

Jonathan G. Brock

Systematik zur Leistungssteigerung von Fertigungsprozessen durch Process Mining

Methodological framework for increasing the performance of manufacturing processes through process mining

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen National-bibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar

©Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn – Paderborn – 2025

Das Werk einschließlich seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung der Herausgeber und des Verfassers unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigung, Übersetzungen, Mikroverfilmungen, sowie die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Satz und Gestaltung: Jonathan Brock

Hersteller: Verlagshaus Monsenstein und Vannerdat OHG
Druck · Buch · Verlag
Bielefeld

Printed in Germany

Geleitwort

Advanced Systems Engineering beschreibt die neue Perspektive auf die Entwicklung und das Betreiben von intelligenten technischen Systemen. Das ist die verbindende Leitidee unserer Forschungsarbeit. In der gleichnamigen Fachgruppe am HEINZ NIXDORF INSTITUT der UNIVERSITÄT PADERBORN sowie am FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR ENTWURFSTECHNIK MECHATRONIK IEM arbeiten wir an dieser Leitidee. Unser generelles Ziel ist die Steigerung der Innovationskraft von Industrieunternehmen. Zentrale Schwerpunkte der Forschung an den beiden Instituten sind die strategische Planung und das Systems Engineering.

Advanced Systems umfassen nicht nur moderne cyber-physische Produkte, sondern auch die heutigen Produktionssysteme. Diese Systeme generieren enorme Datenmengen und bieten gleichzeitig eine hohe Flexibilität bei der Verkettung von Prozessen. Mit der zunehmenden Flexibilität der Prozesse geht jedoch auch die Herausforderung einher, die Transparenz über die eigene Wertschöpfung zu bewahren. Eine vielversprechende Lösung bietet hierbei Process Mining – eine Technologie, die die Analyse von Geschäftsprozessen auf Basis von Daten ermöglicht, jedoch bislang nur selten im Fertigungsbereich Anwendung findet.

Vor diesem Hintergrund hat Herr Brock eine *Systematik zur Leistungssteigerung von Fertigungsprozessen mit Process Mining* entwickelt. Sie ermöglicht produzierenden Unternehmen die Potentiale des Process Minings schrittweise für sich zu erschließen und auszubauen. Dafür leitet die Systematik durch die Identifikation und Umsetzung von Process Mining Use Cases mithilfe von Vorgehensmodellen und Hilfsmitteln. Zusätzlich ermöglicht ein Process Mining Reifegradmodell den Anwendern, ihre Initiativen langfristig weiterzuentwickeln und somit die Qualität ihrer Process Mining Aktivitäten zu steigern.

Herr Brock leistet mit seiner Arbeit einen wertvollen Beitrag zur internationalen Forschung im Themenfeld der Industrial Data Science. Seine Arbeit zeichnet sich durch hohe wissenschaftliche Sorgfalt und eine nachweislich hohe Relevanz für die industrielle Praxis aus. Durch seine geschickte Kombination von etablierten Vorgehensweisen mit international anerkannten Forschungsansätzen wird Herr Brock unser Arbeiten am Institut nachhaltig prägen.

Systematik zur Leistungssteigerung von Fertigungsprozessen durch Process Mining

zur Erlangung des akademischen Grades eines
DOKTORS DER INGENIEURWISSENSCHAFTEN (Dr.-Ing.)
der Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik
der Universität Paderborn

genehmigte
DISSERTATION

von
M. Sc. Jonathan Georg Brock
aus Bielefeld

Tag des Kolloquiums: 27. Mai 2025
Referent: Prof. Dr.-Ing. Roman Dumitrescu
Korreferent: Prof. Dr.-Ing. Sebastian von Enzberg

Vorwort

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR ENTWURFSTECHNIK MECHATRONIK IEM im Bereich der strategischen Produkt- und Unternehmensgestaltung. Sie ist das Ergebnis meiner wissenschaftlichen Arbeit im Rahmen von Forschungs- und Industrieprojekten.

Besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. Roman Dumitrescu für die fördernde und fordernde Zusammenarbeit in meinen vier Jahren am Institut. Du hast stets die richtigen Fragen gestellt, Impulse gesetzt und mir das übergeordnete Ziel verdeutlicht. Ferner hat das von dir geschaffene Umfeld wesentlich zu meiner fachlichen und persönlichen Entwicklung beigetragen. Mein herzlicher Dank gilt auch Herrn Prof. Dr.-Ing. Sebastian von Enzberg. Als mein ehemaliger Gruppenleiter hast du meine ersten wissenschaftlichen Schritte entscheidend geprägt und als Korreferent bis zum Ende begleitet.

Weiterhin möchte ich mich bei meinen ehemaligen Kolleginnen und Kollegen am FRAUNHOFER IEM und HEINZ NIXDORF INSTITUT bedanken – für unvergessliche Momente und herausfordernde Projekte, aber vor allem für den notwendigen Spaß. Besonders bedanken möchte ich mich bei Dr.-Ing. Arno Kühn. Der Austausch mit dir hat wesentlich zur Ausgestaltung meiner Dissertation beigetragen. Vielmehr jedoch hat dein aktives Wirken für die Kultur und die Zusammenarbeit entscheidend dazu beigetragen, dass auf alle Kolleginnen und Kollegen jederzeit Verlass ist. Des Weiteren möchte ich mich bei meinem Bürokollegen Julian Weller für das gegenseitige Antreiben und Inspirieren bedanken. Vielen Dank an Dr.-Ing. Christian Koldewey für den gegenseitigen Austausch zu anwendungsorientierter Forschung und dessen Methodik. Ein weiterer Dank gilt allen Studierenden, die mich in Projekten und der Forschung tatkräftig unterstützt haben. Besonderer Dank gilt Sabine Illigen und Alexandra Dutschke für die organisatorische Unterstützung ab dem ersten Tag – stets unter dem Motto „*You Rise By Lifting Others*“.

Tiefster Dank gilt meiner Familie. Meinen Eltern Heike und Burkhard, die mir ermöglicht haben heute hier zu sein. Meiner Frau Ricarda, die mich während der gesamten Zeit mit Zuversicht, Kraft und Geduld unterstützt hat. Danke, dass es euch gibt!

Vielen Dank Florian Laux. Für die zu kurzen Gespräche über Forschung. Für die geistige Unterstützung bei der Ausarbeitung. Diese Arbeit ist eine Erinnerung an dich.

Liste der veröffentlichten Teilergebnisse

[BEK+23] BROCK, J.; VON ENZBERG, S; KÜHN, K.; DUMITRESCU, R.: Process Mining Data Canvas: A method to identify data and process knowledge for data collection and preparation in process mining projects. *CIRP Design*, 602-609, 2023.

[BLB+23] BROCK, J.; LÖHR, B; BRENNIG, K; SEGER, T.; BARTELHEIMER, C.; VON ENZBERG, S; KÜHN, K.; DUMITRESCU, R.: A process mining maturity model: Enabling organizations to assess and improve their process mining activities. *ECIS*, 1-16, 2023.

[BRE+23] BROCK, J.; REMPE, N.; VON ENZBERG, S; KÜHN, K.; DUMITRESCU, R.: A framework for the domain-driven utilization of manufacturing sensor data in process mining: an action design approach. *CPSL* 771-781, 2023-2.

[BEK+24] BROCK, J.; VON ENZBERG, S; KÜHN, K.; DUMITRESCU, R.: Towards business use cases of process mining in product development and manufacturing: Deriving and classifying 18 application scenarios in industry. *CIRP Design*, 268–273 2024.

[BKD24] BROCK, J.; KÜHN, K.; DUMITRESCU, R.: Method for the identification of process mining use cases in manufacturing. *CPSL*, 282-291, 2024-1.

[BBL+24] BROCK, J.; BRENNIG, K; LÖHR, B; BARTELHEIMER, C.; VON ENZBERG, S; DUMITRESCU, R.: Improving Process Mining Maturity. From Intentions to Actions. *Business & Information Systems Engineering BISE*, o. S., 2024. (Journal mit folgenden Rankings: VHB-JQ3: B¹; SJR (2023): Q1 (1.611)^{1,2}; IF (2023): 7.4¹; Google h5: 57¹; Citescore (2023): 13.9¹).

Liste aller Veröffentlichungen im Rahmen der Tätigkeit am Fraunhofer IEM

[BEK+22] BROCK, J.; VON ENZBERG, S; KÜHN, K.; DUMITRESCU, R.: Nutzung von Process Mining in RPA-Projekten. In: FELDMANN, C. (Hrsg) *Praxishandbuch Robotic Process Automation (RPA)*. Springer, 61-81, 2022.

[BLB+24] BRENNIG, K.; LÖHR, B.; BROCK, J.; REINEKE, M.; BARTELHEIMER, C.: Maximizing the impact of process mining research: Four strategic guidelines. *AMCIS*, 1-10, 2024.

[HBK+24] HARTMANN, S.; BROCK, J.; KÜHN, A.; DUMITRESCU, R.: Applying Artificial Intelligence in the Smart Factory: Lessons Learned from real-world use cases. *CIRP CMS*, 100-105, 2024.

[EWB+24] VON ENZBERG, S.; WELLER, J.; BROCK, J.; MERKELBACH, S.; PANZNER, M.; LICK, J.; KÜHN, A.; DUMITRESCU, R.: On the Current State of Industrial Data Science: Challenges, Best Practices, and Future Directions. *CIRP CMS*, 1454-1461, 2024

¹ https://www.bise-journal.com/?page_id=102 zuletzt besucht am 05.07.2024.

² <https://www.scimagojr.com/journalsearch.php?q=14490&tip=sid&clean=0> zuletzt besucht am 05.07.2024.

Kurzzusammenfassung

Die Fertigung von heute entwickelt sich zu einer kundenindividuellen Massenfertigung. Ansätze wie Industrie 4.0 erzeugen zwar mehr Daten, erhöhen jedoch auch die Komplexität in der Fertigung. Industriebetriebe laufen Gefahr, die Transparenz über ihre Fertigung zu verlieren. Process Mining (PM) bietet das Potential, datenbasiert Prozesse darzustellen und zu analysieren. Doch während sich PM großer Beliebtheit in administrativen Prozessen erfreut, findet es seltener Anwendung in Fertigungsprozessen. Dies lässt sich mit verschiedenen Eigenschaften des Fertigungsumfelds erklären, wie zum Beispiel die heterogene IT-Systemlandschaft oder dem Bedarf an Prozess- und Datenwissen.

Ziel dieser Arbeit ist eine *Systematik zur Leistungssteigerung von Fertigungsprozessen durch PM*. Das Fundament bildet eine Strukturierung und Einordnung des Begriffs PM Use Case für Organisationen. Die drei Kernbestandteile der Systematik bieten eine Möglichkeit zur Auswahl eines PM Use Cases, der Durchführung von PM Projekten in Fertigungsprozessen und einer reifegradmodellbasierten Leistungssteigerung von PM Initiativen. Dafür werden speziell für die Systematik entwickelte Hilfsmittel zur Verfügung gestellt, wie eine PM Data Canvas oder ein PM Reifegradmodell. Industriebetrieben wird so ermöglicht, relevante PM Use Cases in der Fertigung umzusetzen und diese Erfahrungen reifegradbasiert in die langfristige Entwicklung ihrer PM Initiativen einfließen zu lassen. Die Systematik wird am Beispiel des Fertigungsprozesses eines Maschinen- und Anlagenbauers demonstriert und umfangreich evaluiert.

Abstract

Today's manufacturing is developing into a mass production of customized goods. Approaches like Industry 4.0 generate more data but also increase the complexity in manufacturing. Manufacturers are at risk of losing transparency over their value generation. Process mining (PM) facilitates the capability to display and analyze business processes from a data-driven perspective. However, while PM enjoys a great popularity in administrative processes, it is less frequently used in manufacturing. This is due to various characteristics of the manufacturing environment, such as heterogenous IT-system-architectures or the needed process and data knowledge.

The aim of this thesis is to develop a *methodological framework for increasing the performance of manufacturing processes through PM*. It is based on the structuring and classification of the term of PM use case in organizations. Additionally, three core components allow for the selection of a relevant PM use case, the execution of PM projects in manufacturing process, and an overall maturity-model-based performance improvement of the PM initiative. Artifacts specially developed for this purpose, such as a PM data canvas or a PM maturity model, are provided. This enables manufacturers to implement relevant PM use cases and to incorporate this experience into the long-term development of their PM activities. The framework is demonstrated using the example production process of a German mechanical and plant engineering company and extensively evaluated.

Inhaltsverzeichnis Seite

| | |
|---|-----------|
| 1 Einleitung..... | 1 |
| 1.1 Problematik..... | 1 |
| 1.2 Zielsetzung | 3 |
| 1.3 Übergeordnete Forschungsmethode | 3 |
| 1.4 Aufbau der Arbeit..... | 6 |
| 2 Problemanalyse..... | 7 |
| 2.1 Begriffsbestimmung und Einordnung..... | 7 |
| 2.1.1 Leistungssteigerung | 7 |
| 2.1.2 Fertigung und Produktion | 8 |
| 2.1.3 Prozesse und Geschäftsprozesse | 8 |
| 2.1.4 Process Mining | 9 |
| 2.1.5 Process Mining Initiative | 10 |
| 2.2 Wandel der Fertigung | 11 |
| 2.2.1 Grundlegende Konzepte der Fertigung | 11 |
| 2.2.2 Vision im Rahmen der Industrie 4.0..... | 13 |
| 2.3 Leistungssteigerung von Fertigungsprozessen | 14 |
| 2.3.1 Bedeutung von Prozessen..... | 15 |
| 2.3.2 Entwicklung und Ansätze des Managements von Prozessen ... | 16 |
| 2.3.3 Heutiges Verständnis des Prozessmanagements | 21 |
| 2.4 Process Mining für eine datenbasierte Leistungssteigerung | 26 |
| 2.4.1 Einordnung des Process Minings | 26 |
| 2.4.2 Datengrundlage, Haupttechniken und Typen des Process Minings..... | 28 |
| 2.4.3 Process Mining Projekte und Use Cases | 32 |
| 2.4.4 Process Mining in der Organisation..... | 36 |
| 2.4.5 Anwendung von Process Mining in Fertigungsprozessen | 41 |
| 2.5 Problemabgrenzung | 45 |
| 2.6 Anforderungen an eine Systematik zur Leistungssteigerung von Fertigungsprozessen durch Process Mining..... | 47 |
| 3 Stand der Technik..... | 51 |
| 3.1 Allgemeine Ansätze zur Leistungssteigerung von Fertigungsprozessen durch Process Mining..... | 51 |
| 3.1.1 Process-Mining-Projektmethode nach VAN ECK ET AL | 51 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 3.1.2 | Process Mining für Six Sigma nach GRAAFMANS ET AL..... | 54 |
| 3.1.3 | Ansatz zur Analyse der Produktion mit Process Mining nach KRAJČOVIČ ET AL. | 56 |
| 3.1.4 | Management von Process Mining Portfolios nach FISCHER | 58 |
| 3.2 | Ansätze zur Identifikation und Bewertung von Process Mining Use Cases..... | 60 |
| 3.2.1 | Formulierung von PM Fragen nach ZERBATO ET AL..... | 60 |
| 3.2.2 | Übersicht typischer Fragen im PM nach MILANI ET AL. | 62 |
| 3.2.3 | Ansatz zur Bewertung von PM Use Cases nach EGGLERS ET AL. | 63 |
| 3.2.4 | Ansatz zur Bewertung von PM Use Cases nach ROTT UND BÖHM..... | 65 |
| 3.2.5 | PM Use Case Canvas nach HARDJOSUWITO ET AL. | 68 |
| 3.3 | Ansätze zur Durchführung von Process Mining Projekten in Fertigungsprozessen | 70 |
| 3.3.1 | Data Analytics Canvas nach KÜHN ET AL..... | 70 |
| 3.3.2 | Datenlandkarte nach JOPPEN ET AL. | 71 |
| 3.3.3 | Ansatz zur Erstellung von Event Logs aus Sensordaten nach VAN ECK ET AL. | 72 |
| 3.3.4 | Analysevorlagen nach LASHKEVICH ET AL. | 73 |
| 3.4 | Ansätze zum Reifegradmanagement von Process Mining in Organisationen | 76 |
| 3.4.1 | Reifegradstufen für Event Logs der IEEE TASK FORCE ON PM ... | 76 |
| 3.4.2 | Kritische Erfolgsfaktoren in PM Projekten nach MAMUDU ET AL..... | 77 |
| 3.4.3 | Capability Maturity Model Integration (CMMI)..... | 79 |
| 3.4.4 | BPM Fähigkeitenmodell nach KERPEDZHIEV ET AL. | 81 |
| 3.4.5 | PM Reifegradmodell in Supply Chains nach JACOBI ET AL. | 82 |
| 3.4.6 | Reifegradbewertung zum Einstieg ins PM nach VAN DER LINDEN..... | 84 |
| 3.5 | Bewertung und Handlungsbedarf | 84 |
| 4 | Systematik zur Leistungssteigerung von Fertigungsprozessen durch Process Mining..... | 89 |
| 4.1 | Die Systematik im Überblick | 89 |
| 4.2 | Definition und Strukturierung von Process Mining Use Cases in Organisationen | 90 |
| 4.3 | Auswahl von Process Mining Use Cases in Fertigungsprozessen | 93 |
| 4.3.1 | Vorgehensmodell zur Anwendung | 93 |
| 4.3.2 | Identifikation von Process Mining Use Cases..... | 95 |
| 4.4 | Leistungssteigerung von Process Mining in Fertigungsprozessen | 99 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 4.4.1 | Vorgehensmodell zur Anwendung | 99 |
| 4.4.2 | Process Mining Data Canvas | 101 |
| 4.4.3 | Rahmenwerk zur Vorverarbeitung von Maschinendaten | 105 |
| 4.4.4 | Katalog mit Analysevorlagen | 107 |
| 4.5 | Leistungssteigerung von Process Mining Initiativen in Organisationen | 109 |
| 4.5.1 | Vorgehensmodell zur Anwendung | 109 |
| 4.5.2 | P3M – Process Mining Maturity Model | 111 |
| 4.5.3 | Reifegradprofile und fortgeschrittene Anwendungsszenarien | 115 |
| 4.5.4 | Typische Handlungsmaßnahmen zur Steigerung der Reife | 117 |
| 5 | Demonstration und Evaluation | 119 |
| 5.1 | Demonstration anhand eines durchgängigen Anwendungsbeispiels | 119 |
| 5.1.1 | Auswahl eines PM Use Cases für die Separatorenfertigung ... | 120 |
| 5.1.2 | Durchführung eines PM Use Cases | 123 |
| 5.1.3 | Leistungsbewertung und -steigerung der PM Initiative des Separatorenherstellers..... | 128 |
| 5.2 | Evaluation..... | 133 |
| 5.2.1 | Evaluation 1: Vergleich der Anforderungen mit der Funktionsweise der Systematik | 133 |
| 5.2.2 | Evaluation 2: Qualitative Aussagen zur Systematik..... | 137 |
| 5.2.3 | Evaluation 3: Überprüfung weiterer Evaluationskriterien | 138 |
| 5.3 | Diskussion | 140 |
| 5.3.1 | Beitrag der Systematik | 140 |
| 5.3.2 | Implikationen für anwendende Unternehmen | 142 |
| 5.3.3 | Implikationen für die Forschung..... | 144 |
| 6 | Zusammenfassung und Ausblick | 147 |
| | Abkürzungsverzeichnis | 151 |
| | Literaturverzeichnis | 153 |
| A1 | Ergänzungen zur Problemanalyse | 173 |
| A1.1 | Plan-Do-Check-Act (PDCA)..... | 173 |
| A1.2 | Define-Measure-Analyze-Improve-Control (DMAIC) | 174 |
| A1.3 | Abgrenzung der Datenwissenschaft von dem Process Mining | 175 |

| | |
|---|------------|
| A1.4PM Value-Modell für PM in Organisationen | |
| nach BADAKHSHAN ET AL | 176 |
| A1.5Weitere typische Ergebnisse des PMs | 178 |
| A1.6Übersicht der Herausforderungen von PM in Organisationen | 180 |
| A2 Ergänzungen zum Stand der Technik..... | 183 |
| A2.1Weitere Vorgehensmodelle für Process Mining Projekte..... | 183 |
| A2.1.1 L*-Lifecycle Model nach VAN DER AALST..... | 183 |
| A2.1.2 Process Diagnostic Methodology nach BOZKAYA ET AL..... | 185 |
| A2.1.3 Business Process Analysis in Healthcare nach REBUGUE UND FERREIRA..... | 186 |
| A2.1.4 PM Project Methodology nach VAN DER HEIJDEN..... | 187 |
| A2.1.5 Methodological Proposal für PM Projekte nach AGUIRRE ET AL..... | 188 |
| A2.1.6 Cross-Industry-Standard-Model for Data Mining (CRISP-DM) | 190 |
| A2.2Ergänzungen zu allgemeinen Ansätzen | 190 |
| A2.2.1 Ergänzungen zu dem Management von PM Portfolios nach FISCHER..... | 190 |
| A2.2.2 Methode zur Bewertung und Einführung von PM nach GIELSTRA | 195 |
| A2.3Weitere Ansätze zur Identifikation und Bewertung von PM Use Cases in Organisationen..... | 198 |
| A2.3.1 Ergänzung zu der Übersicht der typischen Fragen im PM nach MILANI ET AL..... | 198 |
| A2.4Weitere Ansätze zur Unterstützung von PM Projekten..... | 201 |
| A2.4.1 Vorgehen zur Erstellung eines Event Logs aus Datenbanken nach JANS | 201 |
| A2.4.2 Event Log Engineering nach ACCORSI UND LEBHERZ | 202 |
| A2.4.3 Discovery Recommendation Framework von AL-ABSI UND R'BIGUI | 203 |
| A2.5Weitere Ansätze zur Reifegradbestimmung | 204 |
| A2.5.1 Ergänzungen zur den kritischen Erfolgsfaktoren nach MAMUDU ET AL..... | 204 |
| A2.5.2 Untersuchung der Terminatoren von PM Initiativen in Organisationen | 208 |
| A3 Ergänzungen zur Systematik..... | 210 |
| A3.1Ergänzungen zu Vorgehensmodellen und Hilfsmitteln | 210 |
| A3.1.1 Ergänzung zum Handout | 210 |
| A3.1.2 Ergänzung zum RVM | 212 |

| | |
|--|-----|
| A3.1.3 Ergänzungen zum Katalog mit typischen Analysefragen..... | 212 |
| A3.1.4 Process Mining Quick-Check..... | 213 |
| A3.1.5 Das vollständige P3M | 215 |
| A3.1.6 Ergänzungen zu den Reifegradprofilen | 220 |
| A3.1.7 Ergänzungen zu den Steckbriefen mit Anwendungsszenarien..... | 224 |
| A3.1.8 Ergänzungen zu den typischen Handlungsmaßnahmen zur Reifegradsteigerung | 226 |
| A3.2Ergänzungen zu den Forschungsmethoden | 229 |
| A3.2.1 Forschungsmethode für die Definition und Strukturierung von PM Use Cases in Organisationen und die Steckbriefe der fortgeschrittenen Anwendungsszenarien..... | 229 |
| A3.2.2 Forschungsmethode für die Workshopmethode zur Identifikation von PM Use Cases in Fertigungsprozessen..... | 235 |
| A3.2.3 Forschungsmethode für die PM Data Canvas | 237 |
| A3.2.4 Forschungsmethode für das Rahmenwerk zur Vorverarbeitung von Sensordaten | 237 |
| A3.2.5 Forschungsmethode für das P3M und die typischen Maßnahmen zur Reifegradsteigerung | 239 |
| A3.2.6 Forschungsmethode für die Herleitung der Reifegradprofile ... | 245 |
| A3.2.7 Forschungsmethode zur interviewbasierten Evaluation der Systematik | 247 |

1 Einleitung

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen der anwendungsorientierten Forschung am FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR ENTWURFSTECHNIK MECHATRONIK IEM. Die Ergebnisse der Arbeit sind in verschiedenen Forschungs- und Industrieprojekten entstanden. Diese umfassen insbesondere das Forschungsprojekt „BPM I4.0 – Process Mining zur Analyse und Präskription industrieller Kernprozesse“ und den Transferpiloten „PM4Opt – Validierung von Process Mining zur kontinuierlichen Optimierung von verfahrenstechnischen Prozessen“. Die vorliegende Arbeit beschreibt eine *Systematik zur Leistungssteigerung von Fertigungsprozessen durch Process Mining*. Die Anwendung der Systematik ist im Rahmen des Forschungsprojekts BPM I4.0 erfolgt.

