel dieser Arbeiten ist zumeist die Substitution von Sensoren beziehungsweise die Modellierung von Größen, welche sich nur mit einem großen Aufwand sensieren lassen. Eine häufig aus dem Zylinderdruck berechnete Größe ist die Zylinderfüllung. Mit Hilfe der thermischen Zustandsgleichung und einem adaptiven Kalman-Filter mit Maximum Likelihood Ansatz wird diese in [29] und [30] bei einem Ottomotor ermittelt. Unter Berücksichtigung physikalischer Zusammenhänge wird in [56] die Luftmasse im Brennraum eines Ottomotors anhand des indizierten Zylinderdruckes, der Motordrehzahl und der Saugrohrtemperatur geschätzt. Der vorgestellte Ansatz ermöglicht zusätzlich eine Bestimmung des Luftverhältnisses sowie der Abgasrückführrate, deren Zylinderdruck basierte Modellierung ebenfalls Gegenstand der Untersuchungen in [38] ist. Mit der Füllungserfassung auf Basis des Zylinderdruckes bei einem Dieselmotor beschäftigen sich [45] und [49]. Während die Zylinderfüllung in [49] über Polynomansätze bestimmt wird, stellt [45] eine empirische Modellierung dieser mittels Extended-Kalman-Filter sowie eine physikalische Modellierung anhand eines iterativen Ansatzes zur Substitution des Heißfilmluftmassenmessers vor.

Weitere Arbeiten beschäftigten sich mit einer Zylinderdruck basierten Überwachung unterschiedlicher Größen, um Fehler im System zu erkennen. In [50] wird beispielsweise ein Konzept zur Überwachung der Einspritzmasse und des Einspritzbeginns vorgestellt. Über die Differenz aus einem rekonstruierten Druckverlauf für den Schleppbetrieb und dem gemessenen Druckverlauf im

gefeuerten Betrieb werden charakteristische Verbrennungsmerkmale, wie der Schwerpunkt des Differenzdruckverlaufes, der maximale Differenzdruck und Sekunden bei unterschiedlichen Druckniveaus bestimmt. Diese werden über neuronale Netze mit der Einspritzmasse und dem Einspritzbeginn verknüpft. Über den Vergleich mit den korrespondierenden Eingangssignalen lassen sich die Einspritzparameter überwachen und Fehler im Einspritzsystem erkennen.

Zum Entwurf neuer modellbasierter Regelstrategien beschäftigen sich zahlreiche Arbeiten mit der Emissionsmodellierung auf Basis des Zylinderdruckes. So werden in [13] mit Hilfe einer Exponentialfunktion die Partikelrohmissionen zweier Pkw-Dieselmotoren geschätzt. In [42] wird mit Hilfe einer Energiebilanz aus zugeführter Kraftstoffenergie und umgesetzter Energie, welche auf Basis einer neuartigen Heizverlaufsrechnung nach [52] und [70] ermittelt wird, ein Modell zur Schätzung der HC-Emissionen bei einem 9,5-l-Erdgasmotor vorgestellt. Um den Modellfehler bei der konventionellen Heizverlaufsrechnung infolge nicht berücksichtigter Wandwärmeverluste zu minimieren, wird in [52] und [70] der Heizverlauf mit einem variablen, selbst adaptierenden Polytropenexponenten berechnet. Mittels Methode der kleinsten Quadrate wird dieser in der Kompression und der Expansion in Echtzeit bestimmt und während der Verbrennung linear interpoliert.

Trotz der Vielzahl an Veröffentlichungen auf dem Gebiet des Zylinderdruckbasierten Managements von Dieselmotoren beschränken sich die dortigen Ansätze lediglich auf Regelstrategien des Luftpfades und der Verbrennung der Grundbetriebsart. Wenngleich sich sogar einige Arbeiten wie [74] mit der Regelung einer teilhomogenen Verbrennung beschäftigen, finden die seit Jahren in Serienmotoren eingesetzten Sonderbrennverfahren der Abgasnachbehandlung noch wenig Beachtung. Eine der wenigen Veröffentlichungen ist der in [63] vorgestellte Ansatz zur Regelung der Partikelfilterregeneration über die modellierte Abgasenthalpie und den indizierten Mitteldruck. Wie einleitend beschrieben, ist es Ziel dieser Arbeit, eine Zylinderdruckbasierte Regelung der Verbrennung von Sonderbrennverfahren eines Pkw-Dieselmotors zu entwerfen, welche zu einer Optimierung dieser beiträgt. Aufgrund der unterschiedlichen Randbedingungen stellen die Sonderbrennverfahren neue Anforderungen an eine Zylinderdruckbasierte Regelung dar.

Zylinderdruckbasierte Regelkonzepte für
Sonderbrennverfahren bei Pkw-Dieselmotoren

Held, N.

2017, XXX, 184 S. 122 Abb., Softcover

ISBN: 978-3-658-17585-6