

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>VII</b>
<b>Symbolverzeichnis</b>	<b>XI</b>
<b>Zusammenfassung</b>	<b>XVII</b>
<b>Abstract</b>	<b>XIX</b>
<b>1. Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2. Aufbau von und Anforderungen an Antriebsstränge für die Robotik</b>	<b>3</b>
2.1. Stand der Technik im Bereich Leichtbau-Knickarmroboter . . . . .	3
2.1.1. Bestehende Roboter . . . . .	3
2.1.2. Bestehende Achsen . . . . .	6
2.1.3. Motoren für die Robotik . . . . .	8
2.2. Ableitung der Anforderungen an die Roboterachsen . . . . .	11
2.2.1. Statisches Drehmoment . . . . .	12
2.2.2. Dynamisches Drehmoment . . . . .	13
2.2.3. Anforderungsdefinition . . . . .	14
2.3. Designkonzept des Antriebsstrangs einer Roboter-Achse . . . . .	18
<b>3. Topologie und Entwurf einer TFPM</b>	<b>21</b>
3.1. Stand der Technik im Bereich TFPM aus Pulververbundwerkstoffen . . . .	23
3.2. Grobauslegung der TFPM . . . . .	29
3.3. Auslegung und Optimierung . . . . .	36
3.3.1. Das parametrisierte Modell . . . . .	36
3.3.2. Fertigungstechnische Rahmenbedingungen und Vorgaben . . . .	36
3.3.3. Modellierung in FEM . . . . .	38
3.3.4. Optimierung . . . . .	40
<b>4. Analytische Berechnung</b>	<b>49</b>
4.1. Grundlagen . . . . .	51
4.1.1. Das magnetische Vektorpotential . . . . .	51
4.1.2. Ebenes Feldproblem in Zylinderkoordinaten . . . . .	52
4.1.3. Konforme Abbildung . . . . .	53
4.2. Modellierung der TFPM . . . . .	56
4.2.1. Modellierung des Strombelags . . . . .	60
4.2.2. Modellierung der Remanenzfunktion . . . . .	63

4.2.3. Berücksichtigung der Nutung . . . . .	64
4.2.4. Berechnung des Drehmoments . . . . .	70
4.3. Auswertung der Ergebnisse . . . . .	71
<b>5. Aufbau und Inbetriebnahme des Prototypen</b>	<b>75</b>
5.1. Mechanische Konstruktion . . . . .	75
5.1.1. Gesamtkonstruktion . . . . .	75
5.1.2. Statorbau und Wicklung . . . . .	77
5.1.3. Rotorkonstruktion . . . . .	79
5.2. Gesamtsystem . . . . .	81
<b>6. Messungen am Prüfstand</b>	<b>87</b>
6.1. Messung der Modellparameter . . . . .	87
6.1.1. Induzierte Spannung . . . . .	87
6.1.2. Statorwiderstand . . . . .	89
6.1.3. Induktivitäten . . . . .	89
6.2. Drehmoment . . . . .	94
6.3. Wirkungsgrad und Leistungsfaktor . . . . .	100
6.4. Fazit . . . . .	104
<b>7. Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>107</b>
<b>A. Marktanalyse Elektromotoren</b>	<b>111</b>
<b>B. Berechnung der Drehmomente der Roboter</b>	<b>113</b>
<b>C. Netz, Parameter und Zielgrößen des FEM-Modells</b>	<b>121</b>
C.1. Netz . . . . .	121
C.2. Parameter der TFPM . . . . .	121
C.3. Berechnung der Zielgrößen . . . . .	124
<b>D. Technische Zeichnungen</b>	<b>125</b>
D.1. Technische Zeichnung des Prüfstandsaufbaus . . . . .	126
D.2. Technische Zeichnung der Rotorkonstruktion . . . . .	127
D.3. Technische Zeichnung der Statorhalbschale . . . . .	128
<b>E. Separation der Variablen</b>	<b>129</b>
E.1. Lösung der Laplace-Gleichung mittels Separation der Variablen . . . . .	129
E.2. Lösung der Poisson-Gleichung mittels Separation der Variablen . . . . .	130
<b>F. Fourierreihen</b>	<b>133</b>
<b>G. Regelsystem</b>	<b>135</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>137</b>