1.1 Problematik

Der **Industriestandort Deutschland** kann nicht allein aufgrund eines Preiskampfes auf der internationalen Bühne konkurrenzfähig bleiben. Vielmehr müssen Industriebetriebe heute mithilfe einer starken Kundenorientierung individuelle Lösungen anbieten. [SS14, S. 2]. Dies schlägt sich in der zunehmenden Variantenvielfalt und der Produktkomplexität nieder [GCW+13, S. 17ff.]. Die heutige Wertschöpfung entwickelt sich hin zu einer kundenindividuellen Massenfertigung [Kor10, S. 34], die Gefahr läuft, zu komplex und unübersichtlich zu werden [Bau17, S. 9].

Die **Digitalisierung der Fertigung** scheint eine valide Antwort auf diese Herausforderungen zu bieten. Der Sammelbegriff Industrie 4.0 beschreibt die intelligente Vernetzung von Maschinen und Produkten mithilfe von IT-Systemen und Sensoren [DGK+15, S. 12f.]. Im Zuge dieser Vernetzung steigt die Datenmenge in Industriebetrieben kontinuierlich an [TQL+18]. Jedoch führt eine Erhöhung der Datenmenge nicht zwingend dazu, dass Prozesse und Informationen in der Fertigung transparenter werden [VPK+19]. Vielmehr wird durch Industrie 4.0 die Komplexität in der Fertigung sogar erhöht, da u. a. zusätzliche Systemelemente hinzugefügt werden [PR17, MFB+19]. RICHARD UND KING bezeichnen dieses Dilemma als *Transparenz-Paradoxon*, wonach mehr Daten nicht automatisch zu mehr Transparenz führen [RK13].

An der Schnittstelle zwischen komplexen Prozessen und Digitalisierung präsentiert sich das **Process Mining** (PM) als vielversprechende Innovation [AAM+12, vdA22, S. 4f.]. Die Technologie ermöglicht eine datenbasierte Betrachtung von Prozessen, indem bereits vorhandene Daten aus IT-Systemen genutzt werden [vdA16, S. 31f., KIS+23]. Die Daten können automatisch in Ist-Prozessmodelle überführt werden, Abweichungen zwischen Ist- und Soll-Prozessen ermitteln oder zur datenbasierten Leistungsanalyse genutzt werden [AAM+12, vdA16, S. 33]. Im Wesentlichen erlaubt das PM eine evidenzbasierte Abbildung der realen Prozessdurchläufe, anstelle der traditionellen Prozessaufnahme durch Workshops oder Interviews [vdA16, S. 30]. Das PM wird daher anekdotisch auch als Röntgengerät für Unternehmen bezeichnet [Del20].

Die Technologie PM fügt sich gut in **traditionelle Managementansätze** von Fertigungsprozessen ein. Im Lean Management existieren verschiedene Methoden zur Darstellung und Analyse von Prozessen [HFS21, S. 49ff.] Auch fordert das Lean Management die realen Gegebenheiten vor Ort zu betrachten [Zol13, S. 160]. Das Six Sigma betreibt ein Management der Fertigung mithilfe von Daten [Zol13, S. 212ff., vdA16, S. 47f.]. Das klassische Prozessmanagement hat sich zu einem ganzheitlichen Managementansatz entwickelt, bei dem Prozesse kontinuierlich optimiert werden [Har15, S. 39, SS20, S. 15]. Ferner ist erwiesen, dass die Reife des Prozessmanagements mit der Prozessleistung korreliert [MOR23], und dass das PM das Prozessmanagement umfassend unterstützt [MFK+21, GMO+21]. PM birgt somit ein enormes Potential, traditionelle Ansätze aufzugreifen und gezielt für die Leistungssteigerung von Fertigungsprozessen einzusetzen.

Jedoch ist die Anwendung von PM in Fertigungsprozessen mit **Herausforderungen** verbunden, die eine gezielte Nutzung erschweren [Rei20, S. 20]. Zunächst verbergen sich hinter dem Begriff PM eine Vielzahl von Techniken, Typen und Algorithmen, die unterschiedliche Potentiale bieten [AAM+12, vdA22, S. 23ff., vdA16, S. 33f.]. Organisationen müssen aus diesen undurchsichtigen Möglichkeiten Use Cases für sich identifizieren [GMO+21, MFK+21, TFB18]. Auch wird PM eher selten auf Fertigungsprozesse angewendet [EAt19]. Einkaufs- und Vertriebsprozesse gelten aufgrund der standardisierten Datenspeicherung in großen ERP-Systemen als anwenderfreundlicher als bspw. die Fertigung [AL22, S. 212ff., Rei20, S. 13]. Auch findet sich in der Fertigung eine Fülle an heterogenen IT-Systemen [For22, EWB+24], wodurch der ohnehin schon hohe Aufwand für die Datenextraktion weiter steigt [CP13, MFK+21, vC22, S. 500]. Des Weiteren sind Fertigungsprozesse mit viel Domänenwissen verbunden, was die Analyse von Prozessen für die PM Experten erschwert [LBB+22]. Schlussendlich ist PM eine junge Disziplin [vJM+21, vdA22, S. 4]. PM Initiativen in Organisationen stehen somit vor der Aufgabe, sich nachhaltig zu entwickeln und zu etablieren [RGE+22, SLv+24]. Das interdisziplinäre PM mit prozess- und datenwissenschaftlichen Komponenten erschwert jedoch eine gezielte Weiterentwicklung [vdA16, S. 18]. **In der Forschung** wird daher mehr Unterstützung bei der Durchführung von PM Projekten [CP13, EAt19, MFK+21, SLv+24], eine genauere Auseinandersetzung mit PM in der Fertigung [DRG21, DZM+21, ASC24], und ein PM Reifegradmodell [MFK+21, DZM+21] gefordert.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass sich die Fertigung rasant entwickelt. Industriebetriebe müssen die neu gewonnenen Daten nutzen, um die Komplexität ihrer Fertigung zu verstehen. PM bietet in der Schnittstelle aus komplexen Prozessen und vorhandenen Daten eine ideale Lösung, um Prozesse evidenzbasiert zu analysieren und zu optimieren. Jedoch stehen Industriebetriebe vor verschiedenen Herausforderungen bei dem Einsatz von PM in Fertigungsprozessen. Diese umfassen die Auswahl von geeigneten Use Cases, die Durchführung von PM Projekten in Fertigungsprozessen und die langfristige Entwicklung von PM Initiativen in Organisationen. Daher besteht der Bedarf nach einer *Systematik zur Leistungssteigerung von Fertigungsprozessen durch PM*.

1.2 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist eine *Systematik zur Leistungssteigerung von Fertigungsprozessen durch PM*. Es existiert keine einheitliche Definition für den **Begriff Systematik**³ [MWG+20]. MC MEEKING ET AL. leiten aus gängigen Veröffentlichungen ab, dass eine Systematik (engl. methodological framework) eine oder mehrere strukturierte, praktische Anleitungen sind, welche häufig aus einer Grundgesamtheit von Methoden, Regeln oder Postulaten in Kombination mit einer definierten Abfolge einhergehen [MWG+20]. Analog dazu definiert DUMITRESCU eine (Entwicklungs-) Systematik als ein universelles Rahmenwerk, welches sich aus einem Vorgehensmodell in Kombination mit Hilfsmitteln zusammensetzt, wobei Hilfsmittel bspw. Methoden, Richtlinien oder Entwurfsmuster sein können [Dum10, S. 5f.]. Beide Definitionen legen einen Fokus auf die praktische Anwendbarkeit einer Systematik. **In dieser Arbeit** wird eine Systematik folglich als ein Rahmenwerk verstanden, welches Vorgehensmodelle und Hilfsmittel kombiniert, um Anwendern⁴ eine praxisnahe Hilfestellung zu bieten.

Die **Zielgruppe** der Systematik sind folglich Manager von PM Initiativen (engl. Head of PM) und PM Experten in fertigenden Industriebetrieben. Dabei sollen insbesondere Akteure in solchen Initiativen unterstützt werden, die bereits erste PM Erfahrungen in anderen Prozessen sammeln konnten und nun Fertigungsprozesse untersuchen wollen. Die Systematik soll dazu mindestens drei Aspekte adressieren: die Auswahl von geeigneten PM Use Cases, die Unterstützung bei der Durchführung von PM Projekten in Fertigungsprozessen und die Steigerung der Leistungsfähigkeit von PM Initiativen.

1.3 Übergeordnete Forschungsmethode

Zur Erreichung der Zielsetzung und der Entwicklung der Systematik muss eine geeignete Forschungsmethode angewendet werden. Ein etablierter Ansatz zur Erforschung und Validierung von anwendbarem Wissen ist die **Design Science Research** (DSR)⁵ [VK04, HMP+04]. DSR erforscht dieses anwendbare Wissen in Form von sogenannten Artefakten und Theorien mit dem Ziel, entweder bestehende Arbeitsweisen zu verbessern oder die Wissensbasis zu erweitern [VK04]. Artefakte sind für einen speziellen Zweck entwickelte Lösungen, um ein Problem zu adressieren oder zu lösen [HMP+04]. Artefakte können Konstrukte (die Sprache, in der Probleme und Lösungen kommuniziert werden), Modelle (die Konstrukte verwenden, um reale Situationen, Probleme und Lösungen zu beschreiben), Methoden (die Prozesse und Lösungen definieren) oder Instanziierungen (die

³ Systematik bezeichnet in der Biologie das systematische Bestimmen und Benennen von Lebewesen und Pflanzen [Dum10, S. 5]. Diese Definition findet in dieser Arbeit keine Anwendung.

⁴ Die Inhalte dieser Arbeit beziehen sich in gleichem Maße auf jedes Geschlecht. Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird die männliche Form verwendet.

⁵ Design Science ist nicht zu verwechseln mit Design Research. Ersteres nutzt Design zur Erforschung von Gestaltungswissen, letzteres ist die Forschung zu Design [VK04].

Realisierung aller drei Komponenten) sein [MS95, HMP+04]. In dieser Arbeit werden die Begriffe Artefakt, Lösung und Hilfsmittel synonym verwendet. Eine Kombination von verschiedenen Artefakten zur Verbesserung von Arbeitsweisen wird im DSR als „ensemble artifact“ bezeichnet [SHP+11]. Somit ist auch die Systematik als Ganzes ein Artefakt.

Eine etablierte **Forschungsmethode** zur Erforschung von Artefakten ist die Design Science Research Methodology (DSRM) nach PEFFERS ET AL. [PTR+07]. Die DSRM ist eine Forschungsmethode, die explizit darauf abzielt, anwendbare Ergebnisse zu entwickeln, zu demonstrieren und zu evaluieren. Die DSRM dient in dieser Arbeit als übergeordneter Leitfaden für die Erstellung der Systematik. Eine Übersicht des Forschungsvorhabens ist in Bild 1-1 dargestellt. Rechts ist die Zuordnung der Gliederung (vgl. Kapitel 1.4) zu den Schritten der DSRM dargestellt. Der Einstiegspunkt der Arbeit ist probleminduziert (Probleme sind der Anlass für die Forschung), wie in Kapitel 2 gezeigt wird.

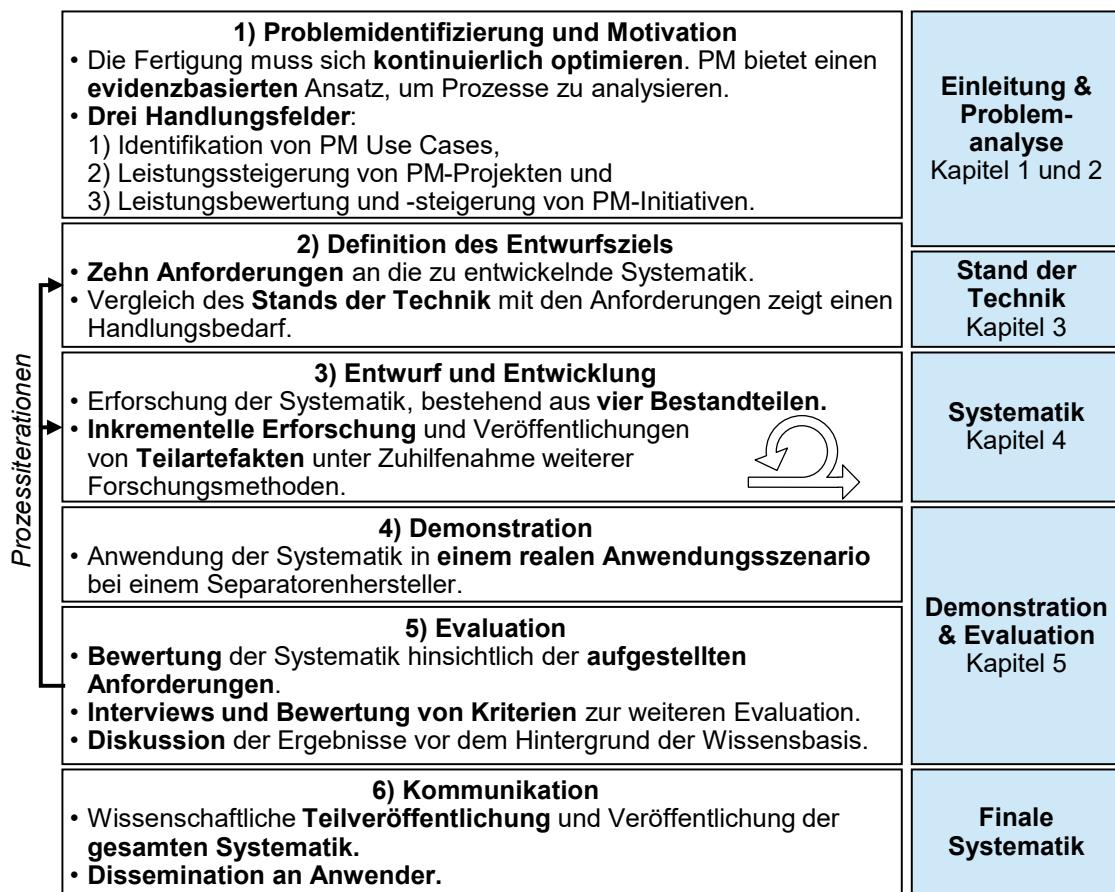


Bild 1-1: Anwendung der DSRM zur Erforschung der Systematik in Anlehnung an PEFFERS ET AL. [PTR+07]

Die übergeordnete Forschungsmethode dient der Erarbeitung der Systematik. Die Erarbeitung der Teillösungen erfolgt inkrementell. Das bedeutet, dass Teillösungen in Schritt 3) mit anderen, adäquaten Forschungsmethoden erarbeitet werden. Eine Übersicht der

Teillösungen und der verwendeten Forschungsmethoden ist in Tabelle 1-1 dargestellt. Die Teillösungen werden in Kapitel 4 geordnet vorgestellt.

Tabelle 1-1: Übersicht der erarbeiteten Teillösungen, der verwendeten Forschungsmethoden und der Referenz auf die entsprechenden Veröffentlichungen

| Artefakt | Forschungsme-thode | Erforscht in | Abschnitt |
|--|---|---|-----------|
| Definition und Strukturierung von PM Use Cases in Organisationen | Eigenes Forschungsdesign mit Brainstorming nach WILSON [Wil13] | BROCK ET AL. [BEK+24] CIRP Design 2024 | 4.2 |
| 18 fortgeschrittene PM Anwendungsszenarien | | | 4.5.3 |
| Methode zur Identifikation von PM Use Cases | DSRM nach PEFFERS ET AL. [PTR+07] | BROCK ET AL. [BKD24] Conference on Production Systems and Logistics (CPSL) 2024 | 4.3.2 |
| Process Mining Data Canvas | DSRM nach PEFFERS ET AL. [PTR+07] | BROCK ET AL. [BEK+23] CIRP Design 2023 | 4.4.2 |
| Rahmenwerk zur Vorverarbeitung von Maschinendaten | Action Design Research nach SEIN ET AL. [SHP+11] | BROCK ET AL. [BRE+23] CPSL 2023 | 4.4.3 |
| PM Quick Check | Reifegradmodell-Entwicklungsmethodik nach BECKER ET AL. [BKP09] | BROCK ET AL. [BLB+23] European Conference on Information Systems (ECIS) 2023 | A3.1.4 |
| Reifegradmodell für PM | | | 4.5.2 |
| Typische Handlungsmaßnahmen zur Leistungssteigerung | Interviews nach MYERS UND NEWMAN [MN07] | BROCK ET AL. [BBL+24] Journal Business & Information Systems Engineering (BISE) | 4.5.4 |

1.4 Aufbau der Arbeit

Aus der übergeordneten Forschungsmethode lässt sich direkt der Aufbau der Arbeit ableiten. Die vorliegende Arbeit gliedert sich in sechs Kapitel. In **Kapitel 2** wird die Problematik näher analysiert. Dazu werden grundlegende Begriffe der Arbeit definiert. Danach wird der Betrachtungsgegenstand „Fertigungsprozess“ genauer erörtert. Anschließend wird dargelegt, wie sich Unternehmen klassischerweise mit ihren Fertigungsprozessen auseinandersetzen, bevor auf das PM eingegangen wird. Das Kapitel schließt mit der Erläuterung von Handlungsfeldern und der Definition von Anforderungen an die zu entwickelnde Systematik.

Kapitel 3 betrachtet den aktuellen Stand der Technik. Dazu werden zunächst übergeordnete Ansätze beschrieben. Anschließend werden Ansätze vorgestellt, die einzelne Handlungsfelder adressieren: Ansätze zur Bewertung von PM Use Cases, Hilfsmittel zur Unterstützung von PM Projekten in Fertigungsprozessen und Ansätze zur Reifegradsteigerung von PM Initiativen in Organisationen. Das Kapitel endet mit einem Vergleich der Anforderungen und dem Stand der Technik.

Das **Kapitel 4** präsentiert die *Systematik zur Leistungssteigerung von Fertigungsprozessen durch PM*. Dafür wird zunächst ein Überblick über die Systematik gegeben, bevor die vier Bestandteile der Systematik vorgestellt werden. Der erste Bestandteil ist eine Definition und Strukturierung des Begriffes „PM Use Case in Organisation“ und stellt das Fundament für die drei weiteren Bestandteile dar. Diese drei Bestandteile zur Anwendung umfassen jeweils ein dediziertes Vorgehensmodell mit mehreren Hilfsmitteln.

In **Kapitel 5** wird die *Systematik zur Leistungssteigerung von Fertigungsprozessen durch PM* an einem realen Anwendungsbeispiel demonstriert. Auf Basis dieser Demonstration wird die Lösung anhand der gestellten Anforderungen und mittels einer Interviewstudie evaluiert. Eine Diskussion der Implikationen für die Praxis, die Forschung und dem Forschungsgebiet des Advanced Systems Engineerings runden das Kapitel ab.

Kapitel 6 fasst die wesentlichen Erkenntnisse der Arbeit zusammen. Zudem werden die Limitationen der Arbeit aufgeführt und ein Ausblick auf zukünftige Forschung gegeben.

Im **Anhang** werden zusätzliche Quellen zur Problemanalyse und zum Stand der Technik präsentiert. Auch werden ergänzende Informationen zu der erarbeiteten Systematik geliefert. Abschließend werden die verwendeten Forschungsmethoden für Teilergebnisse dargestellt.

2 Problemanalyse

“Manufacturing is a more challenging field for process mining. Most manufacturing processes are unique per plant, with heterogeneous data sources, which makes scaling across plants difficult.”
~ Dr. Lars Reinkemeyer, Chief Evangelist bei Celonis [Rei20, S. 20].

Die erste Aktivität der übergeordneten Forschungsmethode (vgl. Abschnitt 1.3) zur Entwicklung der *Systematik zur Leistungssteigerung von Fertigungsprozessen durch PM* ist die sogenannte Problemidentifizierung. In der Problemidentifizierung wird das zugrundeliegende Probleme analysiert, um Anforderungen an die zu entwickelnde Systematik aufzustellen.

Dafür werden in **Abschnitt 2.1** zunächst die grundlegenden Begriffe definiert, die sich aus dem Titel der Arbeit und der formulierten Zielsetzung ableiten lassen. Danach erfolgt in **Abschnitt 2.2** eine Erörterung des Wandels der Fertigung vor dem Hintergrund veränderter Anforderungen und neuen technologischen Möglichkeiten im Rahmen der Industrie 4.0. Anschließend wird in **Abschnitt 2.3** dargelegt, wie Industriebetriebe klassischerweise die Leistung ihrer Fertigungsprozesse steigern. In **Abschnitt 2.4** wird PM als neue Möglichkeit zur datenbasierten Leistungssteigerung von Prozessen motiviert, ausführlich erläutert und kontextualisiert. In **Abschnitt 2.5** werden die vorherigen Abschnitte im Zusammenhang gebracht. Dadurch können Herausforderungen und Handlungsfelder identifiziert werden, die abschließend in Anforderungen an die Systematik in **Abschnitt 2.6** münden.

