

# ***Inhaltsverzeichnis***

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>5</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>9</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>10</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>13</b>
<b>2 Grundlagen und Stand der Technik</b>	<b>16</b>
2.1 Thermische Einflussfaktoren an Werkzeugmaschinen . . . . .	16
2.1.1 Innere und äußere Wärmequellen und -senken . . . . .	18
2.1.2 Wärmeübertragung . . . . .	20
2.2 Numerische Berechnungsverfahren . . . . .	36
2.2.1 Finite Elemente Methode . . . . .	38
2.2.2 Finite Differenzen Methode . . . . .	41
2.2.3 Randelementmethode . . . . .	43
2.2.4 Finite-Volumen-Verfahren . . . . .	43
2.3 Messverfahren . . . . .	45
2.3.1 Temperaturmessung . . . . .	45
2.3.2 Infrarotthermografie . . . . .	47
2.3.3 Verlagerungsmessung . . . . .	50
<b>3 Ausgangssituation, Handlungsbedarf und Zielstellung</b>	<b>53</b>
<b>4 Thermisches Übertragungsverhalten von Standardkomponenten</b>	<b>55</b>
4.1 Messtechnische Untersuchungen . . . . .	56
4.1.1 Thermischer Kontaktwiderstand . . . . .	58
4.2 Parameteridentifikation für Ersatzmodelle . . . . .	62
4.2.1 Linearführungen . . . . .	65
4.2.2 Aufstellelemente . . . . .	70
4.2.3 Wälzlager . . . . .	72
4.2.4 Kugelgewindetriebe . . . . .	76
<b>5 Thermische Umgebungsrandbedingungen an Werkzeugmaschinen</b>	<b>79</b>
5.1 Allgemeine Vorbetrachtung . . . . .	79
5.2 Konvektionsrandbedingung . . . . .	80
5.2.1 Analytische Betrachtung . . . . .	80
5.2.2 Numerische Betrachtung . . . . .	82
5.2.3 Vergleich numerischer und analytischer Berechnung . . . . .	88

5.3	Strahlungsrandbedingung . . . . .	90
5.3.1	Analytische Betrachtung . . . . .	90
5.3.2	Numerische Betrachtung . . . . .	95
5.3.3	Vergleich numerischer und analytischer Berechnung . . . . .	96
5.3.4	Wärmeübergangskoeffizient für Strahlung . . . . .	97
5.4	Sensitivitätsanalyse an einer Maschinenstruktur . . . . .	98
5.4.1	Modelleigenschaften . . . . .	98
5.4.2	Einfluss der Konvektionsrandbedingung . . . . .	101
5.4.3	Einfluss der Strahlungsrandbedingung . . . . .	103
5.4.4	Auswertung . . . . .	105
<b>6</b>	<b>Automatisierte Berechnung transienter Konvektionsrandbedingungen</b>	<b>106</b>
6.1	Klassifizierung der Strukturoberfläche . . . . .	110
6.2	Berechnungsablauf . . . . .	114
6.3	Experimentelle Verifikation . . . . .	115
6.3.1	Randbedingungen der messtechnischen Untersuchungen . . . . .	116
6.3.2	Lastfall 1 - Lokale Wärmequelle am Maschinenständer . . . . .	118
6.3.3	Lastfall 2 - Einfluss der Maschinenverkleidung . . . . .	125
6.4	Auswertung und Fehleranalyse . . . . .	134
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>137</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>139</b>
	<b>Anhang</b>	<b>145</b>
<b>A</b>	<b>Simplex-Algorithmus nach Nelder und Mead</b>	<b>146</b>
<b>B</b>	<b>Thermische Materialparameter für Ersatzmodelle</b>	<b>149</b>
B.1	Linearführungen . . . . .	149
B.2	Aufstellelemente . . . . .	152
B.3	Kugelgewindetriebe . . . . .	154