

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 Modelleweiterung | 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 Bahngenaugigkeit | 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 |