2.1 Begriffsbestimmung und Einordnung

In diesem Abschnitt werden die zentralen Begriffe dieser Arbeit definiert und abgegrenzt. Dies umfasst die Begriffe Leistungssteigerung (**Abschnitt 2.1.1**), Fertigung und Produktion (**Abschnitt 2.1.2**), Prozess und Geschäftsprozess (**Abschnitt 2.1.3**), PM (**Abschnitt 2.1.4**), und PM Initiativen (**Abschnitt 2.1.5**). Für jeden Begriff werden zunächst gängige Definitionen in der Literatur präsentiert, bevor das Verständnis im Kontext dieser Arbeit definiert wird.

2.1.1 Leistungssteigerung

Der Begriff der Leistungssteigerung kann im Kontext der Leistungsfähigkeit von Prozessen verstanden werden. Die Leistung muss dafür vor dem Hintergrund von Kennzahlen gemessen werden. [Chr09, S. 2]. Im Kontext des klassischen Prozessmanagements bezeichnet die Prozessoptimierung die gezielte Erhöhung der Leistungsfähigkeit von Prozessen [SS20, S. 505f.]. Im Kontext des Reifegradmanagements stellt die

Leistungssteigerung eine dedizierte Phase dar, in der Maßnahmen zur Schließung zwischen Ist- und Soll-Zustand abgeleitet werden [Chr09, S. 96].

Diese Arbeit versteht den Begriff der Leistungssteigerung bewusst sowohl im Sinne des Prozess- als auch im Sinne des Reifegradmanagements. Abschnitt 2.3 betrachtet verschiedene Ansätze zur Leistungssteigerung von Fertigungsprozessen im Detail.

2.1.2 Fertigung und Produktion

Fertigung bezeichnet die Transformation von Rohmaterialien, Halberzeugnissen oder Zukaufteilen in Erzeugnisse. Für diese Aufgabe können unterschiedliche Fertigungsverfahren, wie Fräsen, Galvanisieren, oder Drehen eingesetzt werden. Die Fertigung ist der Fabrikbetrieb und besteht im Wesentlichen aus der Teilefertigung und Montage. Neben dieser Wertschöpfung werden auch die Prozesse der Fertigungssteuerung, der Intralogistik, der Instandhaltung und des Versands der Fertigung zugeordnet. [GP14, S. 16f., ES96, S. 11-1 ff.]. Einhergehend mit dem Begriff der Transformation ist ein Prozess definiert als eine “[...] Folge von Aktivitäten, die aus definierten Inputs definierte Outputs erzeugen.“ [SS20, S. 64]. **Produktion** hingegen bezeichnet im Allgemeinen den von Menschen organisierten Prozess zur Wertschöpfung, welcher neben der Fertigung auch die Produktplanung oder Entwicklung einschließt [GP14, S. 16]. Die Produktion im industriellen Sektor lässt sich in die drei Bereiche der Energie-, Verfahrens- und Fertigungstechnik unterteilen, wobei letzterer geometrisch bestimmte Werkstücke mittels diskreter Prozesse bearbeitet [GP14, S. 17].

Diese Arbeit betrachtet Prozesse der Teilefertigung und Montage. Zusätzlich werden Intralogistikprozesse behandelt, wenn diese die primären Prozesse verbinden und so dem Prozessverständnis dienlich sind. Explizit nicht Teil der Betrachtung sind die Fertigungssteuerung, die Instandhaltung und der Versand. Diese Abgrenzung wird in Abschnitt 2.4.5 weiter ausgeführt. Fertigung in dieser Arbeit ist im Sinne des Fabrikbetriebs an einen Standort gebunden. Die Arbeit betrachtet primär diskrete Fertigungsprozesse.

2.1.3 Prozesse und Geschäftsprozesse

Die ISO 9000:2015 definiert **Prozess** als einen „Satz zusammenhängender oder sich gegenseitig beeinflussender Tätigkeiten, der Eingaben zum Erzielen eines vorgesehenen Ergebnisses verwendet“ [zitiert nach SS20, S. 63]. Somit besteht ein Prozess “[...] aus einer Folge von Aktivitäten, die aus definierten Inputs definierte Outputs erzeugen.“ [SS20, S. 64]. Im englischen Sprachraum wird im Zusammenhang von Prozessen in Unternehmen häufig von „business process“ gesprochen.

„[...] We define a business process as a collection of inter-related events, activities, and decision points that involve a number of actor and objects, which collectively lead to an outcome that is of value to at least one customer.“ [DLM+18, S. 6]

Im englischen Sprachraum haben DAVENPORT UND SHORT [DS90] für funktionsübergreifende, von Kunde zu Kunde ablaufende Prozesse, den Begriff „End-To-End“ Prozess geprägt. Dieser Begriff wird heute synonym mit **Geschäftsprozess** verwendet [SS20, S. 65, Ber11, S. 16, Gad17, S. 15]. Die drei Hauptgeschäftsprozesse in industriellen Unternehmen sind der Produktentstehungsprozess, Auftragsabwicklungsprozess und Fertigungsprozesse [GP14, S. 19].

Diese Arbeit folgt der Definition von DUMAS ET AL. [DLM+18] und definiert einen Prozess als die Abfolge von Aktivitäten zur Erreichung eines gewissen Ergebnisses. Die Arbeit betrachtet den Hauptgeschäftsprozess der Fertigung.

2.1.4 Process Mining

Eine gängige Definition von PM ist die des PM Manifests aus dem Jahr 2012:

“Process Mining: techniques, tools, and methods to discover, monitor and improve real processes (i.e., not assumed processes) by extracting knowledge from event logs commonly available in today’s (information) systems.” [AAM+12, S. 194].

Das PM Manifest ist ein Positionspapier von Mitgliedern und Unterstützern der IEEE TASK FORCE ON PM. Es hat zum Ziel, die Forschung, Entwicklung und das Verständnis des PMs zu fördern. Das Manifest ist bis heute in der Literatur relevant. Neuere Definitionen bezeichnen PM als das Ziel, operative Prozesse durch die systematische Verwendung von Ereignisdaten zu verbessern [vdA22, S. 3]. Das PM kennt dafür mindestens die drei Haupttechniken der Prozessentdeckung (engl. process discovery), Konformitätsprüfung (engl. conformance checking) und Prozessverbesserung (engl. process enhancement). Die Prozessentdeckung erzeugt aus Event Logs ein Prozessmodell, die Konformitätsprüfung identifiziert automatisch Abweichungen zwischen Ist- und Soll-Prozessen und die Prozessverbesserung verändert Prozessmodelle auf Basis von Erkenntnissen aus den Daten. [AAM+12, vdA16, S. 33]. Eine ausführliche Abgrenzung von Event Logs und Ereignisdaten sowie die Definition und Einordnung der drei Haupttechniken wird in Abschnitt 2.4.2 gegeben.

In der Praxis findet PM häufig mithilfe von dedizierten PM Tools Anwendung. Es existieren mindestens 40 solcher PM Tools, mit Anbietern wie Celonis, Microsoft, SAP, Software AG oder UiPath [vdA22, S. 29f.]. Das IT-Marktforschungsinstitut Gartner veröffentlicht erstmalig im Jahr 2023 den sogenannten Gartner Magic Quadrant, in dem verschiedene PM Anbieter hinsichtlich Kriterien bewertet werden [KIS+23].

Sowohl im industriellen als auch im wissenschaftlichen Diskurs wird PM somit häufig als die Anwendung der Haupttechniken mithilfe des PM Tools auf Ereignisdaten verstanden [BS23, WZD+24]. PM bietet Organisationen eine Vielzahl von unterschiedlichen, technologischen Möglichkeiten, wobei noch nicht abschließend geklärt ist, welche das sind [BWG+22].

Diese Arbeit versteht PM folglich als die Anwendung der PM Haupttechniken auf Ereignisdaten mit dem Ziel der Prozessoptimierung. Beispielsweise wäre das Erstellen des Prozessmodells für die Vorfertigung mithilfe eines PM Tools als PM zu verstehen, wohingegen die Vorhersage eines Maschinenausfalls mithilfe eines klassischen Machine Learning Algorithmus nicht als PM zu verstehen ist. Die vorliegende Arbeit fokussiert sich auf die Verwendung von PM zur Analyse von Prozessen vor dem Hintergrund von Prozessoptimierungsbestrebungen.

2.1.5 Process Mining Initiative

PM ist interdisziplinär und vereint Elemente aus der Prozess- und der Datenwissenschaft [vdA16, S. 18]. Folglich existieren in der Praxis unterschiedliche Möglichkeiten, Kompetenzen zu PM in der Organisation zu verankern [Rei24, S. 47f.]. Typisch sind die Aufhängung in der IT, der Fachabteilung oder dem Prozessmanagement [Rei24, S. 47]. Eine gängige Bezeichnung für die Gruppe an Akteuren, die PM in einer Organisation anwenden, ist das sogenannte **Center of Excellence (CoE)**:

“A CoE is a team that has been mandated to provide leadership, best practices, technical deployment, support, and training for a new technology and/or methodology within an organization.” [RGE+22, S. 2]

In einem CoE existieren in der Regel verschiedene Rollen, wie zum Beispiel ein Head of PM, ein Process Analyst, ein Data Engineer und verschiedene Fachexperten [KDF+22, RGE+22]. Je nach Größe eines CoEs können diese Rollen durch dieselbe Person vertreten werden [RGE+22]. Auf die Rollen von PM in einer Organisation wird in Abschnitt 2.4.4 detailliert eingegangen.

Des Weiteren findet sich in der Literatur häufig der Begriff der **PM Initiative**, um die Aktivitäten einer Organisation hinsichtlich PM zu umschreiben. Obwohl der Begriff PM Initiative regelmäßig Verwendung findet oder sogar Forschungsgegenstand ist, wird der Begriff nie definiert. Beispiele hierfür sind [SLE+20, GTP+21, MFK+21, GMO+21, MBW+22, SLv+24]. Der Begriff PM Initiative ist jedoch eng verbunden mit dem Durchführen von PM Projekten [GTP+21, GMO+21, SLv+24], dem langfristigen Erfolg von PM Aktivitäten in Organisationen [MBW+22, SLv+24], und der Einordnung in eine übergeordnete Strategie [MFK+21, GMO+21].

Diese Arbeit verwendet den Begriff CoE und PM Initiative synonym. Eine PM Initiative wird als die strukturierte Aktivität einer Organisation hinsichtlich PM verstanden. Diese Aktivität umfasst das Durchführen von PM Projekten, das Managen eines Projektportfolios und die strategische Verankerung und Entwicklung der Initiative. PM Initiativen sind dauerhafter Natur und haben die Zielsetzung, PM kontinuierlich und regelmäßig in der Organisation anzuwenden. Die Akteure in einer PM Initiative müssen nicht Vollzeit in dieser arbeiten und die PM Initiative muss auch nicht dediziert in der Aufbauorganisation verankert sein. Ausdrücklich meint der Begriff PM Initiative nicht den Prozess der

strategischen Entscheidung für oder gegen die erstmalige Verwendung von PM in der Organisation. Abschnitt 2.4.4 beleuchtet unterschiedliche Zuständigkeitsbereiche von PM Initiativen im Detail.

2.2 Wandel der Fertigung

Die Fertigung ist einer der drei Hauptgeschäftsprozesse in industriellen Unternehmen [GP14, S. 19]. Die Fertigung sieht sich heute einer rapiden Entwicklung der Anforderung gegenübergestellt, die seine klassisch hierarchische Gliederung an seine Grenzen bringt [Kor10, S. 34, Bau17, S. 9]. Die vierte industrielle Revolution birgt das Potential diese Anforderung zu adressieren, treibt jedoch die Komplexität von Prozessen in die Höhe, da immer mehr Elemente und Systeme im Shopfloor agieren [DGK+15, S. 13, Bau17, S. 9].

Um diese Zusammenhänge besser zu verstehen, werden in **Abschnitt 2.2.1** zunächst grundlegende Konzepte der Fertigung vorgestellt. Anschließend wird in **Abschnitt 2.2.2** motiviert, wie die vierte industrielle Revolution die Konzepte der Fertigung verändert.

2.2.1 Grundlegende Konzepte der Fertigung

In der Fertigung treffen die drei Hauptprozesse der Produktentstehung, Auftragsabwicklung und Fertigung aufeinander [GP14, S. 19]. Dadurch überschneiden sich in der Fertigung viele Informationsflüsse und Anforderungen [GP14, S. 18ff.]. Folglich haben sich verschiedene Konzepte zur Strukturierung der Fertigung entwickelt.

In der Schnittstelle zur Auftragsabwicklung beschreibt die **Fertigungsart** die typischerweise gefertigte Auftragsmenge und die Art des Auftragsdurchlaufs. Es werden die drei Fertigungsarten Einzel- (Fertigung einzelner oder weniger Werkstücke), Serien- (ununterbrochene Fertigung gleicher Werkstücke, ggf. in Losen) und Massenfertigung (ununterbrochene Fertigung gleicher Werkstücke in großen Mengen) unterschieden. Die **Fertigungsform** hingegen beschreibt die räumliche Anordnung der Arbeitsstationen und den organisatorischen Ablauf der Fertigung. [ES96, S. 9-66]. Nach EVERSHHEIM UND SCHUH lassen sich vier Fertigungsformen unterscheiden [ES96, S. 9-66]:

- **Punkt- oder stationäre Fertigung:** Arbeitsvorgänge erfolgen an einer Stelle.
- **Werkstattfertigung:** Verrichtungsorientierte Anordnung der Produktionsmittel.
- **Gruppen-, Insel-, oder Zelfertigung:** Örtliche Zusammenlegung der funktionell zusammengehörenden Maschinen und Arbeitsplätze.
- **Linienfertigung:** Anordnung der Arbeitsplätze nach Ablauf der Fertigung.

In Betrieben mit mehreren Produkten am Markt ist es üblich, bestimmte Fertigungsarten in verschiedenen Fertigungsformen zu organisieren. Die Fertigungsarten und -formen

unterscheiden sich sowohl innerhalb als auch zwischen Betrieben, da sie von möglichen Absatzmengen und den Produkteigenschaften abhängig sind. [ES96, S. 9-65 f.].

Die **Automatisierungspyramide** stellt ein weiteres, weitverbreitetes Konzept zu Strukturierung und Beschreibung der Fertigung dar [DGK+15, ITK19]. Im Gegensatz zu der Fertigungsart und -form bezieht sich die Automatisierungspyramide auf den Informationsfluss. Die Automatisierungspyramide unterteilt die komplexen Informationsflüsse und -systeme in fünf hierarchische Ebenen, welche in Bild 2-1 auf der linken Seite der Pyramide dargestellt sind [DGK+15, ITK19]. Typischerweise werden diesen Ebenen verschiedene Systeme zugeordnet [DGK+15, ITK19, GP14, S. 387], die in Bild 2-1 auf der rechten Seite der Pyramide dargestellt sind.

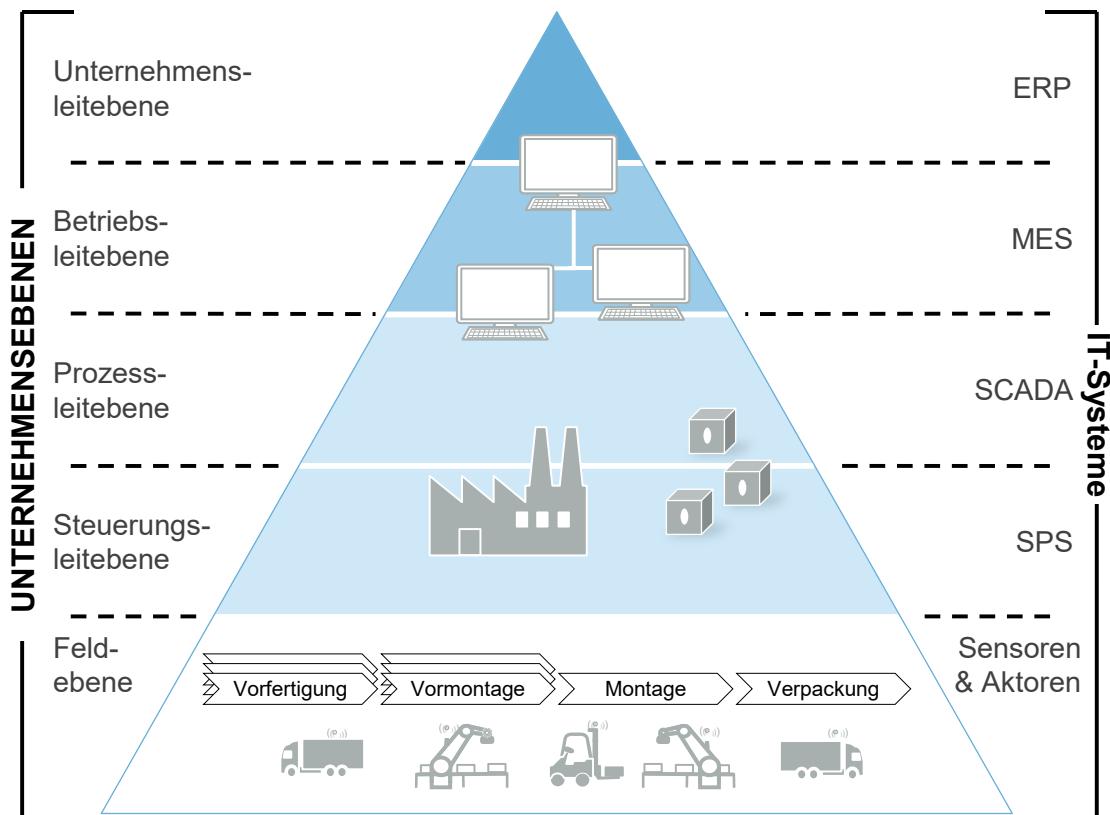


Bild 2-1: Darstellung der Automatisierungspyramide mit den Unternehmensebenen und IT-Systemen nach DUMITRESCU ET AL. [DGK+15, S. 12]

Auf der **Feldebene** findet der eigentliche Fertigungsprozess statt. Die Steuerung der vorhandenen Maschinen und Anlagen erfolgt dabei mithilfe von Sensoren und Aktoren. Sensoren nehmen den Zustand der Umgebung auf, indem bspw. Temperaturen, Endlagenpositionen oder Drehzahlen gemessen werden. Aktoren beeinflussen die Umgebung, indem bspw. Antriebe oder Ventile angesteuert werden. [GP14, S. 385, ITK19].

Auf der **Steuerungsleitebene** führen speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS) die Informationen der Sensoren zusammen und steuern gezielt die Aktoren an. Eine SPS ist

wie ein Computer aufgebaut, sodass mittels Programmiersprachen die Steuerungen entsprechend der Aufgabe abgestimmt werden können. [GP14, S. 385, DGK+15].

Die **Prozessleitebene** dient als maschinen- und anlagenübergreifende Steuer- und Beobachtungsebene. Dazu kommen Mensch-Maschine-Schnittstellen (engl. Human-Machine-Interfaces, HMI) und SCADA-Systeme (engl. Supervisory Control and Data Acquisition) zum Einsatz. [DGK+15, SG16, S. 49ff.].

Die **Betriebs- bzw. Fertigungsleitebene** ist das Bindeglied zwischen der Prozess- und Unternehmensleitebene. Diese Ebene wird klassischerweise mit dem Manufacturing Execution System (MES) in Verbindung gesetzt. Ein MES regelt die direkten und indirekten Prozesse der Fertigung und betrachtet dafür die Ressourcen Mensch, Maschine und Material. Mithilfe von MES werden Produktionsaufträge eingesteuert und Daten aus der Produktion zentral in einem IT-System gesammelt. [DGK+15, SG16, S. 49ff.].

Die **Unternehmensleitebene** ist die höchste Hierarchiestufe. In ihr laufen alle betriebswirtschaftlichen Prozesse zusammen. Für die Fertigung findet hier insbesondere die Produktionsgrobplanung und die Bestellabwicklung statt. Diese Ebene wird von Enterprise Ressource Planning (ERP) Systemen gesteuert. [DGK+15, SG16, S. 49ff.].

Für Unternehmen stellt das ERP System häufig das zentrale IT-System dar [Sch24-ol]. In einer Umfrage gaben 97 % der befragten Unternehmen an, dass sie eine ERP-Lösung von dem Anbieter SAP nutzen [Sch24-ol]. Im Gegensatz dazu ist der Markt für MES-Lösungen stärker fragmentiert und spezialisiert [Möll23-ol]. Es existiert eine Vielzahl an MES-Anbietern am Markt [Möll23-ol].

Fazit: Die Vielfalt an unterschiedlichen Fertigungsarten und -formen sowie die Heterogenität an IT-Systemen machen jede Fertigung unternehmensindividuell. In der Fertigung prallen viele langfristig etablierte Konzepte mit modernen Digitalisierungsansätzen zusammen. Die zu entwickelnde Systematik muss daher auf die Unternehmensindividualität eingehen und Möglichkeiten schaffen, implizites und explizites Prozess- und Datenwissen systematisch zu identifizieren.

2.2.2 Vision im Rahmen der Industrie 4.0

Im Zuge der vierten Industriellen Revolution verändert sich die bisherigen Konzepte der Fertigung. DUMITRESCU ET AL. beschreiben drei Effekte auf die Automatisierungspyramide im Rahmen der Industrie 4.0: die vertikale und horizontale Integration sowie ein umfassendes Systems Engineering [DGK+15, S. 13].

Die **vertikale Integration** beschreibt die stärkere Verknüpfung der IT-Systeme über die Hierarchieebene hinweg. Zielbild ist eine durchgängige Automatisierungspyramide, in der Informationen und Daten nicht hierarchisch, sondern nach Bedarf weitergegeben werden. Dadurch werden die IT-Systeme synchronisiert. Die vertikale Integration ist ein zentrales Konzept für die Industrie 4.0. Es erlaubt unterschiedlichen Ressourcen, sich

bedarfsgerecht auf Basis von Daten, Kommunikation und Algorithmen die benötigten Informationen zu ziehen. [DGK+15, S. 13].

Die **horizontale Integration** beschreibt die Vernetzung von Maschinen, Produkten und Unternehmen entlang der gesamten Wertschöpfung. Dafür werden IT-Systeme entlang mehrerer Prozessschritte vernetzt oder integriert. Dies ermöglicht einen Austausch hinsichtlich der gesetzten Ziele zwischen Akteuren. Prozesse werden dadurch End-To-End auch über mehrere Unternehmen hinweg transparent. Die horizontale Integration schafft neue Geschäftsmöglichkeiten, bringt aber auch Herausforderungen wie die Dominanz einzelner Akteure mit sich. [DGK+15, S. 13f.].

Das **umfassende Systems Engineering** stellt das Potential des klassischen Systems Engineering dar, die Anforderungen der Vernetzung (vertikal und horizontal) und Komplexität (Produkt und Produktion) beschreibbar zu machen. Das klassische Systems Engineering ist ein Ansatz zur Entwicklung multidisziplinärer technischer Systeme. [DGK+15, S. 14].

