TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Maximilian Meister

Methodik zur adaptiven Planung digital unterstützter Problemlösungsprozesse im Produktionsanlauf

Schriftenreihe des PTW „Innovation Fertigungstechnik“

Herausgeber
Prof. Dr.-Ing. Eberhard Abele
Prof. Dr.-Ing. Joachim Metternich
Prof. Dr.-Ing. Matthias Weigold

TU DARMSTADT

Methodik zur adaptiven Planung digital unterstützter Problemlösungsprozesse im Produktionsanlauf

Vom Fachbereich Maschinenbau

an der Technischen Universität Darmstadt

zur

Erlangung des Grades eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

genehmigte

D i s s e r t a t i o n

vorgelegt von

Maximilian Meister, M. Sc.

aus München

Berichterstatter:	Prof. Dr.-Ing. Joachim Metternich
Mitberichterstatter:	Prof. Dr.-Ing. Gisela Lanza
Tag der Einreichung:	08.03.2021
Tag der mündlichen Prüfung:	12.05.2021

Darmstadt 2021
D17

Schriftenreihe des PTW: "Innovation Fertigungstechnik"

Maximilian Meister

Methodik zur adaptiven Planung digital unterstützter Problemlösungsprozesse im Produktionsanlauf

D 17 (Diss. TU Darmstadt)

Shaker Verlag
Düren 2021

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über http://dnb.d-nb.de abrufbar.

Zugl.: Darmstadt, Techn. Univ., Diss., 2021

Copyright Shaker Verlag 2021
Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-8117-6
ISSN 1864-2179

Shaker Verlag GmbH • Am Langen Graben 15a • 52353 Düren
Telefon: 02421 / 99 0 11 - 0 • Telefax: 02421 / 99 0 11 - 9
Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Vorwort des Herausgebers

Das Management von Produktionsanläufen ist eine wichtige Kompetenz produzierender Unternehmen. Aufgrund der Dynamik und Instabilität in der Anlaufphase werden Ziele in den Dimensionen Zeit, Kosten und Qualität häufig verfehlt. Auch bei einem systematischen Adressieren absehbarer Risiken kann es zu unvorhergesehenen Problemen kommen, die zu Verfügbarkeits-, Leistungs- und Qualitätsverlusten führen. Diese Probleme müssen unter hohem Zeit- und Kostendruck nachhaltig gelöst werden. Angesichts zunehmender Komplexität von Produkten und Prozessen erreichen etablierte Problemlösungsansätze oftmals ihre Grenzen. Zudem können unter Zeit- und Lieferdruck häufig lediglich Symptome bekämpft werden und ungelöste Probleme verursachen fortwährenden Aufwand. Gleichzeitig bieten die fortschreitende Digitalisierung und Vernetzung in der Produktion Potenziale zur Weiterentwicklung bestehender Problemlösungsansätze.

Die vorliegende Dissertation beschäftigt sich mit der adaptiven Planung digital unterstützter Problemlösungsprozesse im Produktionsanlauf. Grundlage des erarbeiteten Vorgehens bildet ein Regelkreismodell, welches mithilfe geeigneter Erhebungs- und Analysemethoden die Risiken des Anlaufprojekts sowie die Anforderungen an die Problemlösung zu einer Führungsgröße verarbeitet. Die Ist-Analyse der bestehenden Problemlösungsfähigkeiten ermöglicht einen Soll-Ist-Vergleich, aus dem mithilfe der Fuzzy-Logik relevante Stellgrößen für einen digital unterstützten Problemlösungsprozess abgeleitet werden. Die entwickelte Methodik kann damit eine wertvolle Hilfe bei der systematischen Vorbereitung auf die Lösung unvorhergesehener Probleme in der Anlaufphase sein sowie für eine flexible Anpassung, falls aktuelle Anstrengungen zur Problemlösung nicht ausreichen.

Darmstadt, im Juni 2021 Prof. Dr.-Ing. Joachim Metternich

Vorwort des Verfassers

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW) der Technischen Universität Darmstadt. Sie ist das Ergebnis meiner fünfjährigen Forschungsarbeit im Spannungsfeld der drei Wissensgebiete Produktionsanlauf, Problemlösung sowie Digitalisierung und Vernetzung in der Produktion.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. Joachim Metternich einerseits für die wissenschaftliche Betreuung, das kritische Hinterfragen und die konstruktiven Diskussionen, andererseits für das entgegengebrachte Vertrauen in meine Tätigkeiten am Institut sowie als Geschäftsführer des Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrums Darmstadt. Frau Prof. Dr.-Ing. Gisela Lanza danke ich für die bereitwillige Übernahme des Korreferats, das Interesse an dieser Arbeit und die lebhafte Diskussion der Ergebnisse.

