

Dipl.-Ing. Heiko Konrad, Wörrstadt

**Modellbasierte Methoden  
zur sensorarmen  
Fehlerdiagnose beim Fräsen**

Reihe **2**: Fertigungstechnik

Nr. **449**

# Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis wichtiger Formelzeichen und Abkürzungen .....	VIII
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Stand der Technik .....</b>	<b>3</b>
2.1 Wirtschaftliche Aspekte von Überwachungssystemen in der spanenden Fertigung .....	3
2.2 Überwachung von Zerspanprozessen am Beispiel des Fräsprozesses .....	5
2.2.1 Fehler beim Fräsen .....	6
2.2.2 Sensorik .....	7
2.3 Signalauswertung und Fehlererkennung .....	10
2.4 Zusammenfassung des Kapitels und weitere Spezifikation der Aufgaben- stellung .....	12
<b>3 Gesamtkonzept zur modellbasierten Fehlererkennung beim Fräsen .....</b>	<b>13</b>
<b>4 Modellierung eines Bearbeitungszentrums .....</b>	<b>15</b>
4.1 Beschreibung des Bearbeitungszentrums .....	15
4.2 X-Vorschubantrieb .....	16
4.2.1 Beschreibung der Komponenten .....	17
4.2.2 Zustandsraumdarstellung des Vorschubantriebs .....	22
4.2.3 Experimentelle Ermittlung der Modellparameter .....	23
4.2.3a Prinzip der Parameterschätzung für Frequenzgänge .....	23
4.2.3b Anwendung der Parameterschätzung für Frequenzgänge beim Vorschubantrieb .....	24
4.2.3c Identifikation der Reibung .....	27
4.2.4 Gesamtmodell des Vorschubantriebs .....	29
4.3 Hauptantrieb .....	31
4.4 Fräsprozeß .....	33
4.4.1 Werkstückkoordinatensystem .....	34
4.4.2 Berechnung der Spanungsgrößen .....	34
4.4.3 Berechnung der Schnittkräfte .....	38
4.5 Gesamtmodell des Bearbeitungszentrums .....	42
4.6 Simulationsuntersuchungen .....	43

4.7	Zusammenfassung des Kapitels .....	47
<b>5</b>	<b>Kraftrekonstruktion aus den Meßsignalen der Antriebe .....</b>	<b>48</b>
5.1	Kraftrekonstruktion bei bewegtem Vorschubantrieb aus der Bewegungsgleichung des Tisches .....	49
5.1.1	Identifikation der Prozeßparameter .....	49
5.1.1a	Aufnahme von Zerspanungs-Meßreihen .....	51
5.1.1b	Signalvorverarbeitung .....	53
5.1.1c	Berechnung der Ableitungen .....	55
5.1.1d	Schätzung der Vorschubparameter unter Last .....	56
5.1.2	Ansätze zur Vereinfachung .....	60
5.1.2a	Rekonstruktion in Echtzeit .....	60
5.1.2b	Rekonstruktion mit vereinfachter Sensorik .....	61
5.2	Kraftrekonstruktion bei bewegtem Vorschubantrieb aus der Gesamtmomentbilanz .....	61
5.3	Kraftrekonstruktion bei ruhendem Vorschubantrieb .....	62
5.4	Vergleich der Rekonstruktionsgleichungen .....	64
5.5	Zusammenfassung des Kapitels .....	67
<b>6</b>	<b>Symptomgenerierung .....</b>	<b>68</b>
6.1	Allgemeine Beschreibung modellgestützter Verfahren zur Symptomgenerierung .....	68
6.1.1	Prinzip der Symptomgenerierung durch Parameterschätzung .....	70
6.1.2	Prinzip der Symptomgenerierung mit Paritätsgleichungen .....	70
6.2	Anwendung der Parameterschätzung zur Symptomgenerierung beim Fräsen ..	71
6.2.1	Identifikationsschema .....	71
6.2.2	Ergebnisse der Parameterschätzung im fehlerfreien Fall .....	78
6.2.3	Ergebnisse der Parameterschätzung im Fehlerfall .....	82
6.2.3a	Verschleißerkennung .....	82
6.2.3b	Brucherkennung .....	84
6.2.3a	Erkennung von Schneiderversatz .....	87
6.3	Anwendung von Paritätsgleichungen zur Symptomgenerierung beim Fräsen ..	91
6.3.1	Ergebnisse im Fehlerfall .....	94
6.3.1a	Brucherkennung .....	94
6.3.1b	Online-Locherkennung .....	97
6.4	Vergleich: Symptomgenerierung mit Parameterschätzung und mit Paritätsgleichungen .....	99

6.5	Symptomgenerierung bei unterbrochenen Werkstückgeometrien . . . . .	101
6.6	Analyse von Körperschallsignalen . . . . .	102
6.6.1	Methoden der Merkmalsgenerierung . . . . .	103
6.6.2	Merkmale im fehlerfreien Fall . . . . .	104
6.6.3	Merkmale im Fehlerfall . . . . .	105
6.6.4	Ansätze zur Kombination von Kraft- und Körperschallsignalen . . . . .	109
6.7	Vergleich: Merkmalsgenerierung mit Kräften und mit Körperschall . . . . .	110
6.8	Zusammenfassung des Kapitels . . . . .	112
<b>7</b>	<b>Fehlerdiagnose</b> . . . . .	<b>113</b>
7.1	Fehlerdiagnose mit Symptomen aus Parameterschätzung . . . . .	113
7.1.1	Klassifikationsschema . . . . .	114
7.1.2	Test des Klassifikationsschemas mit Meßdaten . . . . .	119
7.1.3	Bewertung der Fehlerdiagnose . . . . .	121
7.2	Kombination von Parameterschätzung und Paritätsgleichungen . . . . .	122
7.3	Zusammenfassung des Kapitels . . . . .	126
<b>8</b>	<b>Praktische Realisierung eines Diagnosesystems</b> . . . . .	<b>127</b>
8.1	Hardwarestruktur des Gesamtsystems . . . . .	127
8.2	Beschreibung der Diagnosesoftware MDWIN . . . . .	128
8.3	Zusammenfassung des Kapitels . . . . .	131
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b> . . . . .	<b>132</b>
 <b>Anhang</b>		
A.1	Zustandsraumdarstellung des Zweimassenschwingermodells für den X-Vorschub- antrieb . . . . .	135
A.2	Simulink-Modell des Bearbeitungszentrums . . . . .	136
A.3	Berechnung von phasenverschiebungsfreien Ableitungen . . . . .	137
A.4	Technische Daten des Bearbeitungszentrum-Prüfstands . . . . .	139
A.5	Software . . . . .	141
 <b>Literaturverzeichnis</b> . . . . .		<b>142</b>