Neben dieser Vernetzung bestehender IT-Systeme treten auch neue Datenquellen im Rahmen von Industrie 4.0 in Erscheinung. Das sogenannte **Industrial Internet of Things** (IIoT, dt. industrielles Internet der Dinge) stellt die Übertragung des klassischen Internet of Things (IoT) Gedankens auf cyberphysische Systeme dar. Das klassische IoT beschreibt die allgegenwärtige Vernetzung von Endverbrauchern bspw. über Smartphones. IIoT hingegen beschreibt ein Netzwerk aus wahrnehmenden, übertragenden, eingreifenden und intelligenten Objekten. Diese Objekte sind somit autonom. Im Gegensatz zu dem klassischen IoT sind beim IIoT die Objekte Maschinen, die untereinander vernetzt sind. Es wird erwartet, dass IIoT sehr viel mehr Daten als das Allgemeine IoT produzieren wird. [DGK+15, S. 9, BHC+18, SSH+18].

Fazit: In der Fertigung kommt eine Vielzahl von IT-Systemen zum Einsatz, die im Zuge von Industrie 4.0 stärker vertikal und horizontal zusammenwachsen und Daten miteinander austauschen. Durch Technologiekonzepte wie das IIoT ist zu erwarten, dass zukünftig noch mehr Daten in Form von Sensordaten über Fertigungsprozesse erzeugt werden. Die Fertigung ist somit ein datenreiches, aber heterogenes Umfeld. Für die zu entwickelnde Systematik bedeutet dies, dass die verschiedenen Datenquellen und speziellen Datenformen, wie Sensordaten, berücksichtigt werden müssen.

2.3 Leistungssteigerung von Fertigungsprozessen

Prozesse sind zentraler Bestandteil des unternehmerischen Erfolgs [GP14, S. 37] und sind maßgeblicher Erfolgsfaktor für eine gelungene Kundenorientierung und Erhöhung der Effizienz in Unternehmen [SS20, S. V]. Folglich gibt es verschiedene Ansätze zur gezielten Leistungssteigerung von Prozessen in Organisationen [Har15, S. 39].

Zum besseren Verständnis der Relevanz der Leistungssteigerung von Fertigungsprozessen erfolgt in **Abschnitt 2.3.1** zunächst eine Einordnung der Relevanz von Prozessen

anhand des 4-Ebenen-Modells nach GAUSEMEIER UND PLASS [GP14, S. 38]. Anschließend legt **Abschnitt 2.3.2** verschiedene Ansätze zur Leistungssteigerung von Prozessen dar. Diese Ansätze münden in dem heutigen, ganzheitlichen Verständnis eines Prozessmanagements, welches umfassend in **Abschnitt 2.3.3** erläutert wird.

2.3.1 Bedeutung von Prozessen

Prozesse sind von großer Bedeutung für den unternehmerischen Erfolg. Folglich finden sich Prozesse **im 4-Ebenen-Modell** nach GAUSEMEIER UND PLASS wieder [GP14, S. 38]. Das 4-Ebenen-Modell ist ein einfaches und plausibles Grundmuster für die langfristige, nachhaltige Gestaltung von unternehmerischem Erfolg [GP14, S. 37]. Die vier Ebenen sind die Vorausschau, die Strategie, die Prozesse und die Systeme, welche in Bild 2-2 dargestellt sind.

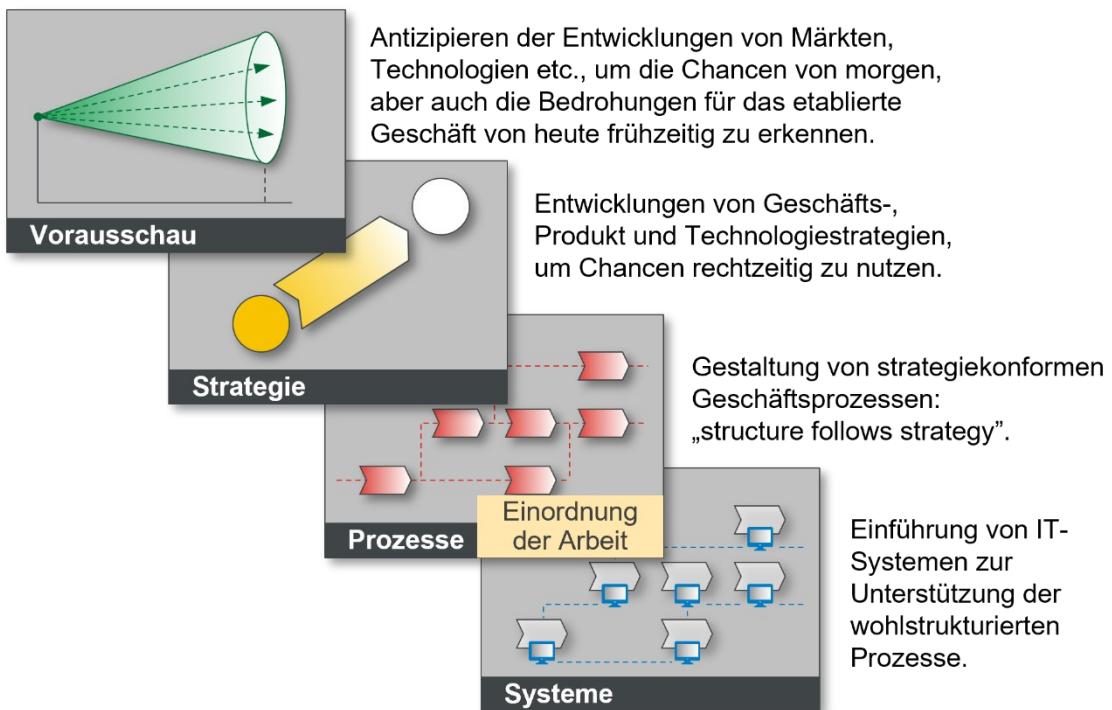


Bild 2-2: 4-Ebenen-Modell zur zukunftsorientierten Unternehmensgestaltung nach GAUSEMEIER UND PLASS [GP14, S. 38]

In der **Vorausschau** geht es für Unternehmen darum, mögliche Chancen und Risiken in der Zukunft zu identifizieren. Unternehmen können bspw. die Delphi-Methode oder die Szenario-Technik nutzen, um basierend auf der Vorausschau die Unternehmensstrategie abzuleiten. Auf der Ebene der **Strategien** geht es um die Bestimmung der Unternehmens- und Geschäftsstrategie. Dafür werden u. a. ein Leitbild bestimmt, Schlüsselfähigkeiten identifiziert und Maßnahmen abgeleitet. Auf der Ebene der **Prozesse** werden die Strategien realisiert. Dafür werden die Abläufe der Organisation effizient gestaltet. Schlussendlich erfolgt auf der Ebene der **Systeme** die praktische Realisierung der Prozesse in IT-Systemen. Aus dieser Darstellung wird deutlich, dass Prozesse in der Schnittstelle

zwischen Strategie und IT-Systemen stehen und einen wesentlichen Beitrag zur gezielten Realisierung der Strategie mithilfe von IT-Systemen leisten. [GP14, S. 37ff.].

Zur Darstellung von Prozessen werden **Prozessmodelle** benötigt [DLM+18, S. 75, vdA16, S. 55, GP14, S. 245]. Es existiert eine Vielzahl von Prozessmodellierungssprachen, wie Business Process Model and Notation (BPMN), Petri-Netze oder die objektorientierte Methode zur Geschäftsprozessmodellierung und -analyse (OMEGA) [vdA16, S. 57, Fah95, GP14, S. 248–268]. Wie jedes Modell sind auch Prozessmodelle eine Abstraktion der Realität, geschaffen für die Erfüllung eines spezifischen Grunds [DLM+18, S. 78f., vdA16, S. 57f.]. Dieser Grund kann bspw. die Analyse, Dokumentation oder Überwachung der tatsächlichen Prozesse sein [vdA16, S. 29, DLM+18, S. 75]. Es wird zwischen informellen (bspw. Flussdiagramme in PowerPoint) und formellen Prozessmodellen (bspw. BPMN) unterschieden, wobei letztere einer festen Struktur folgen und von Computern ausführbar sind [vdA16, S. 29f.]. Typischerweise stellen solche Prozessmodelle den sogenannten Kontrollfluss, sprich die Abfolge der Aktivitäten, dar. Es lassen sich jedoch noch viele weitere Perspektiven in der Literatur wiederfinden, bspw. die Organisationsperspektive, bei der die Interaktion zwischen Ressourcen dargestellt wird. [AAM+12].

Fazit: Die angestrebte Systematik lässt sich der Ebene der Prozesse zuordnen. Prozesse sind in Unternehmen allgegenwärtig und sind zentraler Faktor für den langfristigen unternehmerischen Erfolg. Fertigungsprozesse haben dabei eine besondere Bedeutung, da sie einer der drei Hauptprozesse in Unternehmen sind. Zur Arbeit mit Prozessen werden sogenannte Prozessmodelle genutzt, die unterschiedliche Perspektiven auf einen Prozess bieten.

2.3.2 Entwicklung und Ansätze des Managements von Prozessen

Das Prozessmanagement in Organisationen hat sich mit der Zeit unterschiedlich entwickelt und verschiedene Einflüsse erfahren [Ber11, S. 8, Har15, S. 38f.]. Im deutschsprachigen Raum unterscheidet NORDSIECK bereits im Jahr 1934 zwischen der Aufbau- und der Ablauforganisation, wobei die Ablauforganisation die Prozesssicht auf eine Organisation darstellt [Nor34, vBB+18, S. 459]. VAN DER AALST ET AL. unterscheiden die externe (marktorientierte) und die interne (ressourcenorientierte) Perspektive, wobei die letztere die klassische Perspektive des Prozessmanagements darstellt [vBB+18, S. 459]. Nach HARMON lassen sich drei Einflussrichtungen identifizieren, die zum Verständnis des heutigen Prozessmanagements beitragen: das Business Management, die Informatik/Informationstechnologie und die Ingenieurwissenschaft [Har15, S. 39].

Die Strömung des **Business Managements** entstand ab den 1980er Jahren. Er zeichnet sich durch seinen starken Fokus auf die allgemeine Entwicklung der Unternehmensleistung aus. Markante Beispiele für den Ansatz sind Porter's Value Chain oder die Balanced Score Card. [Har15, S. 43ff.]. Der Ansatz des Business Managements ist die externe,

markorientierte Perspektive nach VAN DER AALST ET AL., der weniger Verbindungen mit dem Verständnis des Prozessmanagements aufweist [vBB+18, S. 459].

Die Strömung der **Informationstechnologie** behandelt die Nutzung und Beschreibung von Computern zur Ausführung von Prozessen und hält ab Ende der 1970er Jahre Einzug in die Organisationen. Ihr lassen sich zum einen IT-Systeme wie Expertensysteme, ERP-Systeme oder Workflowsysteme zuordnen. Zum anderen umfasst diese Strömung aber auch Ansätze zur Beschreibung der Informationstechnologie, wie die Unified Modeling Language (UML) oder das Enterprise Architecture Management (EAM). [Har15, S. 49ff.]. Ein bekanntes Beispiel für diese Kategorie ist das Business Process Reengineering (BPR), welches durch HAMMER UND CHAMPY in den 1990er Jahren geprägt wurde [HC93]. Da das BPR einen starken Fokus auf das radikale Umgestalten aller Geschäftsprozesse mithilfe von IT-Systemen legt, ist die Zuordnung zur Informationstechnologie geläufig [Har15, S. 50f.].

Die letzte und älteste Strömung ist die **Ingenieurwissenschaft**. Diese lässt sich in zwei Phasen unterteilen: die erste beginnt bereits Anfang des 20. Jahrhunderts mit der Einführung der Fließfertigung in der Produktion durch Ford und Taylors Scientific Management. Die Ansätze von Taylor entwickelten sich in den Vereinigten Staaten schlussendlich zu Ansätzen des Qualitätsmanagements weiter. Aus dieser Ausgangssituation entstand die zweite Phase der ingenieurwissenschaftlichen Strömung. Bild 2-3 zeigt die Entwicklung verschiedener Ansätze ab den 1980er Jahren, auf die nachfolgend eingegangen wird.

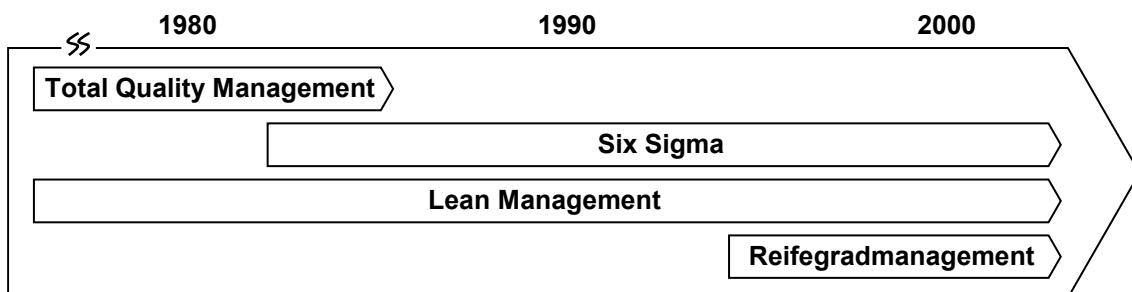


Bild 2-3: Einflüsse der Ingenieurwissenschaft auf das Prozessmanagement in Anlehnung an [Har15, S. 42]

Zunächst wird der bis dahin etablierte Begriff des Total Quality Managements durch das sogenannte **Six Sigma** abgelöst. Auch wird in den 1980er Jahren das Toyota Produktionsystem als **Lean Management** in den Vereinigten Staaten bekannt, wenngleich dieser Ansatz in Japan schon sehr viel länger existierte. In den 1990er Jahren entsteht mit dem Aufkommen des Capability Maturity Models (CMM) das **Reifegradmanagement** mithilfe von Reifegradmodellen. Da das CMM die Qualitätssicherung in der Softwareentwicklung verbessert, ordnet HARMON das Reifegradmanagement der Ingenieurwissenschaft zu. [Har15, S. 38ff.]. Da das Lean Management, Six Sigma und das Reifegradmanagement bis heute weit verbreitete Ansätze in fertigenden Organisationen sind, werden sie nachfolgend ausführlicher beschrieben [Zol13, S. 212f., HFS21, VIII f., TTR16].

Lean Management und Six Sigma

Lean Management bezeichnet die Gestaltung, Lenkung und Entwicklung der Organisation, insbesondere der Produktion, basierend auf einem speziellen Denkprinzip [Zol13, S. XIX]. Im Gegensatz zu der landläufigen Meinung ist dieses Denkprinzip jedoch nicht einfach nur, dass Verschwendungen gesehen und vermieden werden [Zol13, S. XIX f.]. Vielmehr weist das Lean Management durch seinen Ursprung in Japan viele philosophische bzw. theologische Prinzipien auf, wie etwa die Achtung von Traditionen, das Einhalten von Standards und vor allem der rastlosen Suche nach Wegen, Dingen anders zu machen und in den Standard zu heben [Zol13, S. XX]. Diese rastlose Suche wird auf Japanisch als Kaizen bezeichnet [Zol13, S. XX]. In der industriellen Praxis wiederum wird Lean Management häufig als Managementansatz gesehen, um Verschwendungen zu identifizieren und zu beseitigen [HFS21, S. VII, DLM+18, S. 7, vdA16, S. 48]. Dafür werden sieben Verschwendungsarten unterschieden [vdA16, S. 46f., HFS21, S. 2ff.]:

- **Überproduktion** ist die vom Kunden nicht benötigte Mehrleistung.
- **Bestände** stellen eine Verschwendungen von Kapital und Fläche dar.
- **Materialtransport** stellt eine Bewegung des Produktes ohne Transformation dar.
- **Wege** zur Durchführung der Transformation sind als Verschwendungen anzusehen.
- **Warten** stellt eine Zeit ohne Transformation dar, weshalb ein Produkt länger im System verbleibt.
- **Unnötige Prozesse** sind Bemühungen, die nicht vom Kunden verlangt werden.
- **Ausschuss und Nacharbeit** stellen eine Korrektion von bereits geleisteter Transformation dar.

Zur Identifikation und Beseitigung von Verschwendungen haben sich im Lean Management verschiedene Prinzipien und Methoden entwickelt [HFS21, S. 17ff.]. Eine Methode zur Identifikation von Verschwendungen ist die Wertstromanalyse, die den Material- und Informationsfluss abstrahiert und dabei Wartezeiten oder Bestände aufdeckt [HFS21, S. 55f.]. Ein Prinzip zur Eliminierung von Verschwendungen ist das sogenannte Pull-Prinzip, bei dem nur auf Kundennachfrage gefertigt wird. Dadurch wird bspw. Überproduktion und Ausschuss vermieden. [HFS21, S. 18f.]. Im Lean Management ist der PDCA-Zyklus (**Plan-Do-Check-Act**) ein weitverbreitetes Modell, das die grundlegenden Phasen bei der kontinuierlichen Verbesserung (Kaizen) beschreibt [Zol13, S. 47]. Eine Erklärung des PDCA-Zyklus findet sich im Anhang A1.1.

Six Sigma hingegen hat seinen Ursprung in den Vereinigten Staaten und ist ursprünglich eine Qualitätstechnik. Es bezeichnet das Bestreben einen Prozess so zu gestalten, dass das

Ergebnis des Prozesses innerhalb von sechs Standardabweichungen⁶ um die Qualitätsmerkmale liegt. Heute bezeichnet Six Sigma einen umfassenden Qualitätsmanagementansatz, der verschiedene Werkzeuge, Techniken und Methoden des Qualitätswesens zusammenführt. Six Sigma hat dabei das statistische, daten- und projektbasierte Vorgehen beibehalten. Das Vorgehen ist als DMAIC-Zyklus (**Define-Measure-Analyse-Improve-Control**) bekannt und basiert nach ZOLLONDZ auf den Grundsätzen des Prozess- bzw. Projektmanagements. [Zol13, S. 212ff., vdA16, S. 47f.]. Eine Erläuterung des DMAIC-Zyklus findet sich im Anhang A1.2.

Aus diesem kurzen Exkurs wird deutlich, dass Lean Management und Lean Six Sigma zwar ähnliche Ziele bspw. in der Qualitätssteigerung verfolgen, im Kern aber nur sehr schwer vereinbar sind. Nach ZOLLONDZ sind daher **Lean Six Sigma** Initiativen oft ein „Etikettenschwindel“, da die Grundsätze, Mitarbeitereinbindung oder zeitliche Orientierung sich so stark unterscheiden, dass sie nur sehr aufwändig miteinander kombinierbar sind. [Zol13, S. 221ff.]. Der Begriff des Lean Six Sigma wird daher nicht weiter erörtert.

Reifegradmanagement

Reifegradmodelle⁷ unterstützen die Analyse von Organisationen und Prozessen [BR07, BKP09]. Dafür wird der Untersuchungsbereich in verschiedene Handlungsfelder und -elemente unterteilt [RB05, Ham07], die typischerweise dedizierte Reifegradstufen besitzen [PCC+93, RPB12]. Die Reifegradstufen stellen häufig eine evolutionäre Entwicklung der Reife dar und repräsentieren somit einen unterschiedlichen Grad von Fähigkeiten einer Organisation [PCC+93, RB05]. Ziel von Reifegradmodellen ist, eine objektive Analyse des Untersuchungsbereichs zu ermöglichen, um Maßnahmen zur Steigerung der Reife abzuleiten [GP14, S. 315f.]. Obwohl Reifegradmodelle sehr heterogene Untersuchungsbereiche beschreiben können, weisen sie typischerweise ähnliche Komponenten auf [Chr09, S. 39f.]:

Handlungsfelder systematisieren den Untersuchungsbereich und unterteilen ihn in feinere Komponenten. Dadurch wird sichergestellt, dass alle relevanten Facetten abgebildet werden. [GP14, S. 316].

Handlungselemente unterteilen ein Handlungsfeld weiter und können als Mittel zur Einflussnahme auf ein Handlungsfeld verstanden werden. Für die Handlungselemente wird typischerweise die Reife bestimmt. [GP14, S. 316, Ham07].

⁶ Bei einer Gaußschen Normalverteilung liegen 68,3 % der zufälligen Beobachtungen eines Merkmals innerhalb einer, 95,45 % innerhalb von zwei, und 99,73 % innerhalb von drei Standardabweichungen. Die Zahl Sechs in Six Sigma bezieht sich auf plus und minus drei Standardabweichungen (Maßzahl Sigma σ) vom Mittelwert. Für die Qualitätssicherung bedeutet dies, dass nur 2.700 von einer Million gefertigten Teile einen Defekt aufweisen würden. [Zol13, S. 212ff., vdA16, S. 47f.].

⁷ Reife wurde erstmalig von CROSBY als Zustand der Abgeschlossenheit, Perfektheit, oder des bereit seins beschrieben [Cro79]. Diese Definition findet immer noch Anklang und wird häufig als Vollständigkeit, Vollkommenheit oder Verfügbarkeit beschrieben [GP14, S. 316].

Reifegrade sind Leistungsstufen eines Handlungselementes. Für jedes Handlungselement kann typischerweise die Reife bestimmt werden. Es werden Stufen definiert, die eine Entwicklung des Handlungselementes darstellen. Je höher der Reifegrad, desto entwickelter ist das Handlungselement. [GP14, S. 316, Chr09, S. 39f., PCC+93].

Für die **Nutzung** wird zwischen dem Reifegradmodell selbst und dem Vorgehens- bzw. Bewertungsmodell unterschieden. Das Reifegradmodell besteht aus den oben beschriebenen Komponenten der Handlungsfelder, -elemente und Reifegrade. Es führt Anwender durch die Verbesserung des Untersuchungsbereichs. Im Gegensatz dazu nimmt das Bewertungsmodell eine erfragende Funktion ein, mit dem Ziel der Einordnung. Das Bewertungsmodell führt den Anwender somit durch die Einschätzung der Ist-Reife und spezifiziert die Form (bspw. Selbsteinschätzung) oder den Umfang des Untersuchungsbereichs (bspw. eine Abteilung oder die ganze Organisation). [TTR16].

Nach CHRISTIANSEN folgt die Nutzung von Reifegradmodellen zur Leistungsbewertung und -steigerung einem Regelkreis [Chr09, S. 93]. Bild 2-4 veranschaulicht diesen Regelkreis, der den Untersuchungsbereich mithilfe der Leistungsbewertung betrachtet. Über einen Ist- / Soll-Vergleich in der Leistungssteigerung werden Maßnahmen abgeleitet, um den Soll-Zustand des Untersuchungsbereichs herzustellen. Dieser Regelkreis wird nachfolgend erläutert.