Meine Projekterfahrungen in der industriellen Praxis und die damit verbundenen zahlreichen Gespräche mit Experten der Wissensgebiete haben zu einem erheblichen Teil zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen. Ohne deren Unterstützung und Engagement wäre der wissenschaftliche Erkenntnisgewinn nicht möglich gewesen. Allen involvierten Unternehmen und Experten gilt mein ausdrücklicher Dank. Hervorheben möchte ich Herrn Amir Cviko, der mir als Mentor stets zur Seite stand und den Praxisbezug erst möglich gemacht hat.

Meinen Kolleginnen und Kollegen am PTW, insbesondere der Forschungsgruppe CiP sowie dem technischen und administrativen Support, danke ich für die wunderbare Zeit und Zusammenarbeit mit einem motivierten und leistungsstarken Team. Unvergessen bleiben die zahlreichen gemeinsamen Workshops, Forschungs- und Beratungsprojekte. Ich danke insbesondere Dr.-Ing. Alexander Busse, Dr.-Ing. Rupert Glass, Dr.-Ing. Joscha Kaiser und Dr.-Ing. Carsten Schaede für zahlreiche Diskussionen und Anregungen, die ein oder andere Durchhalteparole und die Vitalität auch abseits des Büros. Gleichermaßen danke ich Dr.-Ing. Judith Enke, Dr.-Ing. Tobias Meudt und Lukas Hartmann für die unermüdliche fachliche und moralische Unterstützung sowie Lukas Longard für die sorgfältige Durchsicht meiner Arbeit.

Mein herzlichster Dank gilt meiner Familie, die mich immer unterstützt und bestärkt. Besonders danke ich meinen Eltern, die immer für mich da sind, und Dir, Annika, für die Zuversicht und Motivation in dieser Zeit.

Frankfurt am Main, im Mai 2021 Maximilian Meister

INHALTSVERZEICHNIS

Inhaltsverzeichnis ---------- I
Abbildungsverzeichnis ---------- V
Tabellenverzeichnis ---------- IX
Abkürzungen und Formelzeichen ---------- XIII
1 Einleitung ---------- 1
1.1 Forschungsziel ---------- 4
1.2 Wissenschaftstheoretischer Bezugsrahmen ---------- 5
1.3 Aufbau der Arbeit ---------- 6
2 Stand der Wissenschaft und Technik ---------- 8
2.1 Anlauf von Produktionssystemen ---------- 8
2.1.1 Ablauf- und Aufbauorganisation im Produktionsanlauf ---------- 8
2.1.2 Zielsystem für den Produktionsanlauf ---------- 11
2.1.3 Handlungsfelder des Anlaufmanagements ---------- 12
2.1.4 Planung unter Berücksichtigung von Risiken für das Anlaufprojekt ---------- 13
2.1.5 Probleme und resultierende Verluste im Produktionsanlauf ---------- 16
2.1.6 Zwischenfazit zur Bedeutung der Problemlösung für den Anlauf ---------- 18
2.2 Problemlösung in der Produktion ---------- 19
2.2.1 Qualitätsregelung in der Produktion ---------- 19
2.2.2 Reaktive Verbesserung in der Schlanken Produktion ---------- 21
2.2.3 Problembegriff und objektive Anforderungen von Problemen ---------- 23
2.2.4 Referenzprozess zur Problemlösung in der Produktion ---------- 27
2.2.5 Anwendungsvoraussetzungen systematischer Problemlösungsprozesse ---------- 33
2.2.6 Zwischenfazit zur Problemlösung im Produktionsanlauf ---------- 36
2.3 Digitalisierung und Vernetzung in der Produktion ---------- 36
2.3.1 Industrie 4.0 und die digitale Fabrik ---------- 36
2.3.2 Datenbasierte Entscheidungen im Problemlösungsprozess ---------- 39
2.3.3 Ansätze zur digital unterstützten Problemlösung in der Produktion ---------- 41
2.3.4 Zwischenfazit zur digital unterstützten Problemlösung im Anlauf ---------- 44
2.4 Forschungsarbeiten mit Bezug zum Untersuchungsbereich ---------- 45
2.4.1 Chronologische Vorstellung themenverwandter Ansätze ---------- 45
2.4.2 Zwischenfazit zur Relevanz themenverwandter Ansätze ---------- 47

