

Inhaltsverzeichnis

0 Formel- und Kurzzeichen	II
1 Einleitung	1
2 Stand der Erkenntnisse	3
2.1 Definition	3
2.2 Kinematik	3
2.3 Genauigkeitskenngrößen	7
2.4 Genauigkeitslimitierende Faktoren	10
2.5 Methoden zur Genauigkeitssteigerung	12
2.5.1 Hardwaremethoden	12
2.5.2 Softwaremethoden	17
3 Zielstellung und Vorgehensweise	29
4 Versuchsumgebung	31
4.1 Industrieroboter und Steuerung	31
4.2 Messsysteme	36
4.3 Methoden, Algorithmen und Verfahren	40
4.3.1 Methoden der Roboterkalibrierung	40
4.3.2 Künstliche Neuronale Netze	47
4.3.3 Inkrementelles Kragenziehen	54
5 Genauigkeitsverhalten des Industrieroboters	56
5.1 Geometrisch	56
5.2 Statisch	59
5.3 Dynamisch	65
5.4 Thermisch	71
6 Datengetriebene Modelle	83
6.1 Methoden zur automatisierten Datengenerierung	83
6.2 Generierte Datensätze und Pre-processing	89
6.3 Modellstruktur und Hyperparameter	97
6.3.1 Modellübersicht und -vergleich	97
6.3.2 Einfluss der Modellfreiheitsgrade und Lernrate	99
6.3.3 Einfluss des Ausgangsvektors	103
6.3.4 Einfluss des Eingangsvektors	105
6.3.5 Einfluss der Anzahl an Trainingsdaten	113
6.3.6 Vorhersage von Konfidenzen	114
6.4 Kontinuierliches Modelltraining	118
7 Kompensation genauigkeitslimitierender Faktoren	123
7.1 Offline-Kompensation	123
7.2 Online-Kompensation	124
7.3 Experimentelle Validierung	126
8 Zusammenfassung	136
9 Literaturverzeichnis	141