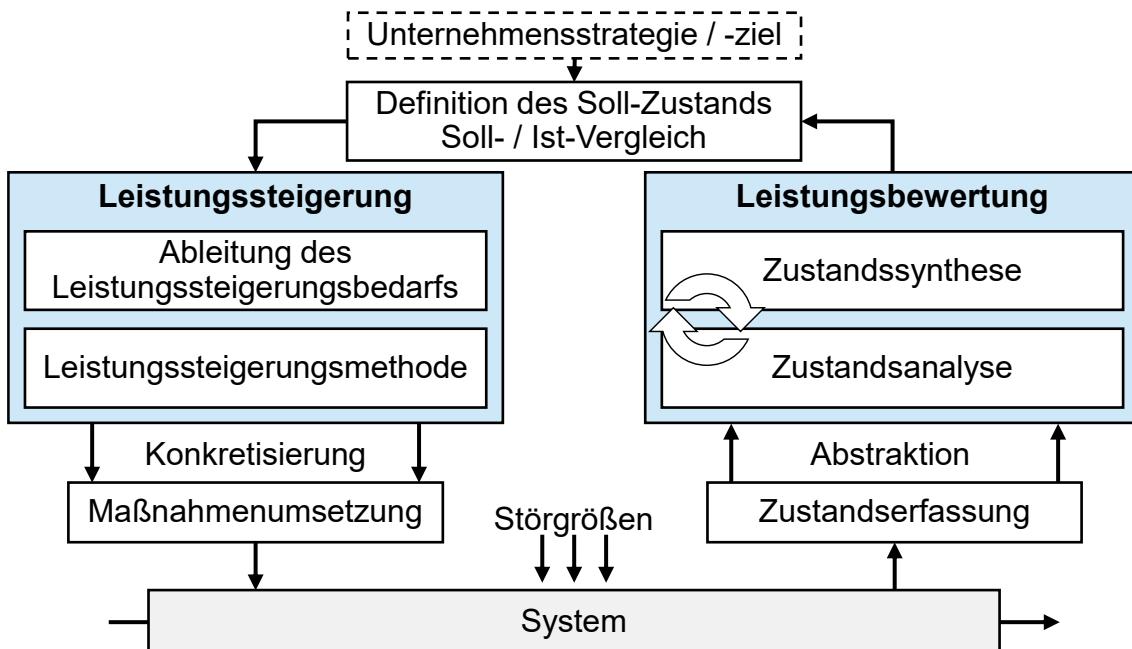


Bild 2-4: Leistungsbewertung und -steigerung nach CHRISTIANSEN [Chr09, S. 93]

Der Regelkreis betrachtet immer das zugrundeliegende **System**, welches eine Organisation oder einen Prozess darstellen kann. In der **Zustandserfassung** werden Informationen über den aktuellen Status des Systems gesammelt. Dafür können Interviews, Fragebögen, Checklisten oder ähnliches zum Einsatz kommen. Diese Informationen werden in der **Zustandsanalyse** ausgewertet, aufbereitet und geeignet dargestellt. Dafür können

unterschiedliche Betrachtungsweisen zum Einsatz kommen. Im Anschluss erfolgt in der **Zustandssynthese** eine Interpretation der Analyseergebnisse, indem die Informationen abstrahiert und zu einer plausiblen Darstellung des aktuellen Ist-Zustands erhoben werden. Die Zustandsanalyse und -synthese können iterativ durchlaufen werden und bilden zusammen die Leistungsbewertung. [Chr09, S. 93f.].

Die Leistungsbewertung ist Input für den **Soll- / Ist-Vergleich**. Dafür findet zunächst eine Definition des Soll-Zustands mithilfe von definierten Kriterien statt. Die Bestimmung des Idealzustands findet unter Berücksichtigung von personellen Ressourcen und der Unternehmensstrategie und -zielen statt. Es sollte ein gesundes Aufwand-Nutzen-Verhältnis angestrebt werden. [Chr09, S. 96f.].

Anschließend erfolgt die Leistungssteigerung. Zunächst wird der **Leistungssteigerungsbedarf** ermittelt, indem auf Basis der Diskrepanz zwischen dem Ist- und dem Soll-Zustand die Intensität der notwendigen Systemanpassungen ermittelt wird. Mit geeigneten **Leistungssteigerungsmethoden** wird ein Lösungskonzept erarbeitet, welches den Ist-Zustand in den angesteuerten Soll-Zustand transformiert. Das Lösungskonzept umfasst ein Vorgehen und Maßnahmen zur Leistungssteigerung. Um bei einer Vielzahl von Handlungsmöglichkeiten den Überblick zu behalten, kann es hilfreich sein, sinnvolle Maßnahmen im Vorfeld bereitzustellen, bspw. in Form von Leistungssteigerungsprofilen. Der Regelkreis endet mit der **Maßnahmenumsetzung**. [Chr09, S. 96].

Reifegradmodelle haben großen Anklang in der Forschung gefunden und wurden für Themen wie die Softwareentwicklung [PCC+93], das Innovationsmanagement [NLA+21], cyber-physische Systeme [Wes17] oder das Geschäftsprozessmanagement [Ham07] entwickelt.

Fazit: Die Leistungssteigerung von Fertigungsprozessen hat eine lange Tradition mit unterschiedlichen Ansätzen, wie zum Beispiel der Ingenieurwissenschaft mit dem Lean Management, dem Six Sigma oder dem Reifegradmanagement. Aus dem Lean Management haben insbesondere die Betrachtung verschiedener Verschwendungsarten und das Arbeiten mit Prozessen bis heute großen Einfluss auf die Optimierung von Fertigungsprozessen. Im Reifegradmanagement hat sich die Leistungsbewertung und -steigerung mit Hilfe eines mehrschichtigen Reifegradmodells etabliert. Diese traditionellen Ansätze und Denkweisen sind daher von der angestrebten Systematik bei der Prozessanalysen und der Reifegradbewertung zu berücksichtigen.

2.3.3 Heutiges Verständnis des Prozessmanagements

Die drei Einflüsse des Business Managements, der Informationstechnologie und der Ingenieurwissenschaft führen zu dem heutigen Verständnis des (Geschäfts-) Prozessmanagements (engl. Business Process Management, BPM). BPM⁸ ist heute zu einem

⁸ Diese Arbeit nutzt die englische Abkürzung BPM für das (Geschäfts-) Prozessmanagement.

umfangreichen System zur Steuerung, Lenkung und Transformation von organisatorischen Abläufen herangewachsen [Ham15, S. 3, SS20, S. 12]. SCHMELZER UND SESSELMANN strukturieren die Bestandteile des BPM in die vier Bereiche der Prozessführung, -organisation, -controlling und -optimierung [SS20, S. 14ff.]. In Bild 2-5 sind die Zusammenhänge dieser Bestandteile zu den eigentlichen Geschäftsprozessen, der Strategie, den Mitarbeitenden, der IT und den Kunden dargestellt.

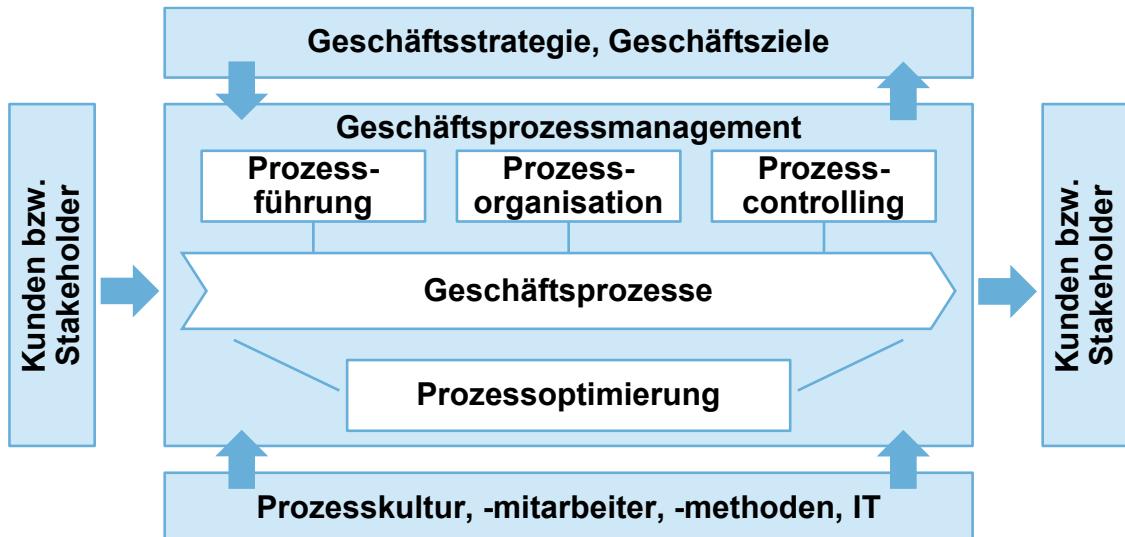


Bild 2-5: Bestandteile des BPM nach SCHMELZER UND SESSELMANN [SS20, S. 15]

Die **Prozessführung** lenkt das gesamte BPM, indem Ziele vereinbart, die Belegschaft motiviert und die Prozesskultur gefördert werden. In der **Prozessorganisation** werden Prozessmodelle erarbeitet und angepasst, die Rollen und Prozesseigner definiert und die Integration der Ablauf- in die Aufbauorganisation gesteuert. Im **Prozesscontrolling** werden Kennzahlen über die (Prozess-) Leistung von Prozessen erhoben und Reports erstellt. [SS20, S. 15ff.]. **Prozessoptimierung** bezeichnet die gezielte Erhöhung der Prozessleistung in Form der Prozesseffektivität und -effizienz, sodass die Erreichung der Organisationsziele nachhaltig gewährleistet ist [SS20, S. 505f.]. Es lassen sich zwei Arten der Prozessoptimierung identifizieren: kontinuierliche Verbesserung und Innovation [SS20, S. 506, GP14, S. 241]. Zusätzlich spielt die Prozessstandardisierung eine zentrale Rolle bei der Sicherstellung der Prozessleistung [SS20, S. 331]. In Bild 2-6 sind die Funktionsweisen der verschiedenen Optimierungsarten vor dem Hintergrund der Prozessleistung und des zeitlichen Verlaufs dargestellt.

Die **kontinuierliche Verbesserung** optimiert evolutionär, d. h. Prozesse werden schrittweise angepasst. Die Grundstruktur der Prozesse wird dabei jedoch nicht angepasst. Dadurch ergibt sich in Bild 2-6 eine gezackte Kurve, welche die kleinen Schritte der Prozessleistungssteigerung darstellt. Im Vergleich zu den Prozessinnovationen zeichnet sich die kontinuierliche Verbesserung durch ein geringeres Risiko und die Einbindung von mehr Mitarbeitenden aus. [SS20, S. 506ff.]. In der japanischen Managementphilosophie wird diese Art der Leistungssteigerung als Kaizen bezeichnet [GP14, S. 241]. Ein

Beispiel für kontinuierliche Verbesserung wäre die Anpassung des MES, sodass die Materialverfügbarkeit direkt im Steuerungskockpit angezeigt wird und der Prozess der Produktionsfeinplanung optimiert wird.

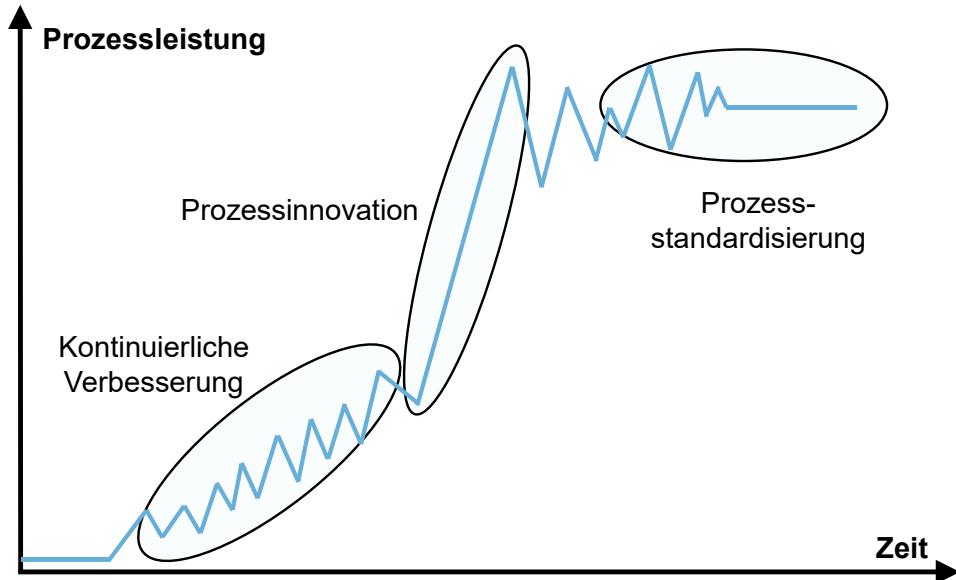


Bild 2-6: Darstellung des Verhältnisses von Prozessleistung und Zeit bei verschiedenen Optimierungsarten in Anlehnung an [GP14, S. 241]

Die **Prozessinnovation** optimiert hingegen revolutionär, d. h. Prozesse werden grundlegend verändert oder sogar durch neue ersetzt. Prozessinnovationen können sowohl durch die komplette Umgestaltung der Prozesse als auch durch die Verwendung neuer IT-Systeme entstehen. In Bild 2-6 entsteht dadurch ein sprunghafter Anstieg der Prozessleistung. Im Gegensatz zu den kontinuierlichen Verbesserungen ist diese Form der Prozessoptimierung von einem höheren Risiko geprägt und bezieht häufig weniger aktiv die Beschäftigten ein. [SS20, S. 506ff.]. In der japanischen Managementphilosophie wird dieser Art der Leistungssteigerung als Kaikaku bezeichnet [GP14, S. 241]. Ein Beispiel ist die Einführung eines neuen IT-Systems, durch das sich die Abläufe fundamental ändern.

Die **Prozessstandardisierung** hat zum Ziel, die Prozessleistung konstant zu halten, indem Fehler oder Leerläufe vermieden werden. Standardisierung erhöht somit die Prozesssicherheit. In Bild 2-6 zeigt sich diese erhöhte Prozesssicherheit darin, dass die Prozessleistung weniger stark schwankt und zu einer konstanten Linie wird. Im Denkprinzip des Lean Managements muss erst standardisiert werden, bevor verbessert werden kann. Prozessstandardisierung kann jedoch nicht nur vor dem Hintergrund der Prozessleistung verstanden werden, sondern auch vor dem Hintergrund des Angleichens von Geschäftsprozessen in einer Organisation, bspw. an unterschiedlichen Fertigungsstandorten. Prozessstandardisierung birgt auch Risiken, da Standards häufig mit einer Verringerung der Flexibilität einhergehen. Ein Beispiel ist die Vereinheitlichung der verwendeten IT-Systeme, um die Abläufe und Aufwände des IT-Supports zu verringern. [SS20, S. 331ff., GP14, S. 241, Zol13, S. 47].

In der Literatur und Praxis finden sich unterschiedliche **Vorgehensweisen zur Prozessoptimierung**. SCHMELZER UND SESSELMANN beschreiben die sechs Phasen der Geschäfts-/ Prozessstrategie, Prozessidentifizierung, Prozessorganisation, Prozessausführung, Prozesscontrolling und Prozessoptimierung [SS20, S. 17f.]. WESKE definiert einen vier-phasigen Prozesslebenszyklus, bestehend aus dem Design und Analyse, der Konfiguration, der Inkraftsetzung, und der Evaluation [Wes19, S. 11ff.]. DUMAS ET AL. beschreiben mit dem BPM Lebenszyklus einen sechs-phasigen Lebenszyklus [DLM+18, S. 22ff.], welcher in der Literatur häufig Anklang findet [LMD23, MFK+21, GMO+21, BBB+21]. Der BPM Lebenszyklus nach DUMAS ET AL. ist in Bild 2-7 dargestellt und wird nachfolgend kurz beschrieben.

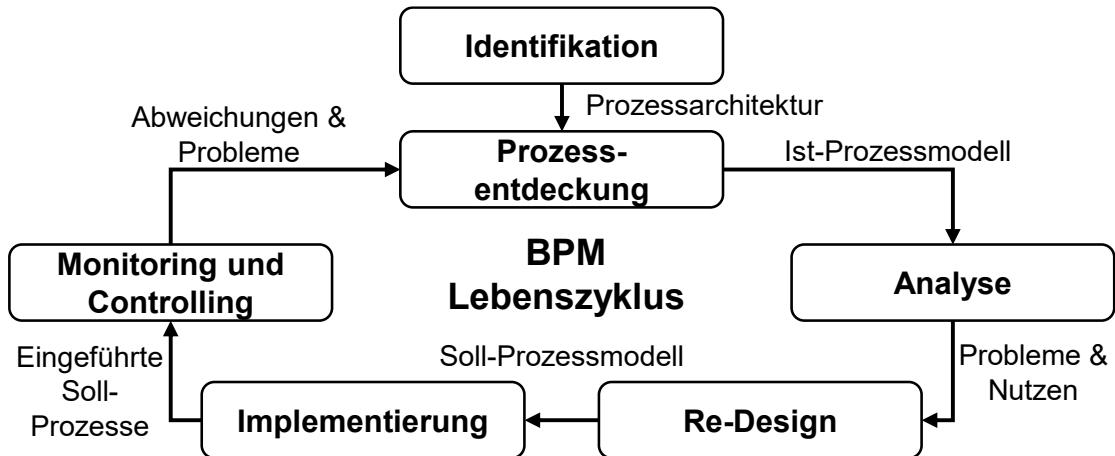


Bild 2-7: Der BPM Lebenszyklus in Anlehnung an [DLM+18, S. 23]

In der **Identifikationsphase** wird die Prozessarchitektur aufgestellt. Sie dient nicht nur als Referenz für die Einordnung der Prozessmodelle, sondern vor allem auch der späteren Priorisierung der Optimierungsaktivitäten. Zusätzlich werden relevante Kennzahlen zur Messung der Güte den Prozessen zugeordnet. Diese Phase hat große Einflüsse aus dem Business Management, da bspw. Porter's Value Chain als Referenz für die Architektur der Prozesse dienen kann. Da die Identifikationsphase nicht direkt der Prozessoptimierung dient, sondern auf eine Aktualisierung der Prozessarchitektur abzielt, ist sie als initierender Schritt dargestellt. [DLM+18, S. 35ff.].

In der **Prozessentdeckung** findet die eigentliche Modellierung des aktuellen Ist-Prozesses statt (vgl. Abschnitt 2.3.1). Die Ist-Prozessmodelle sind das Ergebnis dieser Phase. Die Prozessentdeckung unterteilt sich in zwei Abschnitte: zum einen das Erheben der Informationen über den aktuellen Ist-Prozess, bspw. über Interviews oder Workshops mit Domänenexperten und zum anderen die korrekte Modellierung in einer Prozessmodellierungssprache, wie BPMN. Die Prozessentdeckung beinhaltet mit ihrem starken Fokus auf Modellierung viele Einflüsse aus der Informationstechnologie. [DLM+18, S. 159].

In der **Analyse** werden Probleme am aktuellen Ist-Prozess identifiziert. Es lassen sich qualitative und quantitative Methoden unterscheiden. Die qualitativen Methoden haben einen starken Einfluss der Ingenieurwissenschaft, bspw. mit der Analyse hinsichtlich

Verschwendungen oder dem Ursachen-Wirkungs-Diagramm. Die quantitativen Methoden beinhalten die Analyse von Warteschlangen oder die Durchführung von Simulationen. Das Ergebnis der Analyse ist eine Liste mit möglichen Problemen und deren angenommenen Nutzen. [DLM+18, S. 213ff.].

Diese Probleme werden im **Re-Design** aufgegriffen und zu Optimierungsmöglichkeiten verwandelt. Dieser Schritt wird daher auch Prozessoptimierung genannt. In diesem Schritt müssen mögliche Verbesserungen identifiziert und deren Auswirkungen auf die Probleme vor dem Hintergrund der Kennzahlen aus der Identifikation betrachtet werden. Daher ist es nicht unüblich, zwischen den Schritten der Analyse und des Re-Designs zu iterieren. Sowohl Probleme als auch deren Lösungen sind vielfältig, wie allein die Unterscheidung in kontinuierliche Verbesserung, Prozessinnovation und Standardisierung zeigt. Um sich einer Verbesserung zu nähern, existieren einige Re-Design Methoden, bspw. Optimierungs-Heuristiken. Durch die verschiedenen Re-Design Ansätze lässt sich diese Phase keinem eindeutigen Einfluss zuordnen. Das Ergebnis dieses Schrittes ist das Soll-Prozessmodell. [DLM+18, S. 297].

In der **Implementierung** wird der Soll-Prozess umgesetzt. Dazu muss sowohl Change Management als auch die technische Realisierung durchgeführt werden. Das Change Management umfasst das Informieren und Sensibilisieren der Akteure im Prozess, während die technische Realisierung die Unterstützung des Soll-Prozessmodells in den IT-Systemen abbildet. Diese Phase hat starke Einflüsse aus der Informationstechnologie. Das Ergebnis dieser Phase sind die eingeführten und realisierten Soll-Prozesse. [DLM+18, S. 23].

Schlussendlich erfolgt ein kontinuierliches **Monitoring und Controlling**. Diese Phase zielt darauf ab, zu prüfen, ob es ungeplante Abweichungen zwischen der Realisierung und dem angedachten Soll-Prozess gibt und um festzustellen, ob der erwartete Nutzen eintritt. Primär gilt es im Monitoring und Controlling jedoch neue Probleme systematisch und datenbasiert aufzudecken, um einen neuen BPM Zyklus zu starten. Dafür kommen sowohl historische Analysen als auch Live-Monitoring zum Einsatz. DUMAS ET AL. nennen im Rahmen des Monitorings und Controllings PM als einen möglichen Ansatz. [DLM+18, S. 413ff.].

Fazit: Das Steigern der Prozessleistung hat unterschiedliche Ausprägungen, bspw. die Prozessinnovation oder die kontinuierliche Verbesserung. Unternehmen betreiben daher heute häufig ein Prozessmanagement. Dieses hat oft eine eigene Führungsposition und klare Rollen, um kontinuierlich entlang des BPM Lebenszyklus Prozessoptimierung durchzuführen. Dafür müssen Ist-Prozessmodelle erstellt, analysiert und nach durchgeführter Optimierungsmaßnahme überwacht werden. Diese etablierten Konzepte haben viel Einfluss auf das PM und müssen bei der Entwicklung der Systematik berücksichtigt werden.

2.4 Process Mining für eine datenbasierte Leistungssteigerung

In der Schnittstelle aus Prozessmodellierung und IT-Systemen hat sich seit der Jahrtausendwende PM als eine vielversprechende Technologie für ein datengetriebenes BPM herausgestellt. Das PM stellt eine neue, datenbasierte Möglichkeit zur Leistungssteigerung von Prozessen dar.