2.5 Fazit zum Stand der Wissenschaft und Technik ----------48
3 Zielsetzung, Anforderungen und Forschungskonzeption ----------51
3.1 Konkretisierung der Zielsetzung ----------51
3.2 Anforderungen ----------52
3.2.1 Inhaltliche Anforderungen ----------53
3.2.2 Formale Anforderungen ----------53
3.3 Forschungskonzeption ----------54
3.3.1 System- und Modelltheorie ----------55
3.3.2 Kybernetik ----------57
3.3.3 Relevante Erhebungs- und Analysemethoden ----------58
4 Gestaltungsmodell zur adaptiven Planung ----------62
4.1 Struktur des Gestaltungsmodells ----------62
4.2 Detaillierung des Stellglieds im Gestaltungsmodell ----------63
4.2.1 Prozessablauf zur digital unterstützten Problemlösung im Anlauf --------63
4.2.2 Voraussetzungen zur digital unterstützten Problemlösung im Anlauf ----71
4.3 Detaillierung des Messglieds im Gestaltungsmodell ----------84
4.4 Detaillierung des Führungsgrößenmodells im Gestaltungsmodell ----------88
4.4.1 Risikobeurteilung für das Auftreten von Problemen im Anlaufprojekt --88
4.4.2 Empirisch-quantitative Entwicklung objektiver Anforderungsprofile ----91
4.4.3 Ermittlung der Führungsgröße ----------95
4.5 Detaillierung des Reglers im Gestaltungsmodell ----------97
4.5.1 Subsystem 1: Stellgrößen für den Prozessablauf ----------98
4.5.2 Subsystem 2: Stellgrößen für Anwendungsvoraussetzungen ---------- 101
5 Methodik zur adaptiven Planung ---------- 106
5.1 Struktur der Methodik ---------- 106
5.2 Anwendungsvorbereitung ---------- 107
5.3 Risikobeurteilung ---------- 109
5.4 Definition der Anforderungen und Ziele ---------- 110
5.5 Detailanalyse ---------- 110
5.6 Fähigkeitsbewertung ---------- 113
5.7 Lösungsfindung ---------- 113
6 Anwendung und Evaluierung der Methodik ---------- 116
6.1 Prototypische Anwendung der Methodik bei einem Hersteller für Farben --- 116

6.2 Evaluierung und kritische Reflexion ---------- 132
7 Zusammenfassung und Ausblick ---------- 135
7.1 Zusammenfassung ---------- 135
7.2 Ausblick ---------- 137
8 Literaturverzeichnis ---------- 138
9 Anhang ---------- 158
9.1 Literaturüberblick zur Typisierung und Klassifikation von Problemen ------- 158
9.2 Ergänzende Tabellen und Abbildungen zur Faktorenanalyse ---------- 160
9.3 Tabellarische Zuordnung von Methoden zu Prozessschritten ---------- 161
9.4 Kurzbeschreibung der Anwendungsfälle aus der Literatur ---------- 162
9.5 Kodierleitfäden zur Untersuchung digitaler Unterstützungspotenziale -------- 164
9.6 Katalog digital unterstützter Problemlösungsmethoden ---------- 165
9.7 Kurzbeschreibung der in Interviews besprochenen Anwendungsfälle -------- 168
9.8 Kodierleitfaden zur Analyse der Anwendungsvoraussetzungen ---------- 169
9.9 Kennzahlenkataloge ---------- 170
9.10 Beispielhafte Verläufe von tanh und K_P ---------- 171
9.11 Fragenkatalog zur Bestimmung des Fähigkeitsgrads ---------- 172
9.12 Zugehörigkeitsfunktionen Subsystem 1 ---------- 173
9.13 Regelbasis der Subsysteme 1 und 2 ---------- 174
9.14 Gewichtung Subsystem 1 ---------- 175
9.15 Gewichtung Subsystem 2 ---------- 175
9.16 Zugehörigkeitsfunktionen Subsystem 2 ---------- 176
9.17 Kennlinienfelder Subsystem 2 ---------- 177
9.18 Formblatt zur Dokumentation des Prozessablaufs ---------- 179
9.19 Merkmale und Ausprägungen der Anwendungsvoraussetzungen ---------- 179
9.20 Notation der WSA 4.0 ---------- 182
9.21 Anwendung der Planungsmethodik bei der Farben GmbH ---------- 182
9.22 Fragebogen zur Evaluierung ---------- 184

