

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Grundlagen und Stand der Forschung	3
2.1	Großserienfertigung von Automobilkomponenten	3
2.1.1	Zerspanung	3
2.1.2	Schwingungen und Rattern bei der Zerspanung	4
2.1.3	Dynamisches Verhalten von Werkzeugmaschinen	6
2.2	Prozessauslegung für die Zerspanung in der Großserienfertigung	7
2.2.1	Möglichkeiten der Prozessauslegung	8
2.2.2	Strategien zur Sicherstellung ratterfreier Fräsprozesse	10
2.2.3	Simulationsverfahren in der Prozessauslegung	15
2.2.4	Frequenzgangkopplung	18
2.3	Statistische Versuchspanung	23
2.3.1	Grundlagen	24
2.3.2	Zentral zusammengesetzter Versuchsplan	24
2.3.3	Auswertung	25
3	Ausgangssituation und Zielsetzung	27
4	Versuchsumfeld, Messtechnik und Software	31
4.1	Geometrisch-physikalische Zerspansimulation	31
4.1.1	Zerspankraftberechnung	32
4.1.2	Oszillatorbasiertes Dynamikmodell	32
4.1.3	Stabilitätskriterium	33
4.1.4	Eingangsdaten	34
4.2	Messtechnische Umgebung	36
4.2.1	Werkzeugmaschinen	36
4.2.2	Werkzeuge	36
4.2.3	Messtechnik	37
4.3	Anwendungsprogramme	39
4.3.1	Validierung der Frequenzgangkopplung	39
4.3.2	Anwendungsprogramm <i>Frequenzgangkoppler</i>	41
4.3.3	Ermittlung von Stabilitätskarten	41
5	Werkzeugseitige Frequenzgangkopplung	49
5.1	Kennzeichen der Frequenzgangkopplung	49
5.1.1	Güte der Vorhersage des Koppelns	50

5.1.2	Frequenzverschiebung durch das Koppeln von Substrukturen	52
5.2	Voruntersuchungen zur Sensitivität der Frequenzgänge bezüglich der Eingangparameter	57
5.2.1	Wiederholgenauigkeit	58
5.2.2	Reproduzierbarkeit	61
5.2.3	Einfluss des Positionsfehlers	63
5.3	Sensitivitätsanalyse der Frequenzgangkopplung	64
5.3.1	Ermittlung der zu untersuchenden Einflussgrößen	65
5.3.2	Durch Messfehler an den Schneiden verursachte Abweichungen in dem Kopplungsergebnis	67
5.3.3	Vorgehensweise für die Untersuchung der Einflussgrößen	68
5.3.4	Einfluss der Wiederholgenauigkeit	71
5.3.5	Einfluss des Schneidstoffes	73
5.3.6	Einfluss des Werkzeugmodells in der Simulation	75
5.3.7	Auswirkung der Einflussgrößen auf das Kopplungsergebnis	77
6	Frequenzgangkopplung an einem Maschinentisch	81
6.1	Erweiterung des Verfahrens der werkzeugsseitigen Frequenzgangkopplung	81
6.1.1	Ermittlung der Kopplungsstelle	81
6.1.2	Ersatzmodell	83
6.1.3	Ermittlung der Kopplungsgleichungen	88
6.2	Ermittlung der Nachgiebigkeitsfrequenzgänge	91
6.2.1	Messtechnische Bestimmung	91
6.2.2	FEM-basierte Bestimmung	92
6.3	Validierung des Kopplungsergebnisses	94
6.3.1	Vorgehensweise der Kalibrierung	94
6.3.2	Ergebnis	97
7	Sensitivitätsanalyse einer simulationsbasierten Fräsprozessauslegung	99
7.1	Sensitivitätsanalyse der Stabilitätskarten	99
7.1.1	Voruntersuchungen zur Sensitivität der Stabilitätskarte bezüglich des Detaillierungsgrades des Frequenzgangs	100
7.1.2	Ermittlung der Einflussgrößen	103
7.1.3	Stufen der zu untersuchenden Einflussfaktoren	104
7.1.4	Versuchsplanung	106
7.1.5	Ergebnisse	108
7.2	Zusammenstellung der Ergebnisse der gesamten Sensitivitätsanalyse	113
7.3	Simulationsbasierte Auslegung eines anwendungsnahen Fräsprozesses	115
7.3.1	Beschreibung des Anwendungsfalls	115
7.3.2	Ermittlung der Nachgiebigkeitsfrequenzgänge	116
7.3.3	Ermittlung der spezifischen Schnittkraftparameter	117
7.3.4	Eingangparameter für die Simulation	117
7.3.5	Auslegung des Fräsprozesses anhand der Stabilitätskarte	117

8 Untersuchungen der Stabilität von Prozessen mit variierendem Zeitspanvolumen	121
8.1 Simulationsumgebung	121
8.2 Definition variabler Prozessparameter	122
8.2.1 Kurzzeitig erhöhte axiale Schnitttiefe	122
8.2.2 Radiale Schnitttiefe	123
8.2.3 Vorschubgeschwindigkeit	123
8.2.4 Vorschubrichtung	124
8.3 Definition des Stabilitätskriteriums	125
8.4 Simulation und Auswertung von Prozessen mit variablen Bedingungen	126
8.4.1 Kurzzeitig vergrößerte axiale Schnitttiefe	126
8.4.2 Radiale Schnitttiefe	127
8.4.3 Vorschubgeschwindigkeit	129
8.4.4 Vorschubrichtung	132
8.5 Erweiterte Untersuchung eines Fräsprozesses	134
9 Zusammenfassung und Ausblick	139
10 Anhang	143