In **Abschnitt 2.4.1** wird das PM zunächst in die Prozess- und Datenwissenschaft eingegliedert. Anschließend erfolgt in **Abschnitt 2.4.2** eine umfangreiche Erklärung der technologischen Funktionsweise des PMs, indem notwendige Datengrundlagen, Haupttechniken und Typen des PMs erläutert werden. Die Technologie des PMs wird in Projekten und unterschiedlichen Use Cases verwendet, wie **Abschnitt 2.4.3** zeigt. Darauf aufbauend wird in **Abschnitt 2.4.4** dargelegt, wie PM typischerweise in Organisationen aufgehangen ist, welche Rollen existieren und welche Herausforderungen bei der Nutzung entstehen. Da der Betrachtungsgegenstand dieser Arbeit die Fertigungsprozesse sind, wird in **Abschnitt 2.4.5** gesondert auf die Herausforderungen bei der Nutzung von PM in Fertigungsprozessen eingegangen und eine Abgrenzung zu anderen Domänen geboten.

2.4.1 Einordnung des Process Minings

PM ist interdisziplinär und kombiniert Ansätze aus der Prozess- und Datenwissenschaft [AAM+12, vdA16, S. 15ff.]. Die verschiedenen Einflüsse auf das PM sind in Bild 2-8 dargestellt.

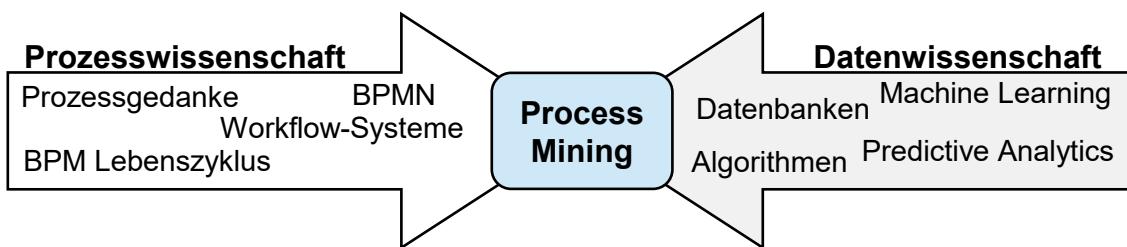


Bild 2-8: Der Zusammenhang von PM, der Prozess- und der Datenwissenschaft in Anlehnung an [vdA16, S. 18]

Die **Prozesswissenschaft**⁹ (engl. process science) ist ein Sammelbegriff für verschiedene Disziplinen aus IT und Management. Der BPM Lebenszyklus, Prozessmodelle oder die Prozessoptimierung lassen sich der Prozesswissenschaft zuordnen (vgl. Abschnitt 2.3.1 und 2.3.3). Aus dem Bereich der Informationstechnologie gehören insbesondere die sogenannten Workflow-Systeme zu den Teilgebieten der Prozesswissenschaft. Workflow-Systeme sind solche IT-Systeme, die eine Ausführung und Lenkung von Prozessen auf Basis von modellierten Prozessen ermöglichen. Durch die Anpassung des

⁹ VOM BROCKE ET AL. definieren die Prozesswissenschaft als Wissenschaft des Wandels, wozu auch Einflüsse aus der Biologie zählen [vvG+21]. Diese Definition findet in dieser Arbeit keine Anwendung.

zugrundeliegenden Prozessmodells kann der Verlauf der Prozesse verändert werden. VAN DER AALST zählt des Weiteren noch klassische Ansätze wie die Stochastik, die Optimierung oder das Operations Research der Prozesswissenschaft hinzu. [vdA16, S. 15ff.].

Die **Datenwissenschaft** (engl. data science) ist die Wissenschaft über Daten [Cao18]. Sie kombiniert IT, Mathematik und Statistik [SO13, S. 6ff.]. Daten werden häufig in Datenbanken gespeichert. Es existieren verschiedene Ansätze für Datenbanken [vdA16, S. 13]. Zur Verarbeitung von Daten kommen Algorithmen zum Einsatz. Algorithmen sind Verfahren, Abfolge von Schritten oder Sammlung von Regeln, um eine Aufgabe zu lösen. [SO13, S. 51]. Algorithmen sind die Grundlage für Computerprogramme. [SO13, S. 51]. Ein Computerprogramm kann als lernend angesehen werden, wenn es bei der Ausführung einer Aufgabe bessere Leistung erzielt, falls Erfahrung zur Verfügung gestellt wird. [Mit97, S. 2]. Dieses maschinelle Lernen (engl. machine learning) erlaubt Computerprogrammen somit, Aufgaben nur anhand von Erfahrung zu lösen, für die vorher keine expliziten Regeln durch den Menschen einprogrammiert wurden. [Mit97, S. 2, vdA16, S. 13]. Data Analytics (dt. Datenanalyse) bezeichnet das Ableiten von handlungsfähigem Wissen aus Daten, bspw. um Vorhersagen durchzuführen. [vdA16, S. 13, Cao18]. Sowohl die Prozess- als auch die Datenwissenschaft sind wiederum interdisziplinär und vereinigen verschiedene Ansätze in sich [vdA16, S. 18, SO13, S. 6ff.]. Eine detaillierte Gegenüberstellung und Abgrenzung gängiger Begriffe der Prozess- und Datenwissenschaft findet sich im Anhang A1.3.

PM bietet aus technologischer Sicht viele Neuheiten und Alleinstellungsmerkmale gegenüber bestehenden Ansätzen. Im Vergleich zu existierenden Algorithmen des Data Minings¹⁰ ermöglichen die Algorithmen des PMs explizit das Erstellen und Arbeiten mit Prozessmodellen, wie BPMN [vdA16, S. 46, DLM+18, S. 427f.]. PM Ansätze sind daher prozessorientiert und können mit Parallelität in Prozessverläufen umgehen [AAM+12]. Diese komplexeren Algorithmen¹¹ sind auch das Hauptunterscheidungsmerkmal zum Lean Management bzw. Six Sigma. Während diese beiden Ansätze auch datenbasiert mit Prozessen arbeiten, kommen selten komplexere Algorithmen zum Einsatz [vdA16, S. 46f.]. Die Abgrenzung zum Business Intelligence (BI) ist weniger trivial. Das liegt zum einen daran, dass keine einheitliche Definition für BI existiert und zum anderen daran, dass beide Ansätze darauf abzielen verwertbare Informationen aus Unternehmensdaten zu ziehen [vdA16, S. 49f.]. Hauptunterscheidungsmerkmal ist die Art der verwendeten Daten. PM verwendet nicht aggregierte Daten über Prozessabläufe, während im BI aggregierte Informationen zu Dimensionen wie Produkten, Standorten etc. verwendet werden [vdA16, S. 49f., LFC11]. Generell lässt sich PM der BI zuordnen [vdA16, S. 49].

¹⁰ Data Mining bezeichnet das Ableiten von Wissen aus Daten [Run16, S. 2].

¹¹ Ein Beispiel für einen solchen dedizierten Algorithmus ist der sogenannte Alpha-Miner-Algorithmus [vWM04], welcher aus Daten ein Petri Netz erstellt.

PM ist eine **relativ junge Forschungsdisziplin** [AAM+12, vJM+21], die ihre Anfänge Ende der 1990er Jahre hat [vdA22, S. 4, vJM+21]. Der Fokus der Forschung hat primär auf der Entwicklung von Grundlagen in Form von Algorithmen gelegen [ACD+18] und hat gerade in den 2000er Jahren große Sprünge gemacht [vWM04, Rv08, AWA06]. VOM BROCKE ET AL. fassen daher die Forschungsanstrengungen folgendermaßen zusammen:

“Research on process mining has mostly focused on devising new or better algorithms” [vJM+21, S. 483].

In jüngerer Zeit finden die Untersuchung der Wirkweisen und des Einflusses von PM auf der Projektebene [EAt19, ZEv22, Fis23] und der Organisationsebene [MFK+21, GMO+21, KDF+22] verstärkte Beachtung. Obwohl verschiedene Berichte über die Anwendung von PM in der Praxis existieren [Rei20], ist es noch Gegenstand der Forschung, wie genau Organisationen PM für sich einsetzen [BWG+22]¹².

Fazit: PM ist ein interdisziplinärer Ansatz, der sich auf Basis von Unternehmensdaten mit Prozessen auseinandersetzt. Dafür kommen spezielle Algorithmen zum Einsatz, die innerhalb der Forschungsgemeinschaft viel Aufmerksamkeit erfahren. Hingegen beginnt die wissenschaftliche Auseinandersetzung mit PM auf Projekt- oder Organisationsebene gerade erst. Es gilt die Interdisziplinarität des PMs bei der Entwicklung der Systematik, bspw. hinsichtlich Handlungsfeldern im Reifegradmanagement, zu beachten.

2.4.2 Datengrundlage, Haupttechniken und Typen des Process Minings

Die Forschung im PM fokussiert primär Algorithmen (vgl. Abschnitt 2.4.1). Daher werden nachfolgend zunächst verschiedene PM Funktionsweisen dargelegt. PM bezeichnet das systematische Verbessern von Prozessen auf Basis von Daten (vgl. Abschnitt 2.1.4). Dafür kommen verschiedene Techniken und Algorithmen zum Einsatz, die Prozessmodelle und Analysen aus sogenannten Ereignisdaten erzeugen. Anhand von Bild 2-9 wird nachfolgend das Zusammenspiel von Daten, Haupttechniken und Typen im PM erläutert. Daten für das PM werden auch als Ereignisdaten (engl. event data) bezeichnet und können unterschiedlichen Ursprungs sein, bspw. aus IIoT-Anwendungen oder prozessbewussten IT-Systemen¹³. Ein Event ist ein Ereignis oder Aktivität, das aufgezeichnet wird. Der Unterschied zwischen einem Ereignis und einer Aktivität ist, dass ein Ereignis nur einen Zeitpunkt hat, während eine Aktivität eine Dauer besitzen kann. [AAM+12, vdA16, S. 35].

¹² Die Zusammenfassung des Beitrags von BADAHKSHAN ET AL. [BWG+22] findet sich im Anhang A1.4.

¹³ Prozessbewusst ist ein IT-System, wenn es nicht nur isolierte Aktivitäten unterstützt, sondern mehrere Aktivitäten aufeinander folgen können und Informationen über diese Aktivitäten gespeichert werden. Systeme wie ERP, Customer Relationship Management (CRM) oder Product Lifecycle Management (PLM) sind Beispiele für prozessbewusste IT-Systeme, wohingegen E-Mailprogramme dies bspw. nicht sind. [vdA16, S. 27f., DLM+18, S. 342f.].

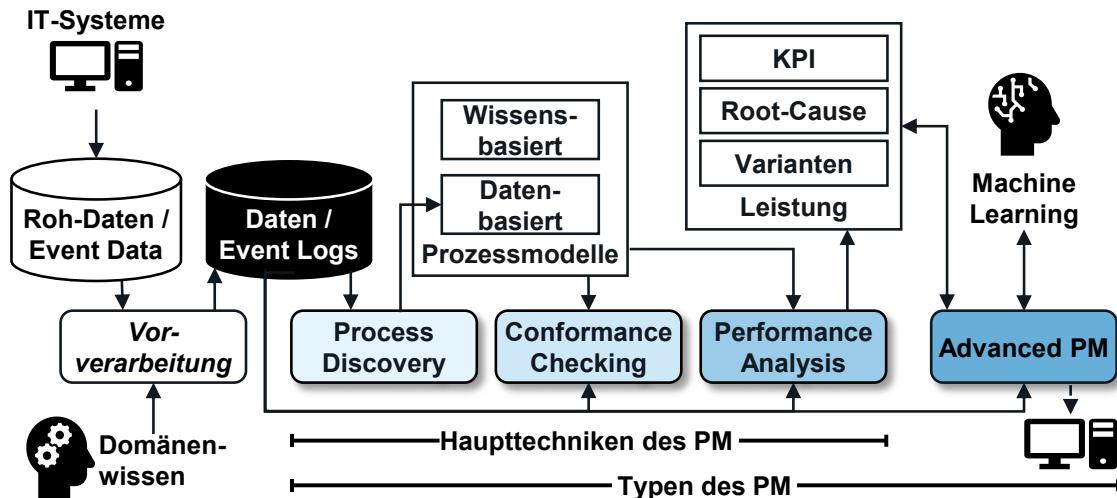


Bild 2-9: *Funktionsweise, Haupttechniken und Typen des PMs in Anlehnung an [vdA22, S. 5]*

In der **Vorverarbeitung** (engl. pre-processing) werden diese **Roh-Daten** zusammengetragen und in einen sogenannten Event Log überführt. Generell bezeichnet ein **Event Log** eine Ansammlung von Ereignissen, die als Input für PM verwendet werden [AAM+12]. Ein Event Log muss mindestens eine Fall-Identifikationsnummer (engl. Case ID), Aktivität und eine Ordnung besitzen. Eine Case ID ordnet die Events einer konkreten Prozessinstanz zu. Ein Beispiel für eine Case ID ist eine Produktionsauftragsnummer. In der Praxis kann die Case ID je nach Bedarf gesetzt werden. Die Ordnung der Events innerhalb der Cases ist wichtig für die Rechenweise der Algorithmen und daher auch eine Grundvoraussetzung. In der Praxis geschieht die Ordnung fast immer durch Zeitstempel. [vdA16, S. 35f., WW22, S. 195, vLL+15]. Wenngleich das Pre-Processing keine Haupttechnik des PMs ist, trägt es zentral zur Durchführbarkeit von PM bei und ist Gegenstand zahlreicher Sub-Forschungsrichtungen, wie der Event Abstraction [vML+21] oder Anonymisierung [MKB+19].

Die drei **Haupttechniken des PMs** sind Process Discovery, Conformance Checking und Performance Analysis (auch Process Enhancement genannt). Sie bilden zusammen mit dem Advanced PM die **Typen des PMs**. **Process Discovery** besitzt als Input einen Event Log und erzeugt mithilfe von unterschiedlichen Algorithmen als Output ein datenbasiertes Prozessmodell. **Conformance Checking** hat als Input einen Event Log und ein normatives Prozessmodell. Ein normatives Prozessmodell gibt vor, wie ein Prozess ablaufen sollte. Conformance Checking vergleicht den Event Log mit daten- oder wissensbasierten Prozessmodellen, um Abweichungen zu identifizieren. **Performance Analysis** nimmt als Input Event Logs und ggf. Prozessmodelle. Der Output ist unterschiedlich, i. d. R. erfolgt jedoch eine Erweiterung der Prozessmodelle mit zeitlichen Informationen (bspw. die Dauer von Aktivitäten), der Analyse von Varianten, Root-Causes von Prozessverläufen oder der Erzeugung von Kennzahlen (engl. (Key) Performance Indicators KPI). Performance Analysis wurde früher häufig als Process Enhancement bezeichnet und hat

wissensbasierte Prozessmodelle mithilfe der Daten angepasst. [vdA16, S. 32f. und S. 303, AAM+12, vdA22, S. 23ff.]. **Advanced PM** fasst mindestens drei weitere Typen zusammen: Comparative PM, Predictive PM und Action-Oriented PM. Comparative PM vergleicht zwei Event Logs aus unterschiedlichen Prozessen, bspw. zwei Standorte oder Unternehmen. Predictive PM hat zum Ziel unterschiedliche Aspekte über einen Prozessverlauf vorherzusagen, bspw. das nächste Event. Action-Oriented PM hat zum Ziel, einen Prozessverlauf aktiv zu manipulieren. In der industriellen Praxis ist Advanced PM nur sehr vereinzelt ausgeprägt und nicht jedes PM Tool am Markt unterstützt diese Fähigkeiten. [vdA22, S. 23ff., Rei20, S. 49-196].

Es ist hervorzuheben, dass die **Haupttechniken und Typen keine Algorithmen darstellen** und auch keine Anwendungsfälle des PMs sind. Vielmehr lassen sich die PM Techniken mit den Data Analytics Stufen deskriptiv, prädiktiv und präskriptiv vergleichen [SSE+14], da sie aufeinander aufbauen und unterschiedliche Zielsetzungen verfolgen. Jede Haupttechnik besitzt eine Vielzahl von Unterklassen, die wiederum dedizierte Algorithmen besitzen. Im Conformance Checking lassen sich bspw. mindestens drei Klassen von Algorithmen unterscheiden: token-basierte (mittels Petri Netzen), alignments (Identifikation von Abweichungen durch Verschiebung von beobachtetem und möglichem Verhalten von Traces¹⁴) und regelbasierte (Ableitung von allgemeingültigen Regeln in Prozessmodellen) [CvW22]. Ein implementierter Algorithmus für token-based Conformance Checking ist bspw. ROZINAT ET AL. [Rv08]. Zum jetzigen Zeitpunkt der Forschung existiert keine Taxonomie für die Aufschlüsselung von PM Techniken, Klassen und Algorithmen¹⁵. Die Haupttechniken stellen auch keine Anwendungsfälle aus Organisationssicht dar, da bspw. Performance Analysis dafür verwendet werden kann, kontinuierliche Dashboards zu betreiben oder eine einmalige Prozessoptimierung durchzuführen.

Zur besseren Veranschaulichung wird nachfolgend auf ein **typisches Ergebnis der ersten Haupttechnik Process Discovery** eingegangen. Es existieren über 40 PM Tools. Alle diese PM Tools unterstützen die Darstellung von sogenannten „Directly-Follows-Graph“ (kurz DFG, dt. Direktfolgegraph). [vdA22, S. 29f.]. DFGs sind eine Prozessmodellart, wie auch Petri-Netze oder BPMNs (vgl. Abschnitt 2.3.1). Ein beispielhaftes mit Process Discovery entdecktes Prozessmodell ist in Bild 2-10 dargestellt.

¹⁴ Ein Trace bezeichnet die Abfolge der Events in einem Event Log. Beispielsweise *Drehen*, *Fräsen*, *Verpacken*. Die meisten Algorithmen arbeiten mit dem Trace. [AAM+12].

¹⁵ Das hat auch zur Folge, dass manchmal von Typen und manchmal von Techniken gesprochen wird. Es gibt keine Klarheit darüber, was für Ansätze genau dem PM zuzuordnen sind und welche nicht.

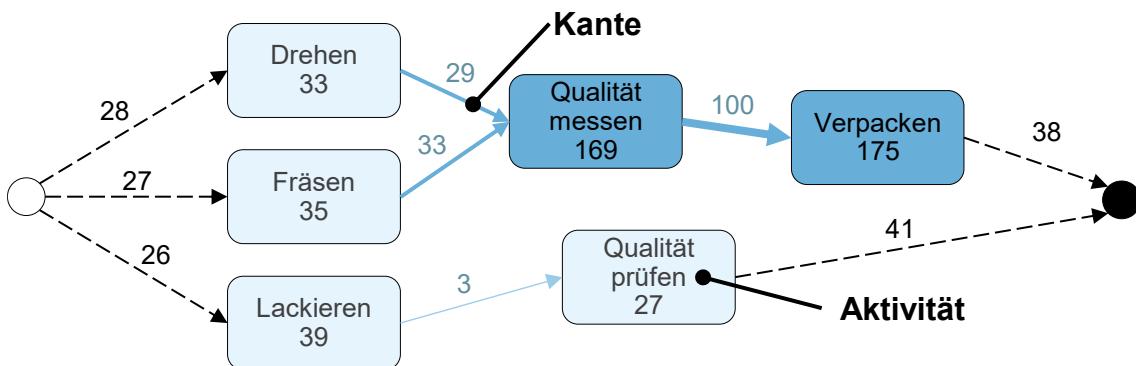


Bild 2-10: DFGs sind ein typisches Ergebnis der Process Discoveries

Ein DFG besteht aus einem Start und einem Endpunkt, sowie mehreren **Aktivitäten**, die über Kanten miteinander verbunden sind. Wie der Name „Directly-Follows-Graph“ suggeriert, verbinden die **Kanten** nur Aktivitäten miteinander, die direkt aufeinander folgen. In Bild 2-10 bspw. folgt auf die Aktivität „Drehen“ genau 29-mal die Aktivität „Qualität messen“ im Event Log. DFGs werden von kommerziellen Tool-Anbietern verwendet, weil DFGs zum einen wenig Berechnungszeit benötigen und zum anderen, weil sich Komplexität leicht durch Filterung reduzieren lässt [LPW19, vdA19, vdA22, S. 10]. So werden bspw. häufig nur n-Prozent der Kanten angezeigt.

DFGs sind starker Kritik ausgesetzt, da eine **Vielzahl an Limitationen** existieren. Dadurch, dass nur direkt aufeinanderfolgende Aktivitäten abgebildet werden, können Parallelitäten und bedingte Abfolgen nur schwer dargestellt, bzw. abgelesen werden. Außerdem entstehen durch die angewendeten Filter häufig Fehler in den Kennzahlen. In Bild 2-10 gehen bspw. nur drei Prozessinstanzen in die Aktivität „Qualität prüfen“ ein, obwohl diese 27-mal ausgeführt wird. So führt bspw. das Auslassen einer Aktivität zu veränderten Wartezeiten zwischen zwei nun angrenzenden Aktivitäten. Da DFGs jedoch leicht zu berechnen und zu interpretieren sind, sind sie bis heute die Standard-Darstellung in kommerziellen PM Tools. [LPW19, vdA19, vdA22, S. 10]. Im Anhang A1.5 finden sich noch weitere typische Ergebnisse des PMs und anderer Haupttechniken.

Fazit: PM bietet aus technologischer Sicht ein neues Repertoire an Algorithmen und Ansätzen zur Analyse von Prozessen auf Basis von Daten. Durch einen starken Fokus auf die Erforschung neuer Algorithmen ist ein verschachteltes System an Algorithmen, Unterklassen von Algorithmen und Techniken entstanden. Diese erschweren den Anwendern die Identifikation von Nutzungsmöglichkeiten. Ferner stellen kommerzielle PM Lösungen häufig nur eine spezifische Auswahl an Features zur Verfügung, die wie im Fall der DFGs offensichtliche Limitationen haben, aber trotzdem implementiert werden. Die zu entwickelnde Systematik muss daher eine Hilfestellung sowohl bei der Identifikation von Nutzungsmöglichkeiten als auch bei der Durchführung von Analysen liefern.

2.4.3 Process Mining Projekte und Use Cases

Die Nutzung von PM in der industriellen Praxis hat einen Projektcharakter [vLL+15, KDF+22, MRB+13]. Ähnlich wie CRISP-DM [She00]¹⁶ in datenwissenschaftlichen Projekten, finden sich auch im PM diverse Vorgehensmodelle zur Durchführung von Projekten, auf die in Abschnitt 3.1.1 bzw. im Anhang A2.1 genauer eingegangen wird. Die Vorgehensmodelle unterscheiden sich in ihrem Aufbau, ihren Inhalten und den Zielsetzungen teils stark. ZUIDEMA-TEMPEL ET AL. [ZEv22] und EMAMJOME ET AL. [EAt19] vergleichen verschiedene Vorgehensmodelle¹⁷. Eine zusammenfassende Darstellung der wesentlichen Schritte ist in Bild 2-11 dargestellt.