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Monetäre Handelsüberschüsse am Industriestandort Deutschland (Eigene Darstellung i.A.a. [STAT20]) 1
Abbildung 2: Iterativer Forschungszyklus [TOMC92], [KUBI76] 5
Abbildung 3: Forschungsprozess und Aufbau der Arbeit (Eigene Darstellung i.A.a. [ULRI84]) 6
Abbildung 4: Meilensteine, Phasen, Grafen und Kennzahlen im Anlauf [SCHM15a] 8
Abbildung 5: Anlaufkurve als Potenzfunktion [GUST89], [RISS03], [GART12] 9
Abbildung 6: Grundtypen der Aufbauorganisation im Produktionsanlauf [FITZ06], [TÜCK10], [GART12] 10
Abbildung 7: Zielsystem im Produktionsanlauf [WINK07b] 11
Abbildung 8: Handlungsfelder im Anlaufmanagement (Eigene Darstellung i.A.a. [TÜCK10]) 13
Abbildung 9: Risikomanagementprozess (Eigene Darstellung i.A.a. [DEUT18]) 14
Abbildung 10: Qualitätsverständnis [BEAU08] 20
Abbildung 11: Toyotas 4P-Modell [LIKE06] 22
Abbildung 12: Objektive Anforderungsstruktur und subjektive Aufgabenschwierigkeit [SCHR99] 25
Abbildung 13: Referenzprozess zur systematischen Problemlösung im Anlauf (Eigene Darstellung) 31
Abbildung 14: Auflösung der Automatisierungspyramide [BAUE16], [DEUT14] 38
Abbildung 15: Datenbasierte Entscheidungsprozesse (Eigene Darstellung i.A.a. [AAMO95], [AUGU90]) 39
Abbildung 16: Entwicklungsstufen der Datenanalyse [MEIS19] 41
Abbildung 17: Prozentuale Verteilung der 26 untersuchten Softwarelösungen nach Typen (Eigene Darstellung) 44
Abbildung 18: Zielsetzung der Methodik (Eigene Darstellung) 52
Abbildung 19: Lösungsansatz mit eingesetzten Forschungsmethoden (Eigene Darstellung i.A.a. [HÄUS04]) 55
Abbildung 20: Systemtheoretische Modellierung [STAC73], [HILL94] 56
Abbildung 21: Funktionsblöcke und Größen im technischen Regelkreis [UNBE08], [LUNZ16], [SCHE18] 57
Abbildung 22: Ablauf der zusammenfassenden Inhaltsanalyse [MAYR15] 59
Abbildung 23: Ablauf der Faktorenanalyse (Eigene Darstellung i.A.a. [BACK16]) 60
Abbildung 24: Grundlegende Elemente und Zusammenhänge im Gestaltungsmodell (Eigene Darstellung) 62
Abbildung 25: Bestandteile des Stellglieds im Gestaltungsmodell (Eigene Darstellung) 63
Abbildung 26: Ablaufdiagramm zur Realisierung der Potenziale beim Erfassen und Speichern (Eigene Darstellung) 66

Abbildung 27: Ablaufdiagramm zur Realisierung der Potenziale beim Verarbeiten (Eigene Darstellung) 68
Abbildung 28: Ablauf zur Realisierung der Potenziale beim Bereitstellen u. Kommunizieren (Eigene Darstellung) 69
Abbildung 29: Bestandteile des Messglieds im Gestaltungsmodell (Eigene Darstellung) 84
Abbildung 30: Bestandteile des Führungsgrößenmodells (Eigene Darstellung) 88
Abbildung 31: Beispielhafte Darstellung des Risikoprofils zum Anlaufprojekt (Eigene Darstellung) 91
Abbildung 32: Graphische Darstellung der Faktorwerte (Eigene Darstellung i.A.a. [MEIS20]) 95
Abbildung 33: Bestandteile des Reglers im Gestaltungsmodell (Eigene Darstellung) 97
Abbildung 34: Leistungs-/ Anforderungsdiagramm (Eigene Darstellung) 98
Abbildung 35: Kennlinienfelder im Subsystem 1 (Eigene Darstellung) 101
Abbildung 36: DSM zur Analyse d. (Inter-)Dependenzen bei Anwendungsvoraussetzungen (Eigene Darstellung) 103
Abbildung 37: DMM zur Analyse d. (Inter-)Dependenzen zwischen Prozessablauf und Anwendungsvoraussetzungen (Eigene Darstellung) 104
Abbildung 38: Kennlinienfeld Subsystem 2 am Beispiel Personal und Teamarbeit (Eigene Darstellung) 105
Abbildung 39: Bestandteile und Zusammenhänge des Modells und der Methodik (Eigene Darstellung) 106
Abbildung 40: Wertstrom des Planungsbereichs (Eigene Darstellung) 117
Abbildung 41: Ausschnitt der Risikoidentifikation und -bewertung der Farben GmbH (Eigene Darstellung) 118
Abbildung 42: Risikomindernde Faktoren bei der Farben GmbH (Eigene Darstellung) 119
Abbildung 43: Risikoprofil der Farben GmbH (Eigene Darstellung) 120
Abbildung 44: Charakterisierung des Prozessablaufs bei der Farben GmbH (Eigene Darstellung) 121
Abbildung 45: Charakterisierung der Kategorie Personal und Teamarbeit bei der Farben GmbH (Eigene Darstellung) 122
Abbildung 46: Charakterisierung der Kategorie Daten- und Informationsmanagement (Eigene Darstellung) 123
Abbildung 47: Charakterisierung der Kategorie Kultur und Organisation bei der Farben GmbH (Eigene Darstellung) 124
Abbildung 48: Bewertung des Fähigkeitsgrads bei der Farben GmbH (Eigene Darstellung) 125
Abbildung 49: Leistungs-/ Anforderungsdiagramm der Farben GmbH (Eigene Darstellung) 126
Abbildung 50: Soll-Vorgabe des Fuzzy-Reglers und Ist-Fähigkeitsbewertung (Eigene Darstellung) 127
Abbildung 51: Screeplot (Eigene Darstellung i.A.a. [MEIS20]) 160

