

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>I</b>
<b>Formelzeichen und Abkürzungen</b>	<b>V</b>
<b>Begriffserklärungen und Erläuterungen</b>	<b>6</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>7</b>
1.1 Motivation	7
1.2 Zielsetzung	9
1.3 Aufbau der Arbeit	9
<b>2 Stand der Forschung und Technik</b>	<b>12</b>
2.1 Effektivitätssteigerungen durch Industrie 4.0	12
2.1.1 Gesamtanlageneffektivität	12
2.1.2 Anwendungen im Bereich Industrie 4.0	12
2.2 Produktionsmaschinen	13
2.2.1 Werkzeugmaschinenarten und -komponenten	13
2.2.2 Antriebssysteme	17
2.2.3 Steuerungs- und Regelungstechnik	19
2.3 Bereitstellung von Maschinensteuerungsdaten	25
2.3.1 Kommunikation in der Automatisierungstechnik	25
2.3.2 Datenschnittstellen im Brownfield	28
2.3.3 Maschinenanbindung und Zugriffsmöglichkeiten	29
2.3.4 Identifikation von Signalen	30
2.4 Analyse von Zeitreihendaten	31
2.4.1 Verarbeitung von Zeitreihendaten	32
2.4.2 Maschinelles Lernen zur Klassifikation von Zeitreihendaten	35
2.4.3 Industrielle Anwendungen	40
2.5 Bewertung des Stands der Forschung und Technik	42
2.5.1 Fazit zum Stand der Forschung und Technik	42
2.5.2 Aktuelle Defizite in Forschung und Technik	43

<b>3 Zielsetzung und Vorgehensweise</b>	<b>45</b>
3.1 Konkretisierung der Zielsetzung	45
3.2 Vorgehensweise zur Zielerreichung	47
<b>4 Kommunikationstechnische Maschinenanbindung und Extraktion von Maschinendaten</b>	<b>48</b>
4.1 Eingrenzung des Modellierungsraums	48
4.2 Datenextraktion in Brownfield-Maschinen	49
4.2.1 Betrachtung der Zugriffsmöglichkeiten von Datenquellen	49
4.2.2 Umsetzung der Datenextraktion	50
<b>5 Identifikation von Maschinensteuerungssignalen</b>	<b>58</b>
5.1 Analytische Signalidentifikation	60
5.1.1 Konzept	60
5.1.2 Datensätze	64
5.1.3 Stufe 1 – Filterung trivialer Klassen	67
5.1.4 Stufe 2 – Extraktion der Positionssignale	70
5.1.5 Stufe 3 – Bestimmung weiterer Signale durch regelbasierte Klassifikation	72
5.1.6 Stufe 4 – Identifikation von Spindelsignalen	75
5.1.7 Stufe 5 – Kinematische Zusammenhänge	77
5.1.8 Stufe 6 – Signalgruppierung der Achsen	80
5.1.9 Ergebnisse und Bewertung	82
5.2 ML-basierte Signalidentifikation	85
5.2.1 Konzept	85
5.2.2 Datensätze	87
5.2.3 Verwendete ML-Modelle	88
5.2.4 Vorverarbeitung	90
5.2.5 Signalidentifikation mit neuronalen Netzen	97
5.2.6 Signalidentifikation mit Random Forests	105
5.2.7 Ergebnisse und Bewertung	110
5.3 ML-basierte Signalidentifikation mit Korrelationsregeln	115
5.3.1 Konzept	116

5.3.2	Datensätze	118
5.3.3	Stufe 1 – Machine Learning-basierte Klassifikation	119
5.3.4	Stufe 2 – Gruppierung von Zeitreihen	125
5.3.5	Stufe 3 – Achszuweisung	126
5.3.6	Ergebnisse und Bewertung	129
5.4	Hybrider Ansatz zur Signalidentifikation	140
5.4.1	Konzept	141
5.4.2	Datensätze	144
5.4.3	Stufe 1 – Datenvorverarbeitung	145
5.4.4	Stufe 2 – Machine Learning-basierte Extraktion von Positionssignalen	147
5.4.5	Stufe 3 – Analytische Identifikation aller Signale	148
5.4.6	Ergebnisse und Bewertung	155
<b>6</b>	<b>Systemintegration</b>	<b>160</b>
6.1	Aufbau der Benutzeroberfläche des Assistenzsystems	160
6.2	Geführter Ablauf	161
<b>7</b>	<b>Validierung des Lösungskonzepts</b>	<b>168</b>
7.1	Validierung	168
7.1.1	Allgemeiner Aufbau	168
7.1.2	Validierung 1 – Horizontal-Fräsmaschine	169
7.1.3	Validierung 2 – Vertikal-Fräsmaschine	171
7.1.4	Validierung 3 – Honmaschine	173
7.1.5	Validierung 4 – Industrieroboter	175
7.2	Zusammenfassende Bewertung der Validierung	179
7.2.1	Bewertung innerhalb des Typs Fräzentren	179
7.2.2	Bewertung des Gesamtmodells auf Maschinen anderen Typs	180
7.2.3	Zusammenfassende Bewertung und Grenzen des Ansatzes	181
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>183</b>
8.1	Zusammenfassung	183
8.2	Ausblick	185

<b>9</b>	<b>Publikationsliste des Autors</b>	<b>187</b>
<b>10</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>191</b>
<b>11</b>	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>I</b>
<b>12</b>	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>VII</b>