

# Inhaltsverzeichnis

	<b>Begriffe, Abkürzungen</b> .....	<b>11</b>
	<b>Formelzeichen</b> .....	<b>14</b>
<b>1</b>	<b>Ausgangslage und Problemstellung</b> .....	<b>17</b>
1.1	<b>Ausgangslage</b> .....	<b>17</b>
1.2	<b>Problemstellung und Ziel</b> .....	<b>20</b>
<b>2</b>	<b>Analyse des Standes der Technik</b> .....	<b>25</b>
<b>2.1</b>	<b>Stabilitätsbeeinflussende Spindelkomponenten</b> .....	<b>25</b>
2.1.1	Spindelwelle und Werkzeug .....	25
2.1.2	Lagerung der Spindelwelle .....	25
2.1.2.1	Wälzlager .....	25
2.1.2.2	Fluidgeschmierte Gleitlager .....	26
2.1.2.3	Luftlager .....	27
2.1.2.4	Magnetlager .....	28
2.1.3	Antrieb der Spindelwelle .....	31
2.1.3.1	Reluktanzmotor .....	35
2.1.3.2	Asynchronmotor .....	36
2.1.3.3	Synchronmotor .....	37
<b>2.2</b>	<b>Bisherige Lösungsansätze</b> .....	<b>38</b>
2.2.1	Maßnahmen zur Überwachung und Systembeeinflussung .....	38
2.2.2	Patentschriften .....	44
<b>3</b>	<b>Systemanalyse</b> .....	<b>47</b>
<b>3.1</b>	<b>Betrachtung der statischen Systemsteifigkeit</b> .....	<b>47</b>
<b>3.2</b>	<b>Konzept zur Variation der Systemeigenschaften</b> .....	<b>49</b>

<b>4</b>	<b>Parametereinfluss der mehrfach gelagerten Spindelwelle . . . . .</b>	<b>53</b>
<b>4.1</b>	<b>Modellierung einer Spindelwelle . . . . .</b>	<b>53</b>
4.1.1	Rotormodelle . . . . .	53
4.1.2	Besonderheiten von Motorspindelwellen . . . . .	55
<b>4.2</b>	<b>Statisches Verhalten der Spindelwelle . . . . .</b>	<b>56</b>
4.2.1	Modellparameter . . . . .	57
4.2.2	Abgeleitete Größen . . . . .	58
<b>4.3</b>	<b>Einfluss der Lagersteifigkeiten und der Lageranordnung . . . . .</b>	<b>61</b>
4.3.1	Vorderes Spindellager . . . . .	53
4.3.2	Hinteres Spindellager . . . . .	64
4.3.3	Mittleres Zusatzlager . . . . .	65
<b>4.4</b>	<b>Systemsteifigkeit und Korrekturkraft . . . . .</b>	<b>68</b>
4.4.1	Größe und Richtung der Korrekturkraft . . . . .	68
4.4.2	Angriffspunkt der Korrekturkraft . . . . .	70
4.4.3	Einfluss der Lagersteifigkeiten bei Korrekturkraft . . . . .	72
<b>5</b>	<b>Variation der dynamischen Spindeleigenschaften . . . . .</b>	<b>77</b>
<b>5.1</b>	<b>FE-Modell . . . . .</b>	<b>77</b>
5.1.1	Modellierung von Welle, Läufer und Lagerung . . . . .	77
5.1.2	Lenkerführung des Modells . . . . .	80
<b>5.2</b>	<b>Dynamischer Einfluss der Lagerparameter . . . . .</b>	<b>83</b>
5.2.1	Modalanalyse . . . . .	83
5.2.2	Dämpfung der Spindelwelle . . . . .	87
5.2.2.1	Innere Dämpfung . . . . .	88
5.2.2.2	Äußere Dämpfung . . . . .	89
5.2.2.3	Stabilität . . . . .	91
5.2.3	Amplitudenfrequenzgang . . . . .	92
<b>5.3</b>	<b>Dämpfungseinfluss der Lager . . . . .</b>	<b>96</b>
5.3.1	Vorderes Spindellager . . . . .	97

---

5.3.2	Mittleres Spindellager (Magnetisches Zusatzlager) . . . . .	98
5.3.3	Hinteres Spindellager . . . . .	98
<b>5.4</b>	<b>Systemverhalten . . . . .</b>	<b>101</b>
<b>6</b>	<b>Entwurfsregeln für eine selbstoptimierende Motorspindel . . . . .</b>	<b>109</b>
<b>6.1</b>	<b>Entwurf des Quetschöldämpfers . . . . .</b>	<b>109</b>
6.1.1	Aufbau und Funktion . . . . .	109
6.1.2	Auslegung, Dämpfung und Ersatzsteifigkeit . . . . .	111
<b>6.2</b>	<b>Entwurf des Magnetlagers . . . . .</b>	<b>113</b>
6.2.1	Aufbau und Funktion . . . . .	113
6.2.2	Auslegung . . . . .	115
6.2.3	Steifigkeitsregelung . . . . .	117
6.2.4	Sensoren . . . . .	123
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung . . . . .</b>	<b>125</b>
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis . . . . .</b>	<b>129</b>
<b>9</b>	<b>Anlagen . . . . .</b>	<b>135</b>