Abbildung 52: Beispielhafter Verlauf für tanh(ΔK) mit ΔK ∈ [-3,3] (Eigene Darstellung) 171
Abbildung 53: Beispielhafter Verlauf für KPΔK mit ΔK ∈ [-3,3] (Eigene Darstellung) 171
Abbildung 54: Zugehörigkeitsfunktion der Eingangsgrößen E_K (links) und E_F (rechts) (Eigene Darstellung) 173
Abbildung 55: Zugehörigkeitsfunktion der Ausgangsgrößen Prozess (oben links), Methodeneinsatz, -flexibilität,-komplexität (oben rechts) und Digitalisierung (unten links) (Eigene Darstellung) 173
Abbildung 56: Zugehörigkeitsfunktion der Eingangsgrößen Prozess (oben links), Methodeneinsatz, -flexibilität,-komplexität (oben rechts) und Digitalisierung (Mitte links), Zugehörigkeitsfunktion der Ausgangsgrößen Team und Personal (Mitte rechts), Daten- und Informationsmanagement (unten links) sowie Kultur- und Organisation (unten rechts) (Eigene Darstellung) 176
Abbildung 57: Kennlinienfeld Subsystem 2 - Daten- und Informationsmanagement (Eigene Darstellung) 177
Abbildung 58: Kennlinienfeld Subsystem 2 - Kultur und Organisation (Eigene Darstellung) 178
Abbildung 59: Visualisierung der Analyseergebnisse in der Notation der WSA 4.0 (Ausschnitt) [MEUD20] 182
Abbildung 60: Stakeholder-Analyse bei der Farben GmbH (Eigene Darstellung) 182
Abbildung 61: Risikoidentifikation und -bewertung der Farben GmbH (Eigene Darstellung) 183
Abbildung 62: Ablaufanalyse der Farben GmbH (Eigene Darstellung) 183

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Vor- und Nachteile der Grundtypen der Anlauforganisation [WHEE95], [FITZ06], [TÜCK10], [GART12] 10
Tabelle 2: Kosten im Produktionsanlauf [TÜCK10] 12
Tabelle 3: Übersicht der Risikoquellen (Eigene Darstellung) 14
Tabelle 4: Charakteristiken der Anlaufphasen und resultierende Probleme (Eigene Darstellung) 18
Tabelle 5: Proaktiver und reaktiver Verbesserungsprozess [ABEL11], [CACH13] 23
Tabelle 6: Merkmale und Kriterien zur Beschreibung objektiver Anforderungen von Problemen [MEIS20] 25
Tabelle 7: Relevante Ansätze zur systematischen Problemlösung in der Produktion (Eigene Darstellung) 27
Tabelle 8: Prozessschritte, Methoden und Werkzeuge als Basis der Problemlösung (Eigene Darstellung) 31
Tabelle 9: Prozessschritte, Methoden und Werkzeuge im Kern des PLP (Eigene Darstellung) 33
Tabelle 10: Prozessschritte, Methoden und Werkzeuge begleitend im PLP (Eigene Darstellung) 33
Tabelle 11: Voraussetzungen zur Anwendung systematischer PLP (Eigene Darstellung i.A.a. [MEIS17], [MEIS18]) 34
Tabelle 12: Problemlösungsrelevante Betriebsdatenarten (Eigene Darstellung i.A.a. [LOOS99], [KURB13]) 37
Tabelle 13: Zuordnung der analysierten Ansätze und Lösungen zu Schritten im Referenzprozess (Eigene Darstellung) 42
Tabelle 14: Inhaltliche und formale Anforderungen an die Planungsmethodik (Eigene Darstellung) 52
Tabelle 15: Relevante Erhebungs- und Analysemethoden (Eigene Darstellung) 58
Tabelle 16: Stellgrößen in Bezug auf den Referenzprozess zur Problemlösung (Eigene Darstellung) 64
Tabelle 17: Potenziale beim Erfassen und Speichern von Daten und Informationen (Eigene Darstellung) 65
Tabelle 18: Potenziale beim Verarbeiten von Daten und Informationen (Eigene Darstellung) 67
Tabelle 19: Potenziale beim Bereitstellen und Kommunizieren von Informationen (Eigene Darstellung) 68
Tabelle 20: Merkmale und Ausprägungen zur Charakterisierung der digitalen Unterstützung (Eigene Darstellung) 70
Tabelle 21: Stellgrößen der Hauptkategorie „Personal und Teamarbeit“ (Eigene Darstellung) 71
Tabelle 22: Ausprägungen der Stellgröße Teamgröße (Eigene Darstellung) 72
Tabelle 23: Ausprägungen der Stellgröße Teamorganisation (Eigene Darstellung) 72

