

# Fortschritt-Berichte VDI

Reihe 12

Verkehrstechnik/  
Fahrzeugtechnik

Dipl.-Ing. Norbert Müller,  
Ludwigsburg

Nr. 545

## Adaptive Motorregelung beim Ottomotor unter Verwendung von Brennraumdruck- Sensoren

*HLuHB Darmstadt*



15654856

---

Berichte aus dem

Institut für  
Automatisierungstechnik  
der TU Darmstadt



# Inhaltsverzeichnis

<b>Symbole und Abkürzungen</b>	<b>VIII</b>
<b>1 Einführung</b>	<b>1</b>
1.1 Entwicklungen auf dem Gebiet der Motorsteuerungen	1
1.2 Stand der Forschung	4
1.3 Ziel und Inhalt der Arbeit	5
1.4 Inhaltliche Gliederung	6
<b>2 Kennfeld-basierte Regelung</b>	<b>7</b>
2.1 Einführung	7
2.2 Rasterkennfelder	10
2.2.1 Kennfeldaufbau und -zugriff	10
2.2.2 Off-line Optimierung der Stützstellenhöhen	12
2.2.3 On-line Adaption der Stützstellenhöhen mit NLMS-Verfahren	13
2.2.4 On-line Adaption der Stützstellenhöhen mit RLS-Verfahren	13
2.3 Delaunay-Netze	15
2.3.1 Aufbau und Konstruktionsalgorithmus	16
2.3.2 On-line Adaption der Stützstellenhöhen	18
2.4 Schnelle lokal lineare Neuronale Netze: LOLIMOT	18
2.4.1 Aufbau und Konstruktionsalgorithmus	19
2.4.2 On-line Adaption der Modellparameter	20
2.5 Vergleich der Kennfeld-Typen	21
2.6 Allgemeine Hinweise zur Adaption von Kennfeldern	26
2.7 Zusammenfassung	27
<b>3 Brennraumdruck-Auswertung</b>	<b>29</b>
3.1 Sensortechnologie	30
3.2 Signalfilterung	30
3.3 Rekonstruktion des Sensoroffsets	32
3.4 Generierung von Brennraumdruck-Kenngrößen	35
3.4.1 Merkmale des Druckverlaufs	36
3.4.2 Merkmale des Energieumsetzungsverlaufs	36
3.4.3 Indizierte Arbeit, indizierter Druck und indiziertes Moment	36
3.4.4 Merkmale zur Beschreibung zyklischer Schwankungen	39
3.5 Schleppdruck-Rekonstruktion	39
3.6 Verfahren zur on-line Berechnung des Brennverlaufs	40
3.6.1 Schnelle Heizverlaufsrechnung	41
3.6.2 Approximation der Durchbrennfunktion nach Rassweiler und Withrow	44
3.6.3 Approximation der Durchbrennfunktion nach McCuiston et al.	44
3.6.4 Approximation der Durchbrennfunktion nach Matekunas	46

