

Dipl.-Ing. Detlef König, Unterföhring

**Analyse nichtstationärer
Triebwerkssignale
insbesondere solcher
klopfender Betriebs-
zustände**

Reihe **12**: Verkehrstechnik/
Fahrzeugtechnik

Nr. **290**

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Einführung in die Thematik	1
1.2	Motorische Verbrennung und Klopfproblematik	3
1.3	Verbrennungsanalyse	5
1.3.1	Prüfstandsverfahren	5
1.3.2	Fahrzeugintegrierbare Verfahren	7
1.4	Zielsetzung und Gliederung der Arbeit	8
2	Modellierung der Triebwerkssignale	11
2.1	Grundlagen und Gültigkeitsbereich	11
2.2	Zylinderdruck	12
2.2.1	Drucksignalkomponenten	12
2.2.2	Klopfsignalanteil	14
2.2.3	Abtastung	24
2.2.4	Überprüfung der Zyklostationaritätsannahme	27
2.2.5	Ortsabhängigkeit des Zylinderdrucks	28
2.2.6	Drehzahlskalierbarkeit	31
2.3	Körperschall	32
2.3.1	Körperschallkomponenten	32
2.3.2	Schalleinkopplung und -übertragung	32
2.3.3	Kontinuierliches Signalmodell	33
2.3.4	Problemangepaßte Modellspezialisierung	36
2.3.5	Diskretes Signalmodell	38
2.4	Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse	39
3	Datenerfassung und -vorverarbeitung	41
3.1	Triebwerke, Sensoren und Signalaufbereitung	41
3.2	Datenerfassungsgeräte	44
3.2.1	Anforderungen und Systemkonzept	44
3.2.2	Prüfstandsgerät MOGA II	46
3.2.3	Neuentwickeltes Gerät	50
3.3	Digitale Signalaufbereitung	53
4	Wigner-Ville-Spektralanalyse	56
4.1	Zeit-Frequenz-Verfahren	56
4.1.1	Motivation	56

4.1.2	Quadratische, verschiebungsinvariante Verteilungen	58
4.2	Zielsetzung und Verfahrensklärung	60
4.3	Das Wigner-Ville-Spektrum	61
4.3.1	Definition und Bezug zu anderen Zeit-Frequenz-Spektren	62
4.3.2	Elementare Eigenschaften	63
4.3.3	Zeitdiskreter Ansatz	64
4.3.4	Momentanfrequenz	65
4.3.5	Schätzer und stochastische Eigenschaften	70
4.4	Analyse von Triebwerkssignalen	72
4.4.1	Verifikation des Signalmodells	72
4.4.2	Bestimmung des Resonanzfrequenzverlaufs	78
4.4.3	Sensorpositionsvergleiche	84
4.5	Effiziente Berechnungsverfahren	93
4.6	Vergleichende Schlußbetrachtung	96
5	Resonanzfrequenzmodulation	98
5.1	Problemstellung	98
5.2	Modellierung des Frequenzverlaufs	99
5.3	Schätzung der Modellparameter	100
5.3.1	Direkter Kleinste-Quadrate Ansatz	100
5.3.2	Iterativer Kleinste-Quadrate Ansatz	101
5.4	Verifikation des Schätzverfahrens	103
5.5	Analyse von Triebwerkssignalen	106
5.5.1	Drehzahlfeste Parameterschätzung	106
5.5.2	Drehzahlübergreifende Parameterschätzung	108
6	Zylinderdruckapproximation	115
6.1	Problemstellung	115
6.2	Theoretische Vorbetrachtungen	116
6.2.1	Beschreibungsformen zyklstationärer Prozesse	116
6.2.2	Optimalfilter	118
6.3	Ansätze zur Problemlösung	120
6.3.1	Triebwerksangepaßte Optimalfilter-Lösungen	121
6.3.2	Alternative Lösungsansätze	126
6.4	Experimentelle Ergebnisse	128
6.4.1	Prinzipielle Vorgehensweise und Fehlermaße	128
6.4.2	Einkanalige Analysen	129
6.4.3	Mehrkanalige Analysen	133

6.4.4	Vergleich von Sensorkombinationen	138
6.5	Anwendungsorientierte Aspekte	143
6.5.1	Drehzahlskalierbarkeit	144
6.5.2	Parameterreduktion	146
6.6	Schlußbetrachtung	147
7	Zusammenfassung und Ausblick	149
	Anhang	152
A	Anhang	152
A.1	Beweise zur Signalmodellierung	152
A.1.1	Zylinderdruck	152
A.1.2	Körperschall	155
A.1.3	Eigenschaften des Schätzers für die zweite Momentfunktion zyklota- tionärer Prozesse	156
A.2	Sensorpositionsvergleiche	157
A.3	Iteratives KQ-Problem	165
	Literatur	166