

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Ausgangssituation	1
1.2	Aufbau der Arbeit	2
2	Werkzeugzustandsüberwachung beim Fräsen	5
2.1	Begriffsklärung Prozessüberwachung in der spanenden Fertigung	8
2.2	Nutzung vorhandener Signale in WZM	10
2.2.1	Motorspindel	10
2.2.2	Vorschubachse	12
2.2.3	Fazit zur Nutzung vorhandener WZM-Signale	13
2.3	Prozessinformationen mittels zusätzlicher Sensorik in WZM .	14
2.3.1	Motorspindel und Vorschubachse	14
2.3.2	Werkstück und Arbeitsraum	17
2.3.3	Multisensorsysteme	21
2.3.4	Fazit zu zusätzlicher Sensorik in WZM	23
2.4	Prozessinformationen mittels sensorischer Werkzeugspannfutter	24
2.4.1	Kraft und Drehmoment	24
2.4.2	Temperatur	28
2.4.3	Schwingung	30
2.4.4	Fazit zu sensorischen Werkzeugspannfuttern	32
3	Motivation, Randbedingungen und Zielsetzung	35
3.1	Randbedingungen im Kontext der digitalen Transformation .	36
3.2	Zielsetzung	40
4	Sensorvorauswahl und Signalkonditionierung	43
4.1	Sensorprinzipien	43
4.1.1	Schwingungsüberwachung	45
4.1.2	Temperatur	48
4.1.3	Überwachung der inneren Kühlmittelzufuhr	51
4.2	Signalkonditionierung	53
4.3	Fazit zur Sensorvorauswahl und Signalkonditionierung	55

5	Entwicklung des sensorischen Werkzeugspannfutters	57
5.1	Anforderungen an das System	58
5.2	Systementwurf	62
5.2.1	Gliederung in Teilfunktionen	63
5.2.2	Erarbeitung von Teillösungen	64
5.2.3	Auswahl Gesamtsystem	74
5.3	Domänenspezifischer Entwurf	78
5.3.1	Elektrotechnik	79
5.3.2	Informationstechnik	86
5.4	Systemintegration	87
5.4.1	Beschleunigungsaufnehmer	88
5.4.2	Hauptplatine mit Mikrocontroller	90
5.4.3	Antenne	92
5.4.4	Batterie	92
5.4.5	Kostenübersicht – Elektronikkomponenten	93
5.5	Iterationen des Makrozyklus – Gesamtsystem	94
5.5.1	Ringplatine – Voruntersuchung	94
5.5.2	Integration und Schocksensor	95
5.5.3	Beschleunigungsaufnehmer und Folienantenne	96
5.5.4	Finales Gesamtsystem – SMD-Antenne	97
6	Signalinterpretation	99
6.1	Einflüsse auf das Beschleunigungssignal	99
6.1.1	Außermittigte Sensorpositionierung	99
6.1.2	Rotierendes Sensorsystem	100
6.2	Amplitudenmodulation	104
6.3	Erwartete Messsignale	106
6.3.1	Einachsige Betrachtung	106
6.3.2	Zweiachsige Betrachtung	108
7	Validierung des sensorischen Werkzeugspannfutters	111
7.1	Funktionsnachweis	112
7.2	Fräsversuche I – Signalinterpretation	114
7.2.1	Versuchsaufbau und Zielstellungen	114
7.2.2	Versuchsergebnisse	115
7.3	Fräsversuche II – Prozessstabilität	118
7.3.1	Versuchsaufbau und Zielstellungen	119
7.3.2	Versuchsergebnisse	121
7.4	Fräsversuche III – Verschleiß	125
7.4.1	Versuchsaufbau und Zielstellungen	125

7.4.2	Versuchsergebnisse	126
7.5	Fazit der Versuchsauswertung	128
8	Zusammenfassung und Ausblick	129
Literatur		133
A	Anhang	151
A.1	Anforderungslisten	151
A.1.1	Temperaturüberwachung	151
A.1.2	IKZ-Überwachung	153
A.2	Ergänzung zur Signalinterpretation	156