Tabelle 24: Ausprägungen der Stellgröße Interdisziplinarität d. Teamzusammensetzung (Eigene Darstellung) 73
Tabelle 25: Ausprägungen der Stellgröße Verantwortlichkeiten (Eigene Darstellung) 73
Tabelle 26: Ausprägungen der Stellgröße Kompetenzen und Erfahrung – Teamleitung (Eigene Darstellung) 73
Tabelle 27: Ausprägungen der Stellgröße Kompetenzen u. Erfahrung – Fach- u. Prozessexperten (Eigene Darstellung) 74
Tabelle 28: Ausprägungen der Stellgröße Kompetenzen u. Erfahrung – Methodenexperten (Eigene Darstellung) 74
Tabelle 29: Ausprägungen d. Stellgröße Kompetenzen u. Erfahrung – Daten- u. IT-Spezialisten (Eigene Darstellung) 75
Tabelle 30: Stellgrößen der Hauptkategorie „Daten- und Informationsmanagement“ (Eigene Darstellung) 75
Tabelle 31: Ausprägungen der Stellgröße Routinedaten – Daten zum Fertigungsauftrag (Eigene Darstellung) 76
Tabelle 32: Ausprägungen d. Stellgröße Routinedaten – Maschinen- / Prozess- / Werkzeugdaten (Eigene Darstellung) 76
Tabelle 33: Ausprägungen der Stellgröße Routinedaten – Qualitätsdaten (Eigene Darstellung) 77
Tabelle 34: Ausprägungen der Stellgröße Datenneuaufnahme (Eigene Darstellung) 77
Tabelle 35: Ausprägungen der Stellgröße Schnittstellen (Eigene Darstellung) 78
Tabelle 36: Ausprägungen der Stellgröße Datenbanken und -speicherorte (Eigene Darstellung) 78
Tabelle 37: Ausprägungen der Stellgröße Datenzugriff (Eigene Darstellung) 78
Tabelle 38: Ausprägungen der Stellgröße Datenstruktur und -verknüpfung (Eigene Darstellung) 79
Tabelle 39: Ausprägungen der Stellgröße Datenaktualität (Eigene Darstellung) 80
Tabelle 40: Ausprägungen der Stellgröße Softwarenutzung – prozessbegleitende Software (Eigene Darstellung) 80
Tabelle 41: Ausprägungen der Stellgröße Softwarenutzung – Datenanalyse-Software (Eigene Darstellung) 81
Tabelle 42: Ausprägungen der Stellgröße Softwarenutzung – Bereitstellung u. Kommunikation (Eigene Darstellung) 82
Tabelle 43: Stellgrößen der Hauptkategorie „Personal und Teamarbeit“ (Eigene Darstellung) 82
Tabelle 44: Ausprägungen der Stellgröße Managementunterstützung (Eigene Darstellung) 83
Tabelle 45: Ausprägungen der Stellgröße Autonomie (Eigene Darstellung) 83
Tabelle 46: Ausprägungen der Stellgröße Stellenwert (Eigene Darstellung) 83
Tabelle 47: Ausprägungen der Stellgröße Wissensweitergabe (Eigene Darstellung) 84
Tabelle 48: Ausprägungen der Stellgröße Standardisierung (Eigene Darstellung) 84

Tabelle 49: Identifikation geeigneter Kennzahlen (Eigene Darstellung) 85
Tabelle 50: Intervalle für Kennzahl, Fähigkeitsgrad und Problemlösungsfähigkeit (Eigene Darstellung) 87
Tabelle 51: Ausprägungen der Risikoquellen zur Bewertung der Risikoart und -höhe (Eigene Darstellung)..... 89
Tabelle 52: Risikofaktoren zur Berücksichtigung proaktiver Anlaufvorbereitungen (Eigene Darstellung) 90
Tabelle 53: Mittelwerte, Standardabweichung und p-Werte des rechtsseitigen Einstichproben t-Tests [MEIS20]..... 92
Tabelle 54: Variablen, Kriterien und Ausprägungen zur Expertenbewertung (Eigene Darstellung i.A.a. [MEIS20]) 93
Tabelle 55: Rotierte Faktorenmatrix sortiert nach Faktorladungen [MEIS20]..... 94
Tabelle 56: Anforderungsprofile zur Ermittlung der Führungsgröße (Eigene Darstellung)..... 96
Tabelle 57: Intervalle zur Bestimmung der Führungsgröße (Eigene Darstellung)..... 97
Tabelle 58: Konzeption der Regelbasis (Eigene Darstellung)..... 100
Tabelle 59: (Inter-)Dependenzen innerhalb Anwendungsvoraussetzungen (DSM) (Eigene Darstellung) 102
Tabelle 60: (Inter-)Dependenzen zwischen Prozessablauf und Voraussetzungen (DMM) (Eigene Darstellung)..... 104
Tabelle 61: Tabellarische Prozessdokumentation der Qualitätsprüfung bei der Farben GmbH (Eigene Darstellung) 118
Tabelle 62: Prozessschritte und Methoden im zukünftigen PLP der Farben GmbH (Eigene Darstellung) 128
Tabelle 63: Anwendungsvoraussetzungen des zukünftigen PLP bei der Farben GmbH (Eigene Darstellung)..... 131
Tabelle 64: Ergebnisse der Evaluation der Planungsmethodik (n = 5) (Eigene Darstellung)..... 132
Tabelle 65: Korrelationsmatrix (Eigene Darstellung) 160
Tabelle 66: Anti-Image-Korrelation (Eigene Darstellung)..... 160
Tabelle 67: Zuordnung von Methoden zu Prozessschritten im Referenzprozess (Eigene Darstellung) 161
Tabelle 68: Kurzbeschreibung der untersuchten Anwendungsfälle aus der Literatur (Eigene Darstellung) 162
Tabelle 69: Kodierleitfaden für die Kategorie „Erfassen und Speichern problemlösungsrelevanter Daten und Informationen“ (Eigene Darstellung)..... 164
Tabelle 70: Kodierleitfaden für die Kategorie „Verarbeiten problemlösungsrelevanter Daten und Informationen“ (Eigene Darstellung)..... 164
Tabelle 71: Kodierleitfaden für die Kategorie „Bereitstellen und Kommunizieren problemlösungsrelevanter Informationen“ (Eigene Darstellung) 165
Tabelle 72: Digitalisierungspotenziale ausgewählter Problemlösungsmethoden (Eigene Darstellung) 165

