

Inhaltsverzeichnis

Content

1	Einleitung	1
2	Stand der Technik in Wissenschaft und Industrie	7
2.1	Fünffachsiges Werkzeugmaschinen zur Fräsbearbeitung	8
2.1.1	Kinematischer Aufbau fünffachsiger Werkzeugmaschinen	8
2.1.2	Kinematik der fünffachsigen Simultanbearbeitung	9
2.2	Maschinentechnische Einflüsse auf die Fertigungsgenauigkeit	10
2.3	Modellierung des geometrischen Maschinenverhaltens	14
2.3.1	Arten geometrischer Achsfehler	14
2.3.2	Mathematische Beschreibung der Achsfehler	16
2.3.3	Volumetrischer Fehler von Mehrachsmaschinen	19
2.4	Messtechnische Kalibrierung von Fünffachsmaschinen	21
2.4.1	Messmittel zur Kalibrierung	22
2.4.2	Messprozesse und Verfahren der Datenauswertung	24
2.4.3	Kalibrierung durch Prüfwerkstücke	31
2.4.4	Einfluss von Unsicherheiten auf die Kalibrierung	32
2.5	Steuerungstechnische Optimierung der Maschinengenauigkeit	33
2.6	Zusammenfassende Bewertung	37
3	Aufgabenstellung und Zielsetzung	39
4	Modellierungssystematik für Fünffachsmaschinen	41
4.1	Grundlagen der Modellierungssystematik	41
4.1.1	Modellierung einzelner Bewegungsachsen	42
4.1.2	Modellierung von Mehrachsmaschinen	47
4.2	Exemplarische Modellierung fünffachsiger Werkzeugmaschinen	53
4.2.1	Fünffachsmaschine mit Dreh-Schwenk-Tisch	54
4.2.2	Fünffachsmaschine mit Gabelkopf	55
4.3	Volumetrischer Fehler bei der Simultanbearbeitung	56
5	Prozess zur Steigerung der Maschinengenauigkeit	61
5.1	Grundlegendes Konzept des Optimierungsprozesses	61
5.2	Ausarbeitung von Optimierungsstrategien	63
5.2.1	Ableitung und Abgrenzung der Strategien	65
5.2.2	Sensitivitätsanalyse zur Ermittlung der Dominanzen	66
5.2.3	Formulierung der Optimierungsstrategien	75
5.3	Ausarbeitung des Kalibrierverfahrens	78
5.3.1	Grundlegendes Verfahrenskonzept	79
5.3.2	Auswahl und Integration eines geeigneten Messmittels	81
5.3.3	Mathematisches Verfahren zur Fehleridentifikation	84
5.3.4	Messprozess zur Erfassung der volumetrischen Fehler	88

6	Demonstrator zur Qualifizierung	93
6.1	3D Tastkopf.....	93
6.2	Werkzeugmaschine zum fünffachsign Simultanfräsen.....	95
6.3	Qualifizierung von Demonstrator und Modell	96
7	Qualifizierung der Optimierungsstrategien.....	99
7.1	Vorgehensweise zur Qualifizierung	99
7.2	Qualifizierung durch Simulation der Maschinengenauigkeit.....	104
7.2.1	Gestaltung, Durchführung und Auswertung der Simulation	104
7.2.2	Ergebnisse der simulativen Qualifizierung	105
7.3	Qualifizierung durch Messung der Maschinengenauigkeit.....	108
7.3.1	Gestaltung, Durchführung und Auswertung der Messung.....	108
7.3.2	Ergebnisse der messtechnischen Qualifizierung.....	109
7.4	Qualifizierung durch Fertigung von Prüfwerkstücken.....	112
7.4.1	Gestaltung, Fertigung und Auswertung der Prüfwerkstücke	112
7.4.2	Ergebnisse der Qualifizierung durch Prüfwerkstücke.....	116
7.5	Abschließende Bewertung der Qualifizierung	118
8	Qualifizierung des Kalibrierverfahrens.....	121
8.1	Analyse der Parameter des Kalibrierverfahrens.....	121
8.1.1	Systematik der Analyse.....	122
8.1.2	Festlegung des Spline-Grads.....	125
8.1.3	Kalibriergenauigkeit in Abhängigkeit der Messdatenmenge.....	126
8.1.4	Kalibriergenauigkeit in Abhängigkeit der Knotenzahl	129
8.1.5	Kalibriergenauigkeit in Abhängigkeit der Messkugelpositionen.....	130
8.1.6	Fazit der Analyse	131
8.2	Beeinflussung des Verfahrens durch Unsicherheit.....	133
8.2.1	Einfluss der Unsicherheiten der Verfahrensparameter.....	133
8.2.2	Einfluss der Unsicherheiten der Messdaten	135
8.3	Exemplarische Anwendung des Kalibrierverfahrens	136
8.4	Potenziale zur Verfahrensoptimierung	138
8.5	Abschließende Bewertung des Kalibrierverfahrens.....	141
8.6	Handlungsempfehlung zur Optimierung der Genauigkeit.....	143
9	Zusammenfassung und Ausblick.....	145
9.1	Zusammenfassung.....	145
9.2	Ausblick.....	147
10	Literaturverzeichnis.....	151