

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis..... XI

Tabellenverzeichnis..... XV

Formelverzeichnis XVII

Abkürzungsverzeichnis XIX

Symbolverzeichnis XXIII

1 Einleitung 1

 1.1 Problemstellung und Motivation 1

 1.2 Aufbau der Arbeit 5

2 Grundlagen von Predictive Quality 9

 2.1 Grundzüge des Qualitätsmanagements 9

 2.1.1 Definition des Qualitäts- und Fehlerbegriffs 9

 2.1.2 Aufbau von Qualitätsmanagementsystemen und relevante
 Vorschriften 14

 2.1.3 Methoden und Werkzeuge des Qualitätsmanagements 19

 2.1.3.1 Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse 19

 2.1.3.2 Fehler-Prozess-Matrix 24

 2.1.3.3 Poka-Yoke 26

 2.1.4 Qualitätsbezogene Kosten 27

 2.2 Grundlagen und Algorithmen aus dem Bereich „maschinelles Lernen“ ... 32

 2.2.1 Einordnung und Arten des maschinellen Lernens 32

 2.2.2 Prozesse zur Bearbeitung von Data-Mining-Projekten 35

 2.2.3 Verfahren zur Datenvorbereitung und Ergebnisvalidierung 42

 2.2.3.1 Umgang mit unausgeglichene Datensets 42

 2.2.3.2 Dimensionsreduzierung 45

 2.2.3.3 Bewertung von Klassifikatoren 48

 2.2.4 Ausgewählte Algorithmen aus dem Maschinellen Lernen 52

 2.2.4.1 Hierarchisches Clustering 52

 2.2.4.2 Partitionierendes Clustering mit dem k-Means-
 Algorithmus 56

 2.2.4.3 (k)-Nächste-Nachbarn-Algorithmus 58

 2.2.4.4 Entscheidungsbäume 61

 2.2.4.5 Model Ensembles und Random Forest 64

 2.3 Predictive Quality zu Zeiten der vierten industriellen Revolution 70

 2.3.1 Die vierte industrielle Revolution und ausgewählte
 Technologiefelder 70

2.3.2	Predictive Maintenance und Predictive Quality.....	73
2.3.3	Literaturanalyse zu Anwendungsfällen von Predictive Quality.....	76
2.3.3.1	Konzeption der Analyse.....	76
2.3.3.2	Ergebnisse der Literaturanalyse.....	79
3	Methodische Umsetzung von Predictive Quality in der Automobilmontage	85
3.1	Eingangskenngrößen zur virtuellen Nachbildung fehlerverursachender Montagesituationen	85
3.1.1	Produktbezogene Eingangsgrößen	85
3.1.1.1	Baureihe und Derivat.....	86
3.1.1.2	Sonderausstattungen und Länderausführungen.....	88
3.1.1.3	Motor- und Antriebsvarianten	91
3.1.2	Prozessbezogene Kenngrößen	93
3.1.2.1	Auslastung und beidseitiges Abdriften.....	96
3.1.2.2	Prozessvarianten und Variantenanteil	101
3.1.2.3	Montagewirkungsgrad	109
3.1.3	Menschliche Eingangsgrößen	116
3.1.3.1	Wochentag und (verstrichene) Schichtdauer.....	119
3.1.3.2	Belastungen an einer Montagestation	121
3.1.3.3	Rotationsdauer	126
3.1.3.4	Übungsgrad an einer Montagestation.....	127
3.2	Auswahl von Fehlerbildern als Klassenlabels.....	128
3.2.1	Potenzielle Fehlerbilder der Automobilmontage	128
3.2.2	Anforderungen an die Fehlerbilder	133
3.2.2.1	Diskussion: Verschraubungsfehler	135
3.2.2.2	Diskussion: Spaltbild- und Passungsfehler.....	141
3.3	Fehlerprognose mittels überwachten Klassifikationsalgorithmen	147
3.3.1	Fehlervorhersage durch Klassifikationsalgorithmen	147
3.3.2	Priorisierung potenzieller Fehlerbilder mittels Risikoanalyse	152
3.4	Potenzielle Anwendungsszenarien zur Qualitäts- und Effizienzsteigerung	155
3.4.1	Werkerinformation zur Fehlerfrühwarnung	155
3.4.2	Werkerassistenz durch situative Unterstützung.....	157
3.4.3	Fahrzeugprüfung mit dynamischen Prüfumfängen	159
4	Umsetzung von Predictive Quality am Beispiel der BMW Group.....	163
4.1	Montage- und Prüfprozesse bei der BMW Group.....	163
4.1.1	Darlegung des Betrachtungsgegenstandes.....	163

4.1.2	Qualitäts- und dynamische Abschnittsprüfung	168
4.2	Erstellung des Datensets zur Potenzialanalyse	173
4.2.1	Auswahl von Merkmalen zur Beschreibung der Montagesituation	173
4.2.2	Auswahl von prognoserelevanten Fehlerbildern	177
4.2.3	Clustering von Montagetakten	179
4.3	Fehlerprognose mittels eines Klassifikators	186
4.3.1	Klassifikationsalgorithmus und Hyperparameter tuning	186
4.3.2	Erweiterung der Fehlerprognose um ein Ergebnisvoting	188
4.3.3	Modifikation der Fehlerprognose am Beispiel der BMW Group	191
4.4	Bewertung des Potenzials zur Qualitäts- und Effizienzsteigerung	193
4.4.1	Vorgehensweise und Zielsetzung der Potenzialanalyse	193
4.4.2	Wahl eines praxistauglichen Anwendungsfalls zur Fehlervermeidung/-entdeckung	194
4.4.3	Potenzialanalyse für den Testzeitraum	199
5	Zusammenfassung und Ausblick	205
5.1	Kurzfassung und zentrale Ergebnisse der Arbeit	205
5.2	Limitation der Ergebnisse	206
5.3	Ausblick und weiterer Forschungsbedarf	208
Literaturverzeichnis		211
Anhangsverzeichnis		231
Anhang 1:	Hopkins-Werte zur Untersuchung der Clustertendenz	233
Anhang 2:	Verteilung der beiden Klassen je Stationscluster	234
Anhang 3:	Clusterzugehörigkeit für analyserelevante Montagestationen ...	280
Anhang 4:	Votingergebnisse – Hardvoting	281
Anhang 5:	Votingergebnisse – Hardvoting 2	282
Anhang 6:	Votingergebnisse – Softvoting	284
Anhang 7:	Votingergebnisse – Softvoting 2	285