

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Stand der Technik	3
2.1. Modellierung serieller Roboter	3
2.2. Modellierung elastischer Balken	5
2.3. Wälzlager	7
2.4. Verkabelung	10
2.5. Verzahnung	11
2.5.1. Steifigkeit	14
2.5.2. Anregungsarten	16
2.5.3. Verluste	18
2.5.4. Modellierung	20
2.6. Zahnriemen	23
2.7. Kompaktgetriebe	27
2.7.1. HD-Getriebe	27
2.7.2. Planetengetriebe	30
2.7.3. Zykloidengetriebe	32
2.7.4. Reibung	35
2.8. Fügestellen	38
2.9. Diskussion	40
3. Tragstruktur	43
3.1. Strukturteile	43
3.2. Modellierung von Wälzlagern	47
3.2.1. Steifigkeit	47
3.2.2. Dissipation	51
3.2.3. Schwingungsanregung	54
3.3. Verschraubung	55
3.4. Verkabelung	58
3.4.1. Steifigkeit	58
3.4.2. Modellierung	63
4. Antriebsstrang	65
4.1. Welle-Lager-System	65
4.1.1. Welle	66
4.1.2. Diskretisierung	68
4.1.3. Wälzlager im Antriebsstrang	69
4.2. Stirnradgetriebe	70
4.2.1. Kinematik	70

4.2.2.	Antriebsstrangtr�gheit	72
4.2.3.	Verzahnungssteifigkeit	72
4.2.4.	Dämpfung	76
4.2.5.	Verluste	77
4.2.6.	Flankenspiel	82
4.2.7.	Anregungsverhalten	84
4.2.8.	Kinematische Kopplung	87
4.3.	Zahnriemengetriebe	88
4.3.1.	Zahnriemensteifigkeit	89
4.3.2.	Zahnriemenverluste	90
4.3.3.	Übertragungsverhalten	92
4.4.	Kompaktgetriebe	95
4.4.1.	Reibung	95
4.4.2.	Harmonic Drive Getriebe	99
4.4.3.	Zykloidengetriebe	102
4.4.4.	Planetengetriebe	105
4.5.	Motor	107
5.	Simulation	109
5.1.	Modellierung	109
5.1.1.	Elastisches Mehrkörpersystem	109
5.1.2.	Antriebsstrang	110
5.1.3.	Performance	115
5.2.	Validierung	116
5.2.1.	Statische Nachgiebigkeit	116
5.2.2.	Torsionssteifigkeit Achse 6	119
6.	Zusammenfassung und Ausblick	123
6.1.	Zusammenfassung	123
6.2.	Ausblick	124
Anhang		127
A.	Steifigkeitsmatrizen von W�hlzlagern	127
A.1.	Einreihiges Kugellager	127
A.2.	Einreihiges Rollenlager	129
A.3.	Doppelreihiges Kugellager	131
A.4.	Doppelreihiges Rollenlager	134
A.5.	W�hlzlagerparameter	135

B. Wellen	137
B.1. Trägheitsmomente	137
B.2. Torsionssteifigkeit	138
C. Verzahnung	139
C.1. Gültigkeitsbereich der Leerlaufverluste	139
C.2. Verzahnungsdaten	140
D. Sensorspezifikation	141