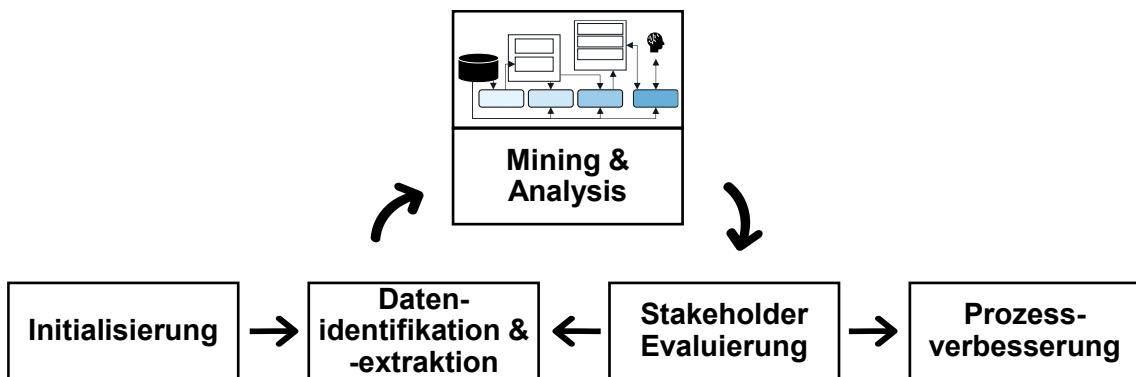


Bild 2-11: Typische Phasen eines PM Projekts in Anlehnung an [ZEv22, EAt19]

In der Phase **Initialisierung** werden die Rahmenbedingungen für das Projekt definiert. Dies umfasst bspw. die Identifikation von relevanten Stakeholdern, die Auswahl des zu untersuchenden Prozesses, oder das Verbinden der Ziele der Fachabteilung mit denen des PM Projekts. [ZEv22, EAt19]. Die Literatur kennt drei Orientierungen in PM Projekten: Daten, Ziele und Fragen [vdA16, S. 394]. Datenorientierte Projekte sind explorative Projekte, in denen mithilfe der verfügbaren Daten neue Erkenntnisse über einen Prozess gewonnen werden [vdA16, S. 394]. Zielorientierte Projekte haben zum Auftrag, einen Prozess hinsichtlich einer KPI zu optimieren [vdA16, S. 394]. Fragenorientierte Projekte beantworten spezifische Fragen über einen Prozess, bspw. warum Prozesse am Wochenende länger dauern [vdA16, S. 394]. Fragenorientierte Projekte gelten als einsteigerfreundlich [vdA16, S. 395], und es existieren verschiedene Ansätze im Stand der Technik, die Fragen als zentralen Arbeitsgegenstand haben (vgl. bspw. Abschnitt 3.2.1).

In der Phase **Datenidentifikation & -extraktion** geht es um das Erstellen eines Event Logs. Dafür können verschiedene Aktivitäten durchgeführt werden, wie das eigentliche

¹⁶ Das allgemeine Vorgehensmodell für Datenprojekte CRISP-DM wird im Anhang A2.1.6 erläutert.

¹⁷ Die Autoren vergleichen nur die inhaltlichen Arbeitsschritte. Es findet keine Analyse von zusätzlich angesprochenen Komponenten wie Rollenprofilen statt. Typische Rollen in PM Projekten werden im Rahmen der Organisation im nächsten Abschnitt 2.4.4 angesprochen.

Abfragen der Daten aus den Datenbanken, das Verstehen der Daten und das abschließende Verarbeiten der Roh-Daten in einen Event Log. [ZEv22, EAt19].

In der Phase **Mining & Analysis** wird das eigentliche PM durchgeführt. Dafür können verschiedene Haupttechniken angewendet werden, bspw. Process Discovery, Conformance Checking oder die Performance Analyse. Dies kann auch die Entwicklung von Dashboards umfassen. [ZEv22, EAt19].

In der Phase **Stakeholder Evaluierung** werden die Ergebnisse mit der in der Initialisierung definierten Zielsetzung abgeglichen. Dafür müssen die Ergebnisse den richtigen Stakeholdern präsentiert werden. Hier gilt es vor allem die Plausibilität der Ergebnisse sicherzustellen. Je nach Einschätzung kann eine neue Iteration notwendig werden, für die neue Daten extrahiert oder andere Analysen durchgeführt werden müssen. [ZEv22, EAt19].

Schlussendlich erfolgt die eigentliche **Prozessverbesserung**. Dafür müssen die evaluier-ten Ergebnisse in Maßnahmen zur Prozessleistungssteigerung übersetzt werden. Maßnahmen können priorisiert und bewertet werden. [ZEv22, EAt19].

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass PM Projekte sehr ähnlich zu existierenden Datenprojektvorgehen wie dem CRISP-DM ablaufen. Beide Projektarten setzen auf Daten und müssen dementsprechend die Domäne verstehen, sowie Daten vorverarbeiten. Beide sind iterativ. Wesentlicher Unterschied ist das Resultat. Während im CRISP-DM als Ergebnis das Deployment eines Modells steht, drehen sich PM Projekte um die Identifikation von Prozessverbesserungen oder die Unterstützung der Ausführung von Prozessen. Die eigentliche Prozessverbesserung ist häufig ein Folgeprojekt [She00, vLL+15, EAt19, ZEv22].

Die Bearbeitung der Projekte erfolgt zur **Realisierung eines Use Cases**. In der Literatur existiert jedoch kein einheitliches Verständnis von PM Use Cases. Viele Autoren verwenden den Begriff unterschiedlich oder sogar ohne ihn zu definieren [DRG21, EHZ+23, MMF+22, LBB+22]. Tabelle 2-1 fasst einige gängige Definitionen bzw. Verwendungsweisen des Begriffes PM Use Cases zusammen. Es lassen sich vier Verständnisarten feststellen: die technologische, die prozessuale, die ergebnisorientierte und die sonstige. Die technologische Sicht ist die älteste und versteht einen PM Use Case als die Verwendung von PM Tools, bspw. das Anzeigen des IST-Prozessmodell. Die prozessualen Definitionen verstehen einen PM Use Case als den (Geschäfts-) Prozess auf den PM angewendet wird. Dabei wird die verwendete PM Technik nicht differenziert und der Mehrwert in Form von Prozesshäufigkeiten und -relevanzen bemessen.

Tabelle 2-1: Übersicht der in der Literatur verwendeten Definition von PM Use Cases. Die (Verständnis-) Art kann technisch (T), prozessorientiert (P), ergebnisorientiert (E), oder sonstige (S) sein

| Art | Quelle | Definition eines PM Use Cases |
|-----|-------------------|--|
| T | AILENEI ET AL. | <p><i>“As process mining use cases we consider typical applications of process mining functionality in a practical situation.”</i> [ARE+12, S. 1].</p> <p>Die Autoren verstehen PM Use Case im Sinne der Softwareentwicklung als die Funktion, die ein PM Tool bietet. [ARE+12, S. 1f.].</p> |
| | MILANI ET AL. | <p><i>“[...] Within each of the above categories [transparency, efficiency, quality, compliance, and agility], process mining use cases [like process model discovery] can answer descriptive, comparative, explanatory, or recommendatory questions.”</i> [MLM+22, S. 277].</p> <p>Die Autoren definieren den Begriff PM Use Case nicht aktiv, verstehen PM Use Case aber als die verwendeten PM Techniken, deren Einfluss auf KPI und dem beantworten von Fragen [MLM+22, S. 270f.].</p> |
| P | EGGERS ET AL. | <p><i>“PM can be applied to any process providing event data [...], which challenges organizations to identify and assess PM use cases [...]”</i> [EHZ+23, S. 3].</p> <p>Die Autoren definieren den Begriff PM Use Case nicht aktiv, verstehen einen PM Use Case aber als den Prozess, auf den PM angewendet wird [EHZ+23, S. 7].</p> |
| | ROTT UND BÖHM | <p><i>“[...] Prioritizing use cases is essential [...], and organizations usually don't have the resources to apply PM to all core processes from the start”</i> [RB22, S. 2].</p> <p>Die Autoren definieren den Begriff PM Use Case nicht aktiv, verstehen einen PM Use Case aber als den Prozess, auf den PM angewendet wird [RB22, S. 10].</p> |
| E | VAN DER AALST | <p><i>“[...] use cases for process mining refer to a combination of KPIs and improvement actions”</i> [vdA16, S. 391].</p> <p>Der Autor definiert PM Use Case als den Einsatz von PM, um Handlungsmaßnahmen abzuleiten, die sich messbare auf die KPI auswirken [vdA16, S. 391f.].</p> |
| | BADAKHSHAN ET AL. | <p><i>“We encountered differences in objectives for the usage of process mining technology [...] [like a focus] on non-monetary values, specifically the improvement of customer satisfaction [...]”</i> [BWG+22, S. 14].</p> |

| Art | Quelle | Definition eines PM Use Cases |
|-----|-----------------|--|
| | | Die Autoren definieren den Begriff PM Use Case nicht aktiv, ordnen PM aber in die Theorie des Angebotscharakters ¹⁸ ein. Drei Arten von Mehrwerten für eine Organisation werden identifiziert: prozesseffiziente, monetäre und nicht-monetäre. [BWG+22, S. 33]. |
| | REINKEMEYER | <i>„Purpose implies a clear understanding of what Process Mining shall be used for, i.e., which use case shall be investigated. [...] An idea is to be formulated first: what shall be achieved and how the tool can contribute.“</i> [Rei20, S. 15] |
| | VAN DER LIN-DEN | Der Autor versteht PM Use Cases als die Erreichung des Zwecks des Einsatzes von PM. Der Zweck ist das Verständnis der Organisation, wofür PM eingesetzt wird [Rei20, S. 15]. |
| S | KERREMAS ET AL. | <i>„[...] We used four key use cases that we believe are important to a process mining audience that vendors need to support [...]“</i> [KIS+23, o. S.]. |
| | | Die Autoren definieren vier Key Use Cases für PM in Organisationen: Prozessoptimierung, Auditierung, Automatisierung und Digitale Transformation. [KIS+23, o. S.]. |

Die ergebnisorientierten Ansätze sind am homogensten in ihrem Verständnis. Häufig wird die Perspektive der Organisation eingenommen und über das Erreichen von Kennzahlen, Zielen oder monetären Mehrwerten der Einsatz von PM verstanden. Im Gegensatz zu den Ansätzen in der Forschung definiert das Marktforschungsinstitut Gartner (Definition von KERREMAS ET AL.) vier primäre Use Cases, die für Unternehmen relevant sind. Diese in Tabelle 2-1 als sonstige aufgeführte Kategorisierung findet gelegentlich Verwendung in der Literatur [GMO+21, vJM+21].

¹⁸ In der Theorie des Angebotscharakters (engl. Theory of Affordance) haben Technologien unterschiedliche Nutzungsszenarien, die wahrgenommen werden können. Mehr Details zu der Studie im Anhang A1.4.

Fazit: PM Projekte sind insbesondere im Vorgehen vergleichbar mit klassischen Vorgehensmodellen wie CRISP-DM. Wesentliches Unterscheidungsmerkmal ist das erzeugte Ergebnis. Während im CRISP-DM als Ergebnis das Deployment eines Modells steht, drehen sich PM Projekte um Prozessverbesserungen oder die -unterstützung. Folglich ergibt sich ein breites Anwendungsspektrum in Projekten. Es existiert keine eindeutige Definition eines PM Use Cases in der Literatur. Dies muss bei der Entwicklung der Systematik berücksichtigt werden.

2.4.4 Process Mining in der Organisation

Häufig wird PM nicht nur einmalig in einem Projekt eingesetzt, sondern kontinuierlich von einem dedizierten Team durchgeführt. Dieses wird häufig als eine PM Initiative oder als das Center of Excellence bezeichnet (vgl. Abschnitt 2.1.4). Die Bündelung von PM Kompetenzen in dedizierten Teams und das Durchführen von mehreren PM Projekten hat den Grund der Effizienzsteigerung [GW21, RGE+22]. Dies hängt bspw. mit der Minimierung des Datenextraktionsaufwands zusammen, wenn regelmäßiger auf Datenquellen zugegriffen wird [vC22, S. 498f.]. Der Zusammenhang von einzelnen Projekten und dem Management der gesamten PM Initiative ist in Bild 2-12 dargestellt.

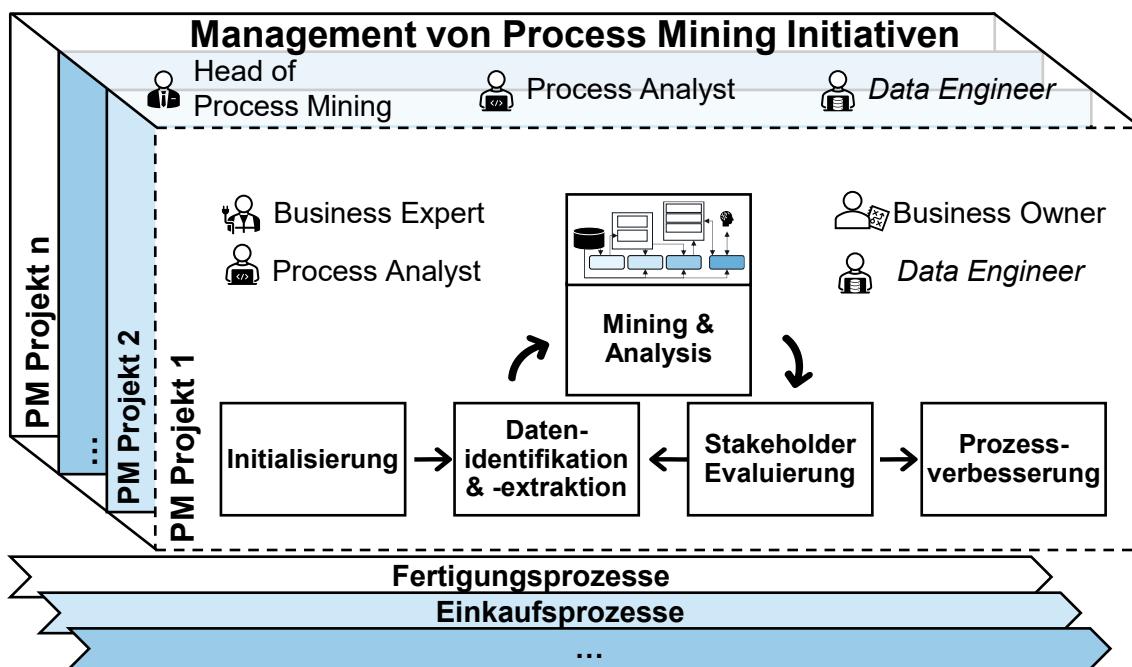


Bild 2-12: Der Zusammenhang von PM Projekten, notwendigen Rollen und dem Management von PM Initiativen in Anlehnung an [vLL+15, KDF+22, Fis23]

PM Projekte werden für einen dedizierten Prozess entlang eines Vorgehensmodells durchgeführt (vgl. Abschnitt 2.4.3). Der Prozess kann unterschiedlich groß geschnitten sein, da auch bspw. ganze End-To-End Prozesse betrachtet werden könnten. PM Initiativen können mehrere Projekte durchführen, was in Bild 2-12 durch die Projekte 1 bis n abgebildet ist. Projekte können sich auf unterschiedliche Prozesse beziehen wie

Fertigungs- oder Einkaufsprozesse. Es ist auch möglich, Projekte bspw. mit unterschiedlichen Zielsetzungen für den gleichen Prozess mehrmals durchzuführen. [AAM+12, GW21, RGE+22].

In PM Initiativen existieren verschiedene **Rollen**, die unterschiedliche Aufgaben und Zuständigkeiten haben. Die Anzahl der Rollen und die genauen Zuständigkeiten hängen direkt mit der Größe der PM Initiative zusammen. Dennoch lassen sich einige grundlegende Muster feststellen. Typischerweise finden sich eine Führungsperson (*Head of PM* oder *Center of Excellence Lead*), mehrere Analyse-Experten (*Process-, Data Analyst oder PM Experte*), mehrere Daten-Experten (*Data Engineer* oder *System Expert*) sowie verschiedene Rollen aus dem Business (*Process Owner, Fach- oder Prozessexperten*). Die **Führungsperson** ist primär dafür verantwortlich, die PM Initiative anzuführen, indem ein kontinuierlicher Zufluss von PM Projekten sichergestellt wird, mit Fachabteilungen kommuniziert wird und die anderen Mitglieder der PM Initiative koordiniert werden. Bei der Etablierung von PM in Organisationen ist die Führungsperson typischerweise ein gut vernetzter Advokat für Veränderung, der PM verstanden hat und kommunizieren kann. Folglich kann die Führungsperson auch mit PM Tools umgehen und kennt die Funktionsweise von PM sehr gut. Die Führungsperson ist primär im Management der PM Initiative vertreten und eher selten aktiv an Projekten vertreten. Die **Analyse-Experten** hingegen bearbeiten die PM Projekte. Dafür sind sie nicht nur gut im Umgang mit PM Tools und mit den Funktionsweisen vertraut, sondern können auch Daten vorverarbeiten, Ergebnisse präsentieren und Projekte managen. Die Analyse-Experten sind zudem vertraut mit Wissen aus dem klassischen Prozessmanagement, bspw. der Prozessmodellierung. Sie arbeiten eng mit den **Daten-Experten** zusammen. Daten-Experten sind technisch versiert. Sie kennen die eingesetzten IT-Systeme, können Datenbankabfragen durchführen und häufig programmieren, bspw. in Python. Auch die Daten-Experten sind vertraut mit PM Tools und der grundlegenden Funktionsweise. Sowohl der Analyse- als auch der Daten-Experte sind, je nach Größe, typischerweise im Team der PM Initiative beschäftigt. Abgerundet werden PM Initiativen durch die kontinuierliche Zusammenarbeit mit Fachexperten. In Organisationen mit einem stark ausgeprägten BPM Governance (vgl. Abschnitt 2.3.3) existiert typischerweise ein sogenannter Process bzw. **Business Owner**. Dieser verantwortet den Prozess und muss Veränderungen freigeben. PM Initiativen müssen fortlaufend mit Experten aus Fachabteilungen zusammenarbeiten, um bspw. die Domäne zu verstehen, Probleme zu identifizieren oder Ergebnisse zu besprechen. Daher sind Domänen-spezialisten (**Business Experts**) regelmäßiger Bestandteil von PM Projekten. [vLL+15, KDF+22, RGE+22].

In der Praxis haben sich zwei Arten der **organisatorischen Verankerung** etabliert: die Zentrale und die Hybride. In einer zentralen Verankerung existiert die gesamte PM Initiative in einer bestehenden Abteilung. Diese bündelt die gesamten Aktivitäten und zieht nach Bedarf Ressourcen von außerhalb hinzu. REINKEMEYER ET AL. [RGE+22] berichten,

dass Celonis-Kunden¹⁹ die Initiative am häufigsten in der IT-Abteilung verankert haben. In einer hybriden Verankerung existiert die Initiative zwar primär auch in einer Abteilung, es existieren jedoch noch mehrere weitere Initiativen in einer oder mehreren anderen Abteilungen. In der Praxis bedeutet dies meist, dass die primäre PM Initiative Wissen aus allen anderen Initiativen sammelt, aufbereitet und zur Verfügung stellt. Die Autoren berichten, dass 67 % der PM Initiativen in ihrer Umfrage zentral verankert sind. [RGE+22].

Die Studie von REINKEMEYER ET AL. [RGE+22] identifiziert des Weiteren drei verschiedene **Ausprägungsstufen der Zuständigkeiten** von PM Initiativen. In der ersten Ausprägungsstufe stellt die Initiative nur das Tool bereit (Software as a Service). In der zweiten Stufe wird PM als eine Dienstleistung angeboten, um datenbasierte Einblicke in die Prozesse zu gewähren (PM as a Service). Fachabteilungen oder dedizierte BPM Abteilungen können darauf zurückgreifen. In der dritten Ausbaustufe fungiert die PM Initiative als Operational Excellence Abteilung, welche mit der Transformation der Organisation beauftragt ist (Execution Management as a Service). [RGE+22].

Hinsichtlich der Ausbaustufe zwei, in der **PM als eine Dienstleistung in der Organisation** angeboten wird, existieren diverse Schnittstellen zu verschiedenen übergeordneten Initiativen in einer Organisation (vgl. Abschnitt 2.3.2). Im BPM Lebenszyklus (vgl. Bild 2-7) kann PM insbesondere bei der Prozessentdeckung [vdA16, S. 163], der Prozessanalyse [LMD23] und dem Monitoring [DLM+18, S. 419] unterstützen. Durch PM wächst der BPM Lebenszyklus stärker zusammen, da die Ausführung von Prozessen (Datenerhebung) und die Analyse dieser Prozesse (Datennutzung) verschmelzen [vdA16, S. 30ff.]. Im datenbasierten Six Sigma kann PM in verschiedenen Phasen des DMAIC-Zyklus (vgl. Abschnitt 3.1.2 und Anhang A1.2) unterstützen. PM kann dabei insbesondere bei der Definition (datenbasierte Eingrenzung der Probleme), der Analyse (Analyse der Symptome) und dem Kontrollieren (Validierung der Prozessverbesserung) unterstützen [GTP+21]. Im Lean Management sind Unterstützungen in zentralen Methoden wie der Prozess-Map [HFS21, S. 49ff.] oder der Handlingstufen-Analyse [HFS21, S. 72ff.] denkbar, jedoch findet noch kein wissenschaftlicher Diskurs diesbezüglich statt. Hinsichtlich der im Lean Management weitverbreiteten Wertstromanalyse [HFS21, 55–65] gibt es erste Berichte über die Unterstützung mit PM [Kno21, MBB20, NZP+21], die jedoch noch nicht den vollen Umfang und den Aufbau der klassischen Wertstromanalyse annehmen.

Organisationen stehen vor einer **Vielzahl von allgemeinen Herausforderungen** bei der Nutzung von PM. In der Literatur finden sich zahlreiche systematische Literaturrecherchen [EAt19, TFB18, ZSA21], Interviewstudien [KDF+22, SLE+20], Umfragen [CP13], Fokusgruppen [GMO+21], Case Studies [SM19], oder Delphi-Studien [MFK+21] zum

¹⁹ Lars Reinkemeyer ist Vice President of Customer Transformation bei Celonis, einem der führenden Anbieter von PM Tools. Die Studie wurde in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer FIT durchgeführt.