3.6.5	Gewichteter Differenzdruck . . . . .	46
3.6.6	Diskussion der Verfahren zur Approximation der Durchbrennfunktion . . . . .	47
3.7	Anforderungen an Messtechnik und Signalerfassung . . . . .	48
3.8	Zusammenfassung . . . . .	50
<b>4</b>	<b>Optimierung des Zündwinkels</b> . . . . .	<b>51</b>
4.1	Einführung und Überblick . . . . .	51
4.2	Regelung des Zündwinkels mittels Brennraumdruck . . . . .	53
4.2.1	Stand der Forschung . . . . .	54
4.2.2	Brennraumdruck-Auswertung zur Zündwinkelregelung . . . . .	55
4.2.3	Reglerstruktur und Messergebnisse . . . . .	58
4.2.4	Bewertung der Zündwinkelregelung . . . . .	64
4.3	Klopferkennung und -regelung . . . . .	65
4.3.1	Stand der Technik . . . . .	66
4.3.2	Physikalischer Hintergrund . . . . .	66
4.3.3	Klopferkennung mittels Klopfintegral . . . . .	67
4.3.4	Klopferkennung durch Detektion der Druckschwingungsamplitude . . . . .	68
4.3.5	Regler-Struktur und Messergebnisse . . . . .	69
4.4	Zusammenfassung . . . . .	70
<b>5</b>	<b>Erfassung der Frischluftfüllung</b> . . . . .	<b>72</b>
5.1	Einführung und Überblick . . . . .	72
5.2	Verfahren zur Füllungserfassung . . . . .	74
5.2.1	Füllungserfassung mittels Saugrohrdrucksensor . . . . .	74
5.2.2	Modellierung der Saugrohrdynamik . . . . .	77
5.2.3	Füllungserfassung mittels Drosselklappenpotentiometer . . . . .	78
5.2.4	Füllungserfassung mittels Luftmassensensor . . . . .	80
5.3	Füllungserfassung mittels Brennraumdruck-Sensoren . . . . .	81
5.3.1	Auswertung des Brennraumdruck-Signals . . . . .	82
5.3.2	Empfindlichkeitsanalyse . . . . .	85
5.3.3	Füllungserfassung bei Leckagen . . . . .	86
5.4	Zusammenfassung . . . . .	87
<b>6</b>	<b>Regelung der AGR-Rate</b> . . . . .	<b>90</b>
6.1	Einführung . . . . .	90
6.2	Entwicklungsstand . . . . .	91
6.3	Brennraumdruck-Auswertung zur AGR-Regelung . . . . .	93
6.4	Struktur der Regelung . . . . .	95
6.5	Messergebnisse . . . . .	95
6.6	Zusammenfassung . . . . .	97
<b>7</b>	<b>Warmlaufregelung</b> . . . . .	<b>99</b>
7.1	Einführung . . . . .	99
7.2	Brennraumdruck-Sensoren zur Warmlaufregelung . . . . .	102
7.2.1	Regelung des Zündwinkels . . . . .	102
7.2.2	Reduzierung der Gemischanreicherung . . . . .	102
7.2.3	Gemischvertrimmung . . . . .	103
7.2.4	Messergebnis . . . . .	103
7.3	Zusammenfassung . . . . .	105

<b>8</b>	<b>Weitere Anwendungen des Brennraumdrucks</b>	<b>106</b>
8.1	On-line Adaption des Motormoment-Modells . . . . .	106
8.2	Erfassung des Luftverhältnisses . . . . .	108
8.2.1	Stand der Forschung . . . . .	109
8.2.2	Momentenbasierte Lambda-Schätzung . . . . .	110
8.2.3	Bewertung des Verfahrens . . . . .	112
8.3	Bestimmung der Nockenwellenstellung . . . . .	113
8.4	OT-Schätzung . . . . .	114
8.5	Erkennung von Verbrennungsaussetzern . . . . .	116
8.6	Zusammenfassung . . . . .	117
<b>9</b>	<b>Realisiertes Brennraumdruck-basiertes Motormanagement-System</b>	<b>119</b>
9.1	Das Rapid-Control-Prototyping- und das Indiziersystem . . . . .	119
9.2	Software-Struktur zur Echtzeit-Brennraumdruckauswertung . . . . .	120
9.3	Übersicht über implementierte Motorsteuerfunktionen . . . . .	121
<b>10</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>126</b>
<b>A</b>	<b>Parameter-Schätzverfahren</b>	<b>130</b>
A.1	Methode der kleinsten Fehlerquadrate (LS-Verfahren) . . . . .	130
A.2	Rekursive Methode der kleinsten Quadrate (RLS) . . . . .	131
A.3	Gradientenverfahren (LMS und NLMS) . . . . .	132
<b>B</b>	<b>Beschreibung des Motorenprüfstands</b>	<b>134</b>
B.1	Sensorik . . . . .	136
B.2	Prüfling . . . . .	137
B.3	Software . . . . .	139
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>151</b>