Tabelle 73: Kurzbeschreibung der in den Interviews zugrundeliegenden Anwendungsfälle (Eigene Darstellung) 168
Tabelle 74: Kodierleitfaden für die Kategorie „Personal und Teamarbeit“ (Eigene Darstellung) 169
Tabelle 75: Kodierleitfaden für die Kategorie „Daten- und Informationsmanagement“ (Eigene Darstellung) 169
Tabelle 76: Kodierleitfaden für die Kategorie „Kultur und Organisation“ (Eigene Darstellung) 170
Tabelle 77: Kennzahlenkatalog – Anlauf (Eigene Darstellung) 170
Tabelle 78: Kennzahlenkatalog – Problemlösung (Eigene Darstellung) 171
Tabelle 79: Fragenkatalog zur Bestimmung des Fähigkeitsgrads (Eigene Darstellung) 172
Tabelle 80: Regelbasis Subsystem 1 (Eigene Darstellung) 174
Tabelle 81: Regelbasis Subsystem 2 (Eigene Darstellung) 174
Tabelle 82: Berechnung der Gewichtung für die Regeln im Subsystem 1 - Bewertung der Kriterien auf einer Skala von 1 (gering) bis 4 (hoch) (Eigene Darstellung) 175
Tabelle 83: Berechnung der Gewichtung für die Regeln im Subsystem 2 - Bewertung der Kriterien auf einer Skala von 1 (gering) bis 4 (hoch) (Eigene Darstellung) 175
Tabelle 84: Formblatt zur Dokumentation des Prozessablaufs zur Problemlösung (Eigene Darstellung) 179
Tabelle 85: Merkmale und Ausprägungen der Kategorie „Personal und Teamarbeit" (Eigene Darstellung) 179
Tabelle 86: Merkmale und Ausprägungen der Kategorie „Daten- und Informationsmanagement" (Eigene Darstellung) 180
Tabelle 87: Merkmale und Ausprägungen der Kategorie „Kultur und Organisation" (Eigene Darstellung) 181
Tabelle 88: Fragebogen zur Evaluierung (Eigene Darstellung) 184

