

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Stand des Wissens zur Bahngenaugkeit mobiler Roboter	5
2.1	Begrifflichkeiten in den verschiedenen Fachrichtungen	7
2.2	Methoden zur Steuerung mobiler Roboter	8
2.3	Bahngenaugkeit mobiler Roboter	10
2.4	Bahngenaugkeit mobiler Plattformen	11
2.5	Bahngenaugkeit von Industrierobotern	12
2.6	Methoden zur Steigerung der Bahngenaugkeit von Industrierobotern	16
2.6.1	Verbesserung der Roboterkonstruktion	16
2.6.2	Passive Ausgleichsmechanismen	17
2.6.3	Iterative Bahnkorrektur	18
2.6.4	Bahnregelung	19
2.6.5	Adaptive Interfaces oder Zusatzachsen	20
2.6.6	Kalibrierung und Modellerweiterung	21
2.6.7	Globale kinematische Kalibrierung	22
2.6.8	Lokale Kalibrierung	24
2.6.9	Nichtkinematische Kalibrierung	25
2.6.10	Kalibrierung mit künstlichen neuronalen Netzen	27
2.7	Zusammenfassung und Forschungsbedarf	30
3	Forschungsfragestellung	33
3.1	Hypothese 1: Beeinflussung des stochastischen Anteils des Bahnfehlers durch die Plattform	34
3.2	Hypothese 2: Anwendbarkeit künstlicher neuronaler Netze zur Steigerung der Bahngenaugkeit	35
4	Forschungsumgebung	37
4.1	Kuka KMR Quantec KR150 R3300 K prime	38
4.2	Auswahl eines geeigneten Bahnsensors	39

4.2.1	Positionsmessungen auf Basis von Tracking-Interferometern	40
4.3	Speicherprogrammierbare Steuerung zur Verbindung von Roboter und Messsystem	43
4.3.1	Aufbau des Bahnregelkreises	46
4.3.2	Aufbau der Modellerweiterung mit einem künstlichen neuronalen Netz	48
4.4	Zusammenfassung	50
5	Bahngenauigkeit mobiler Roboter	51
5.1	Ablauf der Bahnmessungen	52
5.2	Vermeidung thermischer Effekte auf die Bahngenauigkeit während der Bahnmessungen	55
5.3	Prüfung der ersten Forschungshypothese: Einfluss der Plattform auf die Genauigkeit des Roboterarms	60
5.3.1	Einfluss der Plattform auf die Positionsgenauigkeit des Industrieroboters	61
5.3.2	Einfluss der Plattform auf die Bahngenauigkeit des Industrieroboters	65
5.3.3	Zusammenfassende Bewertung der ersten Forschungshypothese	68
5.4	Genauigkeitsuntersuchungen am bahngeregelten Roboter	69
6	Künstliche neuronale Netze zur Steigerung der Bahngenauigkeit mobiler Roboter	73
6.1	Eignung künstlicher neuronaler Netze für die Vorhersage des Bahnfehlers	73
6.1.1	Design der Trainingsbahnen	74
6.1.2	Struktur des künstlichen neuronalen Netzes	76
6.1.3	Aufbereitung der Trainingsdaten	82
6.1.4	Lokale oder globale Modellierung durch das künstliche neuronale Netz	83
6.1.5	Leistungsfähigkeit bei echtzeitfähiger Datenaufbereitung	88
6.1.6	Bewertung der Eignung künstlicher neuronaler Netze zur Vorhersage des Bahnfehlers	90
6.2	Steigerung der Bahngenauigkeit durch Modellerweiterung mittels künstlichen neuronalen Netzen	90
6.2.1	Vorhersage des Bahnfehlers auf der SPS	91
6.2.2	Bewertung der Leistungsfähigkeit der Modellerweiterung	95
6.3	Zusammenfassende Bewertung der zweiten Forschungshypothese	98
7	Zusammenfassung und Ausblick	101
	Literatur	109