

Dipl.-Ing. Sebastian Bauer, München

# **Fehlerdiagnose bei Luftfahrttriebwerken**

Reihe **11** : Schwingungstechnik      Nr. **250**

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Problemstellung . . . . .	1
1.2	Stand der Forschung . . . . .	5
1.3	Ziel und Aufbau der Arbeit . . . . .	10
<b>2</b>	<b>Grundsätzliches Vorgehen der Diagnostik</b>	<b>15</b>
2.1	Datenreduktion . . . . .	21
2.2	Vorwärtsinterpolation . . . . .	25
2.3	Rückwärtsinterpolation . . . . .	31
2.4	Effizienz und Genauigkeit . . . . .	32
2.5	Steuerbarkeit und Beobachtbarkeit . . . . .	37
2.6	Auswahl der Trainingspunkte . . . . .	41
<b>3</b>	<b>Schwingungsphänomene bei Flugtriebwerken</b>	<b>45</b>
3.1	Lineare Effekte . . . . .	46
3.2	Schwingungseffekte durch nichtlineare Elemente . . . . .	52
3.3	Stöße und unstetige Vorgänge . . . . .	64
3.4	Modulation und Seitenbänder . . . . .	66
3.5	Rubbing . . . . .	71
3.6	Fluiddynamische Elemente . . . . .	71
3.7	Wälzlagerfehler . . . . .	73
3.8	Verspannungseffekte . . . . .	74
3.9	Parametererregung . . . . .	74
3.10	Instabilität durch interne Dämpfung . . . . .	75
3.11	Sonstige Effekte . . . . .	76
3.12	Folgerungen . . . . .	76

<b>4</b>	<b>Aufbereitung der Daten und Diagnostische Indikatoren</b>	<b>79</b>
4.1	Fouriertransformation und andere Verfahren der Spektralanalyse . . . . .	79
4.2	Wasserfalldiagramme . . . . .	82
4.3	Rotorsynchrone Abtastung . . . . .	85
4.4	Indikatoren der Ordnungsanalyse . . . . .	88
4.5	Bereichsindikatoren . . . . .	93
4.6	Andere Indikatoren . . . . .	95
<b>5</b>	<b>Klassische Methoden und „Künstliche Intelligenz“</b>	<b>98</b>
5.1	Interpolation . . . . .	98
5.2	Interpolation durch Radiale Basisfunktionen . . . . .	100
5.3	Interpolation durch GAUSSsche Normierte Radiale Basisfunktionen . . . . .	104
5.4	Verzerrte GAUSSsche Normierte Radiale Basisfunktionen . . . . .	105
5.5	Regression . . . . .	109
5.6	Neuronale Netze . . . . .	111
5.7	Fuzzy Logic . . . . .	116
5.8	Expertensysteme . . . . .	119
5.9	Zusammenfassung . . . . .	124
<b>6</b>	<b>Berechnungsbeispiele und praktische Verfahrensbewertung</b>	<b>126</b>
6.1	Gewählte Beispiel-Diagnoseparameter . . . . .	128
6.2	Diagnostische Indikatoren . . . . .	129
6.3	Diagnoseverfahren und Approximationsmethoden . . . . .	132
6.4	Einfluß unterschiedlicher Netzwerktopologien und Overfitting . . . . .	137
6.5	Einfluß des Formfaktors $\sigma$ bei Radialen Basisfunktionen . . . . .	139
6.6	Einfluß der Trainingsdatensätze . . . . .	139
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>145</b>
<b>A</b>	<b>Verwendete Indikatorsätze</b>	<b>147</b>
<b>B</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>149</b>