ABKÜRZUNGEN UND FORMELZEICHEN

AIAG	Automotive Industry Action Group
$B_{P,i}$	Bewertung der Stellgrößen i
$B_{PA,i}$	Bewertung der Stellgrößen i für den Prozessablauf
$B_{PPT,i}$	Bewertung der Stellgrößen i für die Kategorie Teamarbeit und Personal
$B_{PDI,i}$	Bewertung der Stellgrößen i für die Kategorie Daten- und Informations-management
$B_{PKO,i}$	Bewertung der Stellgrößen i für die Kategorie Kultur und Organisation
CiP	Prozesslernfabrik CiP (Center für industrielle Produktivität)
CPS	Cyber-physisches System
CPPS	Cyber-physische Produktionssysteme
CRISP DM	Cross Industry Standard Process for Data Mining
DIN	Deutsches Institut für Normung
ΔK	Gewichtete Abweichung der Soll- und Ist-Kennzahlen
ΔK_K	Abweichung zwischen geplanter und tatsächlicher Kostenkennzahl
ΔK_Q	Abweichung zwischen geplanter und tatsächlicher Qualitätskennzahl
ΔK_Z	Abweichung zwischen geplanter und tatsächlicher Zeitkennzahl
DMAIC	Define-Measure-Analyze-Improve-Control
DMM	Domain-Mapping-Matrix
DoE	Design of Experiments
DPMO	defects per million opportunities
DSM	Design Structure Matrix
e	Regelabweichung im technischen Regelkreis
E	Regelabweichung im Gestaltungsmodell
E_K	Regelabweichung der Komponente Kennzahl
E_F	Regelabweichung der Komponente Fähigkeitsgrad
ERP	Enterprise-Resource-Planning
EUR	Euro
F	Fähigkeitsgrad
F_P	Gemessener Fähigkeitsgrad (Regelgröße)
F_W	Geforderter Fähigkeitsgrad (Führungsgröße)
FMEA	Fehlermöglichkeits- und -Einflussanalyse
g_{Kosten}	Gewichtungsfaktor für den Kostenanteil
$g_{Qualität}$	Gewichtungsfaktor für den Qualitätsanteil
g_{Zeit}	Gewichtungsfaktor für den Zeitanteil
GAE	Gesamtanlageneffektivität
H_0	Null-Hypothese
H_1	Alternativ-Hypothese

i.O.	in Ordnung
ISO	Internationale Organisation für Normung
IT	Informationstechnik
K_{K-ist}	Ist-Kennzahl der Dimension Kosten
K_{K-soll}	Soll-Kennzahl der Dimension Kosten
K_{Q-ist}	Ist-Kennzahl der Dimension Qualität
K_{Q-soll}	Soll-Kennzahl der Dimension Qualität
K_{Z-ist}	Ist-Kennzahl der Dimension Zeit
K_{Z-soll}	Soll-Kennzahl der Dimension Zeit
KT	Kepner-Tregoe
K_P	Gemessene kennzahlbezogene Leistungsfähigkeit (Regelgröße)
K_W	Geforderte kennzahlbezogene Leistungsfähigkeit (Führungsgröße)
n.i.O.	nicht in Ordnung
KMO	Kaiser-Meyer-Olkin
MA	Manufacturing Analytics
MES	Manufacturing Execution Systeme
MS	Microsoft
msa	measure of sampling adequacy
MSA	Messsystemanalyse
MTO	Mensch-Technik-Organisation
μ	Mittelwert
n	Stichprobengröße
Nr.	Nummer
OEE	Overall Equipment Effectiveness
OPC UA	Open Platform Communications Unified Architecture
P	Problemlösungsfähigkeit (Regelgröße im Gestaltungsmodell)
PLP	Problemlösungsprozesse
ppm	parts per million
PDCA	Plan-Do-Check-Act
PTW	Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen
PUL	Problem - Ursache - Lösung
QC	Quality Control
QFD	Quality Function Deployment
QM	Qualitätsmanagement
QRK	Qualitätsregelkreise
QS	Qualitätssicherung
RF_W	Risikomindernder Faktor für die Wertschöpfungskette
RF_{Pt}	Risikomindernder Faktor für das Produkt

RF_{Ps}	Risikomindernder Faktor für den Prozess
R_{Ges}	Gesamtrisiko für das Auftreten von Problemen im Anlauf
$r_{Ps.i}$	Risikohöhe je Risikoquelle i aus dem Prozess
R_{Ps}	Risikobeurteilung für den Prozess
$r_{Pt.i}$	Risikohöhe je Risikoquelle i aus dem Produkt
R_{Pt}	Risikobeurteilung für das Produkt
$r_{w,i}$	Risikohöhe je Risikoquelle i aus der Wertschöpfungskette
R_W	Risikobeurteilung für die Wertschöpfungskette
RW_W	Risikowert für die Wertschöpfungskette
RW_{Ps}	Risikowert für den Prozess
RW_{Pt}	Risikowert für das Produkt
SFM	Shopfloor Management
σ	Sigma, Standardabweichung
SOP	Start of Production / Start der Produktion
SPC	Statistische Prozesskontrolle
SQL	Structured Query Language
TPS	Toyota-Produktionssystem
TQM	Total Quality Management
TUDa	Technische Universität Darmstadt
u	Stellgrößen im technischen Regelkreis
U	Stellgrößen im Gestaltungsmodell
u_R	Signal des Reglers an das Stellglied im technischen Regelkreis
U_R	Signal des Reglers an das Stellglied im Gestaltungsmodell
US	United States
VDA	Verband der Automobilindustrie e.V.
VoC	Voice of the Customer
w	Führungsgröße im technischen Regelkreis
W	Führungsgröße im Gestaltungsmodell
WSA	Wertstromanalyse
WSA 4.0	Wertstromanalyse 4.0
WSD	Wertstromdesign
y	Regelgröße im technischen Regelkreis
z	Störungen im technischen Regelkreis
Z	Probleme im Gestaltungsmodell