

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis.....	VIII
Abbildungsverzeichnis	XI
Abkürzungsverzeichnis.....	XV
Formelzeichenverzeichnis	XVIII
1 Einleitung	1
1.1 Gegenwärtige Situation produzierender Unternehmen	1
1.2 Motivation der Arbeit	1
1.3 Zielsetzung der Arbeit	3
1.4 Aufbau der Arbeit	6
2 Grundlagen und Stand der Technik	7
2.1 Allgemeines	7
2.2 Begriffliche Abgrenzungen im Kontext von Industrie 4.0.....	7
2.3 Prädiktive Instandhaltung.....	9
2.3.1 Begriffliche Abgrenzung und Kategorien der prädiktiven Instandhaltung	9
2.3.2 Anwendungsfelder der prädiktiven Instandhaltung	10
2.3.3 Prädiktive Instandhaltung in der Produktion.....	12
2.3.4 Zwischenfazit	12
2.4 IIoT-Gerät.....	13
2.4.1 Sensoren für die prädiktive Instandhaltung	13
2.4.2 Kostengünstige Sensoren und eingebettete Systeme	14
2.4.3 Marktlösungen	17
2.4.4 Zwischenfazit	17
2.5 IIoT-Architektur.....	18
2.5.1 Automatisierungspyramide	19
2.5.2 Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0.....	21
2.5.3 Industrial Internet Reference Architecture (IIRA).....	25
2.5.4 Cisco IoT Referenzarchitektur	30
2.5.5 Marktlösungen	32
2.5.6 Zwischenfazit	33
2.6 Data Analytics	33
2.6.1 Anwendung von Data Analytics in der prädiktiven Instandhaltung	34
2.6.2 Maschinelle Lernverfahren und Anomaliedetektion	35
2.6.3 Vorgehensmodelle des maschinellen Lernens	38
2.6.4 Zwischenfazit	39

3 Anforderungen an das CPS für die prädiktive Instandhaltung	41
3.1 Allgemeines	41
3.2 Methodisches Vorgehen.....	42
3.2.1 Systematische Literaturanalyse	43
3.2.2 Expertenworkshop.....	44
3.2.3 Qualitative Inhaltsanalyse	45
3.2.4 Kategoriensystem	46
3.3 Anforderungskatalog	47
3.3.1 Instandsetzung und Instandhaltung	47
3.3.2 Hard- und Software	48
3.3.3 Netzwerk und Kommunikation	50
3.3.4 Device Management.....	54
3.3.5 Zugriff, Oberfläche und Visualisierung	55
3.3.6 Datenspeicherung und -verarbeitung.....	56
3.3.7 Datenvorverarbeitung	57
3.3.8 Datenanalyse	58
3.3.9 Edge Computing.....	59
3.3.10 Nicht-Funktionale Anforderungen.....	60
3.4 Zwischenfazit	64
4 Referenzimplementierung.....	66
4.1 Allgemeines	66
4.2 Elektrohangebahn	66
4.2.1 Funktionale Beschreibung	67
4.2.2 FMEA.....	68
4.3 Referenzimplementierung IIoT-Gerät	71
4.3.1 Anforderungen	71
4.3.2 Technische Beschreibung.....	72
4.3.3 IT-Architektur	76
4.4 Referenzimplementierung IIoT-Architektur.....	77
4.4.1 Azure IoT	78
4.4.2 IoT-Hub	79
4.4.3 Stream Analytics Job.....	79
4.4.4 BLOB Storage	80
4.4.5 Splunk	81
4.4.6 Azure Machine Learning	81
4.4.7 Webservice	82

4.5 Gesamtarchitektur und Schnittstellen82

4.5.1 Schnittstelle der IIoT-Geräte 83

4.5.2 Schnittstelle der Kopfsteuerung 83

4.6 Zwischenfazit85

5 Data Analytics..... 86

5.1 Allgemeines86

5.2 Geschäftsverständnis..... 86

5.3 Datenverständnis.....87

5.3.1 Sensor- und Prozessdaten 87

5.3.2 Normal- und Anomaliedaten 89

5.4 Datenvorverarbeitung92

5.4.1 Datenzusammenführung 93

5.4.2 Datenselektion 93

5.4.3 Featureextraktion 93

5.4.4 Datenbereinigung 102

5.4.5 Umgang mit disbalancierten Daten 103

5.4.6 Datentransformation 104

5.5 Modellierung und Evaluation104

5.5.1 Unüberwachte Anomaliedetektion 105

5.5.2 Semiüberwachte Anomaliedetektion 123

5.5.3 Überwachte Anomaliedetektion 131

5.5.4 Gegenüberstellung der Anomaliedetektionsverfahren 149

5.6 Bereitstellung150

5.7 Zwischenfazit151

6 Evaluation.....154

6.1 Allgemeines154

6.2 Evaluation anhand des Anforderungskatalogs154

6.3 Diskussion und Forschungsbedarf161

6.4 Zwischenfazit163

7 Schlussbetrachtung164

Anhang Kapitel 3 Anforderungen an das CPS167

Anhang Kapitel 4 Referenzimplementierung186

Anhang Kapitel 5 Data Analytics194

Anhang Kapitel 6 Evaluation.....252

Literaturverzeichnis255