Thema Herausforderungen von PM in Organisationen²⁰. In Tabelle 2-2 sind die aufgeworfenen Herausforderungen nach den Dimensionen Mensch-Technik-Organisation (MTO) nach Ulich [Uli13] dargestellt. Es sind nur Herausforderungen dargestellt, die von mehreren Quellen explizit als Herausforderung adressiert wurden. Die vollständige Auflistung findet sich im Anhang A1.6. Nachfolgend werden einige Herausforderungen kurz erläutert.

Tabelle 2-2: Übersicht von identifizierten Herausforderungen von PM in Organisationen

| Mensch | Technik | Organisation |
|--|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Ausbau von technischen Fähigkeiten [MFK+21, SLE+20]. • Notwendige Teamzusammensetzung [MFK+21, TFB18]. • Erhöhung der Verständlichkeit für Nicht-PM Experten [AAM+12, SLE+20]. | <ul style="list-style-type: none"> • Nutzung von PM für domänenpezifischere Anwendungsfälle (bspw. Sensordaten) [ZSA21, TFB18]. • Verbesserung des Analysevorgangs und Auswahl geeigneter Algorithmen [GMO+21, MFK+21, CP13, EAt19]. • Umgang mit komplexen Event Logs, Prozessen und Kontextdaten [AAM+12, SLE+20]. • Verbindung von PM mit anderen Analyseformen [AAM+12, TFB18]. • Nutzung von mehr IT-Quellen [GMO+21, AAM+12, TFB18]. • Erleichterung des Zugriffs auf Daten [MFK+21, CP13, AAM+12]. • Erhöhung der Datenqualität [MFK+21, KDF+22]. | <ul style="list-style-type: none"> • Quantifizierung des (monetären) Mehrwertes [GMO+21, MFK+21, TFB18]. • Implikationen auf das Geschäftsklima (bspw. Misstrauen gegenüber einer permanenten Überwachung) [GMO+21, TFB18, KDF+22]. • Erreichung einer Prozess- und Datenorientierung [MFK+21, SLE+20]. • Durchführung von organisationsübergreifendem PM [ZSA21, AAM+12, TFB18]. • Verwaltung des Datenbesitzes [GMO+21, SLE+20]. |

²⁰ Es existieren noch weitere aggregierende Studien zum Thema PM im Fertigungsumfeld. Auf diese wird gesondert in Abschnitt 2.4.5 bzw. Tabelle 2-3 eingegangen.

Zunächst lässt sich festhalten, dass sich der lange Fokus der PM Forschung auf Algorithmen (vgl. Abschnitt 2.4.1) auch in den Herausforderungen widerspiegelt. Das lässt sich bspw. daran erkennen, dass sehr wenige Herausforderungen in der Dimension **Mensch** identifiziert wurden, die zudem noch sehr generisch sind (bspw. Ausbau von technischen Fähigkeiten). Gleichzeitig wird in der Dimension **Technik** eine Notwendigkeit der Verbesserung des Analysevorgangs und der Auswahl von Algorithmen durch vier Publikationen festgestellt. In der Dimension Technik lohnt sich zudem ein Blick in die Publikationen: bereits die IEEE TASK FORCE ON PM [AAM+12] stellt im PM Manifest fest, dass das Identifizieren und Extrahieren von Daten eine zentrale Herausforderung des PMs ist. CLAES UND POELS [CP13] unterstreichen diesen Bedarf in einer umfassenden Studie ein Jahr später. MARTIN ET AL. [MFK+21] stellen acht Jahre später mit Bedauern fest, dass diese Herausforderung immer noch aktuell ist²¹. VAN DER AALST UND CARMONA fassen pointiert zusammen:

“Finding, extracting, and transforming event data is still taking up to 80% of the [PM project] time.” [vC22, S. 500].

MARTIN ET AL. [MFK+21, S. 523] kommen daher zu dem Schluss, dass es mehr Hilfestellungen für Anwender bei der Bearbeitung von PM Projekten benötigt. Eine ähnliche Schlussfolgerung ziehen EMAMJOME ET AL. [EA19, S. 143], die explizit zu der Erforschung von Leitfäden für individuelle Domänen aufrufen. STEIN ET AL. [SLv+24] identifizieren auch den Aufwand der Datenvorverarbeitung und im Allgemeinen die Datenqualität als eine Hauptursache für das Scheitern von PM Initiativen und fordern mehr Hilfestellungen.

In ähnlicher Weise hält sich in der Dimension **Organisation** die Herausforderung des organisationsübergreifenden PMs hartnäckig seit der Veröffentlichung des PM Manifests [AAM+12]. Da End-To-End-Prozesse (vgl. Abschnitt 2.3.1) typischerweise bei Kunden beginnen und aufhören, sollte PM nicht nur die Prozesse eines Unternehmens analysieren und optimieren, sondern die gesamte horizontale Wertschöpfung (vgl. Abschnitt 2.2.2) abdecken. Des Weiteren treffen neue technologische Möglichkeiten (vgl. Abschnitt 2.4.2) auf eine stark ausgeprägte Governance-Struktur im BPM (vgl. Abschnitt 2.3.3). Dadurch entstehen natürlicherweise Fragen hinsichtlich bspw. der Verwaltung des Datenbesitzes. Abschließend lässt sich festhalten, dass es Organisationen schwerfällt, Mehrwerte für sich zu bestimmen und zu quantifizieren (vgl. Abschnitt 2.4.3). Mehrere Autoren stellen deshalb fest, dass die Auswahl und die Bewertung von PM Projekten Organisationen vor große Herausforderungen stellen [MFK+21, GMO+21].

Fazit: PM kann als ein fester Bestandteil in der Organisation verankert werden und z. B. aktiv als Dienstleister für datenbasierte Analysen oder Prozessverbesserungen auftreten. PM Initiativen stehen im Allgemeinen vor vielen Herausforderungen. Hier sind

²¹ „However, a noteworthy observation is that the most frequently raised limitations by Claes and Poels (2013), a study dating back to early 2012, are still relevant today” [MFK+21, S. 523].

insbesondere die Schwierigkeiten bei der Identifikation von mehrwertstiftenden Anwendungsfällen und die zeitaufwändige, wenig methodisierte Datenidentifikation und -vorverarbeitung zu nennen. Diese Herausforderungen sind zwar nicht fertigungsspezifisch, müssen jedoch von der zu entwickelnden Systematik zu berücksichtigt werden.

2.4.5 Anwendung von Process Mining in Fertigungsprozessen

Neben den allgemeingültigen Herausforderungen von PM in Organisationen existieren auch spezielle Herausforderungen bei der Anwendung von PM in Fertigungsprozessen. Denn PM wird seltener in der Fertigung angewendet [EAt19]. Typischerweise werden mit PM eher Prozesse des Einkaufs oder des Vertriebs untersucht²². Um dieses Phänomen und die zugrundeliegenden Herausforderungen genauer zu verstehen, werden nachfolgend zunächst die Charakteristiken der Fertigung in Abgrenzung zu anderen Domänen herausgearbeitet. Anschließend werden dann die Herausforderungen von PM in der Fertigung anhand von Case Studies und Literaturrecherchen dargelegt.

Charakteristiken von Fertigungsprozessen in Abgrenzung zu anderen Domänen

Die Anwendung von PM in der Fertigung lässt sich durch fünf **Aspekte charakterisieren** und gegenüber anderen Domänen abgrenzen:

- den existierenden **Datenquellen**
- den verwendeten **IT-Systemen**
- den involvierten **Ressourcen**
- der Anzahl der **Organisationen**
- und sonstigen **Eigenschaften**

Hinsichtlich der **Datenquellen** existiert in der Feldebene eine große Anzahl an Sensoren und Aktoren. Diese Sensoren und Aktoren nehmen die eigentliche Wertschöpfung wahr und beeinflussen diese aktiv (vgl. Abschnitt 2.2.1).

Auch die primär verwendeten **IT-Systeme** unterscheiden sich in den Domänen der Produktentwicklung, Produktionsplanung und -steuerung (PPS), Fertigung und Logistik²³ stark (vgl. Abschnitt 2.2.1 insbesondere Bild 2-1). Während in der Produktentwicklung bspw. PLM-Systeme zum Einsatz kommen, sind in der Logistik häufig die ERP-Systeme führend. In der Fertigung beanspruchen das MES die relevanten IT-Systeme zu sein. [GP14, 373–380]. Da durch die vierte industrielle Revolution die Grenzen zwischen den

²² Diese Prozesse gelten häufig auch als „Einsteiger“ Prozesse für das PM, da bspw. in großen ERP-Lösungen wie SAP die Tabellennamen in jedem Unternehmen gleich sind [AL22, S. 212ff., Rei20, S. 13].

²³ Logistik in dieser Arbeit bezeichnet den Transport innerhalb der Wertschöpfungskette, sprich vom Lieferanten und zum Kunden [GP14, S. 32]

IT-Systemen immer weiter verschwimmen (vgl. Abschnitt 2.2.2), sind IT-Systeme allein jedoch kein ausreichendes Kriterium die Anwendungsdomänen zu charakterisieren. Eine Studie des Marktforschungsinstituts Forrester identifizierte diverse IT-Systeme in denen PM in Unternehmen angewendet wurden [For22]. Das ERP-System ist mit 72 % führend. MES finden sich nicht in der Liste [For22].

Ein weiteres wichtiges Unterscheidungskriterium sind die involvierten **Ressourcen** in den Prozessen. Im Zuge der dritten und vierten industriellen Revolution soll jede Arbeit durch Computer (-programme) unterstützt werden. In der Fertigung jedoch beschränkt sich diese Interaktion nicht nur auf die Mensch-Computerprogramm-Interaktion, sondern vor allem auf das Zusammenspiel von physischen Systemen, wie Maschinen und Anlagen, und dem Menschen. Die Mensch-Maschine-Interaktion ist vor allem für die Logistik und Fertigung relevant, wohingegen in der Produktionsplanung und -steuerung, sowie der Produktentwicklung typischerweise keine physischen Maschinen zum Einsatz kommen. [RLD20, Pfe16].

Hinsichtlich der Anzahl der **Organisationen** grenzt sich die Fertigung bspw. von der Logistik dadurch ab, dass eine Fertigung in Form einer Fabrik nur an einem Standort existiert²⁴. An Logistikprozessen, insbesondere im Sinne der horizontalen Integration (vgl. Abschnitt 2.2.2), sind jedoch typischerweise mehrere Unternehmen in Form von Logistikdienstleistern, Zulieferern und Kunden beteiligt. Die zentrale Herausforderung des inter-organisationalen PMs spielt somit keine Rolle in der Fertigung. [ES96, 9-1 ff., Rei20, S. 21f., AAM+12].

Schlussendlich lassen sich die verschiedenen Domänen noch durch sonstige **Eigenschaften** charakterisieren. Nach LÖHR ET AL. sind Prozesse der Fertigung und der Produktentstehung wissensintensiv [LBB+22]. Prozesse werden als wissensintensiv bezeichnet, wenn die Prozesse viel (implizites) Wissen benötigen, schwer zu automatisieren sind und unstrukturiert ohne Workflows ablaufen. Wissensintensive Prozesse tragen daher häufig wesentlich zum Wettbewerbsvorteil bei. Zusätzlich ist die ingenieurwissenschaftliche Auseinandersetzung mit Prozessen die älteste Einflussströmung auf das heutige Prozessmanagement (vgl. Abschnitt 2.3.2), weshalb das Management von Fertigungsprozessen bis heute stark ausgeprägt in Industriebetrieben ist [TCL+22].

Case Studies und Literaturrecherchen zu Herausforderungen

In der Literatur finden sich einige **Case Studies** zu PM in der Fertigung. Häufig wird der zeitliche Verlauf des Fertigungs- oder des gesamten Auftragsabwicklungsprozesses analysiert, um Engpässe oder Auffälligkeiten zu identifizieren [UvB+20, BWD+21, LSS+21]. Auch wird während des Anlaufs eines neuen Produkts die Entwicklung der Durchlaufzeiten über mehrere Wochen analysiert [UvB+20]. In anderen Fällen wird PM

²⁴ Fertigungsprozesse können in Unternehmen auch an mehreren Standorten existieren. In dieser Arbeit wird jedoch die örtlich gebundene Fertigung betrachtet, da andernfalls umfassendere Logistikprozesse zwischengeschaltet werden müssen (vgl. Abschnitt 2.1.2).

genutzt, um anhand von Abweichungen zwischen dem Ist- und Soll-Prozess die Ursachen für Fehler in der Fertigung zu finden [Lec20]. Hinsichtlich der verwendeten Datenquellen wird in vielen Fällen nicht über die originale Datenquelle berichtet, sondern nur der zur Verfügung gestellte Event Log dargestellt [UvB+20, RSM+22, LSS+21]. Wenn über die verwendeten Datenquellen berichtet wird, sind immer Sensordaten oder sensornahen IT-Systeme, wie SCADA (vgl. Abschnitt 2.2.1), als Datenquelle für das PM angegeben [BWD+21, Lec20].

Die Case Studies berichten jedoch auch über **Herausforderungen**. Diese lassen sich in die drei Kategorien (1) Fertigungsprozess, (2) PM Projekt und (3) PM Initiative (vgl. Bild 2-12 in Abschnitt 2.4.4) einordnen. In der Kategorie der (1) *Fertigungsprozesse* wird über die Schwierigkeiten bei der Identifikation und der Bestimmung von Mehrwerten von PM Use Cases berichtet [LSS+21, Lec20].

In der Kategorie der (2) *PM Projekte* wird von den meisten Autoren auf Probleme mit den Daten oder deren Vorverarbeitung hingewiesen [UvB+20, BWD+21, LSS+21]. Auch wird von einem hohen Bedarf an Prozess- und Datenwissen gesprochen, um bspw. verschiedene Datenquellen zusammenzuführen oder die entdeckten Prozessmodelle richtig zu interpretieren [BWD+21].

Schlussendlich wird in der Kategorie der (3) *PM Initiative* von Herausforderungen bei der Skalierung des Use Cases sowie dem allgemeinen Aufbau eines PM Teams berichtet [Lec20]. Ergänzend geht die Durchführung eines PM Use Cases mit einem hohen Koordinationsaufwand zwischen verschiedenen Prozesseignern und einem gezielten, langfristigen Datenmanagement einher [LSS+21].

Neben diesen Einzelberichten existieren auch mehrere **systematische Literaturrecherchen zu Herausforderungen** bei der Nutzung von PM in der Fertigung [DZM+21, DRG21, ASC24]. Diese sind in Tabelle 2-3 in den MTO-Dimensionen nach Ulich zusammengefasst [Uli13].

Da der Begriff und das Konzept der „Fertigung“ (vgl. Abschnitt 2.1.2) im Englischen so nicht existiert, betrachten die systematischen Literaturrecherchen in Tabelle 2-3 verschiedene Konzepte und Bereiche der Fertigung. Es wurden unter anderem der industrielle Sektor [DZM+21], das „manufacturing“ [DRG21], und die Industrie 4.0 betrachtet [ASC24]. Ferner wurde die Fertigung nach der Fertigungsart und -form (vgl. Abschnitt 2.2.1) [DZM+21], den SCOR-Prozessabschnitten²⁵ [DRG21], oder Aspekten von Industrie 4.0, wie die intelligente Fabrik oder das Geschäftsmodell [ASC24], unterteilt. Die identifizierten Herausforderungen sind somit nicht alle gleichermaßen relevant für die zu entwickelnde Systematik, weshalb die relevantesten hervorgehoben sind.

²⁵ Das Supply-Chain-Operations-Reference Modell (SCOR) kennt sechs Prozesse: Plan, Source, Make, Deliver, Return und Enable [DRG21].

*Tabelle 2-3: Forschungslücken in verschiedenen systematischen Literaturrecherchen zu PM im Fertigungsumfeld. Die in dieser Arbeit adressierten Forschungslücken sind **fett** markiert²⁶*

| Mensch | Technik | Organisation |
|--------|--|---|
| - | <ul style="list-style-type: none"> Identifikation von neuen PM Methoden spezifisch für die Fertigung [DZM+21, ASC24]. Analyse der existierenden Prozessmodellierungstechniken in der Fertigung [DZM+21]. Nutzung von mehr PM Typen in mehr Bereichen der Fertigung (bspw. Lieferung) [DRG21, ASC24]. Auswahl geeigneter Algorithmen je Prozesstyp oder Use Case [DRG21]. Entwicklung von Methoden zur Extraktion von Event-Logs aus komplexem Fertigungsumfeld [DRG21]. | <ul style="list-style-type: none"> Reifegradmodell für die Entwicklung von PM Projekten in der Fertigung [DZM+21]. Mehr organisationsübergreifendes PM [DRG21]. Nutzung von PM in mehr Anwendungsbereichen der Industrie 4.0 [ASC24]. |

Sowohl die Case Studies als auch die Literaturrecherchen stellen fest, dass die Extraktion und Vorverarbeitung von Daten aus dem Fertigungsumfeld besonders herausfordernd sind. Vor dem Hintergrund der Charakteristiken der Fertigung lässt sich feststellen, dass insbesondere die **Sensordaten** eine spezielle Datenform des Fertigungsumfelds sind. Sensordaten sind aus drei Gründen herausfordernd für das PM. (1) Erstens fehlt den Sensordaten häufig der Bezug zum übergeordneten Prozess. Selbst nach der Zusammenführung der Sensoren und Akteuren in der Steuerung müssen diese nicht zwangsläufig mit dem Produkt, Auftrag oder Produktionsschritt in Verbindung stehen. Somit fehlt häufig der Bezug zur Case ID. (2) Zweitens ist die Verbindung der feingranularen Sensordaten zu Informationen aus übergeordneten (menschlichen) Aktivitäten nicht immer klar. (3) Drittens besteht technisch häufig die Herausforderung, dass Sensordaten erst aggregiert werden müssen, bevor Rückschlüsse auf die Prozesse möglich werden. [vSv16, KJM20].

Fazit: Die Fertigung hat bspw. aufgrund seiner speziellen Datenquellen oder wissensintensiven Prozesse markante Charakteristiken, die es von anderen Domänen abgrenzt. Verschiedene Case Studies zeigen die Anwendbarkeit und den geschaffenen Mehrwert des PMs in der Fertigung, bspw. zur Analyse der Durchlaufzeiten bei einem

²⁶ Der übergeordneten Forschungsmethode folgend, muss das zugrundeliegende Problem „atomisiert“ werden. Es gibt viele Probleme in der Schnittstelle PM und Fertigung. Die vorliegende Arbeit kann und muss jedoch nur einige davon lösen (vgl. Abschnitt 1.3).

Produktneuanlauf. Jedoch bestehen verschiedene Herausforderungen bei der Anwendung. Häufig wird die zugrundeliegende Datenbasis als eine der größten Hürden bei der Bearbeitung von PM Projekten in der Fertigung gesehen. Die zerklüftete MES-Anbieterlandschaft erschwert die Entwicklung von Konnektoren, sodass Daten manuell zusammengetragen werden müssen. Damit einhergehend ist häufig viel Wissen über die zugrundeliegenden Prozesse notwendig, um adäquate Datenvorverarbeitung und Analysen betreiben zu können. Schlussendlich sind insbesondere die Sensordaten nur aufwändig im PM integrierbar. Obendrein kommen die allgemeingültigen Schwierigkeiten, wie die Identifikation von Mehrwerten oder die Entwicklung von PM Initiativen über einzelne Use Cases hinaus. Die zu entwickelnde Systematik muss diese Herausforderungen adressieren.

2.5 Problemabgrenzung

Im Zuge der vierten industriellen Revolution streben viele produzierende Unternehmen die Digitalisierung ihrer Prozesse an, was jedoch auch zu einer steigenden Komplexität führt (siehe Abschnitt 2.2.2). Um diese Komplexität zu beherrschen und Prozesse im Allgemeinen zu optimieren, betreiben Unternehmen ein Prozessmanagement. Dies ist historisch gewachsen und tief in den Ingenieurwissenschaften und der Informationstechnologie verwurzelt (siehe Abschnitt 2.3.2). In diesem Spannungsfeld von Digitalisierung, wachsender Komplexität und traditionellem Prozessmanagement eröffnet das PM als neue Technologie die Möglichkeit, Daten zur Darstellung und Analyse von Prozessmodellen zu nutzen (siehe Abschnitt 2.4.2). Die Nutzung des interdisziplinären PMs ist im Allgemeinen herausfordernd für viele Unternehmen, da bspw. die Identifikation und Skalierung von Anwendungsfällen unklar ist (vgl. Abschnitt 2.4.4). Beim Einsatz in Fertigungsprozessen ergeben sich zusätzliche Herausforderungen, zum Beispiel das Verwenden von Sensordaten (vgl. Abschnitt 2.4.5).

Es resultieren **drei Handlungsfelder**, die mit der zu erforschenden Systematik adressiert werden müssen: *Identifikation von PM Use Cases in Fertigungsprozessen* (Handlungsfeld 1), *Leistungssteigerung von PM Projekten in Fertigungsprozessen* (Handlungsfeld 2) und *Leistungssteigerung von PM Aktivitäten in Organisationen* (Handlungsfeld 3). In Bild 2-13 sind die Handlungsfelder einordnend dargestellt und werden nachfolgend erläutert.

Handlungsfeld 1: Identifikation von PM Use Cases in Fertigungsprozessen

In produzierenden Unternehmen wird die **Herangehensweise an Use Cases zur Prozessoptimierung** maßgeblich von Denkansätzen wie der Verschwendungsvermeidung aus dem Lean Management geprägt (vgl. Abschnitt 2.3.2). PM bietet im Allgemeinen für die Prozessoptimierung eine Facette an **neuen technologischen Möglichkeiten** (vgl. Abschnitt 2.4.1), was sich in den verschiedenen PM Typen (bspw. Process Discovery, Conformance Checking und Performance Analysis) und Algorithmen widerspiegelt (vgl. Abschnitt 2.4.2). Für Organisationen ergeben sich für die gleichen PM Typen je nach

Kontext somit **unterschiedliche Use Cases** (vgl. Abschnitt 2.4.3). Es existiert jedoch kein einheitliches, strukturiertes Verständnis darüber, was Use Cases des PMs für Organisationen sind (vgl. Abschnitt 2.4.3). Der **Begriff PM Use Case** wird in der Literatur unterschiedlich verwendet und beschreibt häufig lediglich den Prozess, auf den PM angewendet wird.

Handlungsfeld 1 adressiert daher die Identifikation von PM Use Cases in Fertigungsprozessen, weshalb es in Bild 2-13 in der Ebene der Fertigungsprozesse zugeordnet ist. Dafür bedarf es einer Struktur zur Beschreibung und Klassifikation von PM Use Cases in Organisationen. Aufbauend auf dieser Struktur muss es Organisationen ermöglicht werden, systematisch ihren traditionellen Denkansätzen entsprechend PM Use Cases zu identifizieren und zu bewerten.

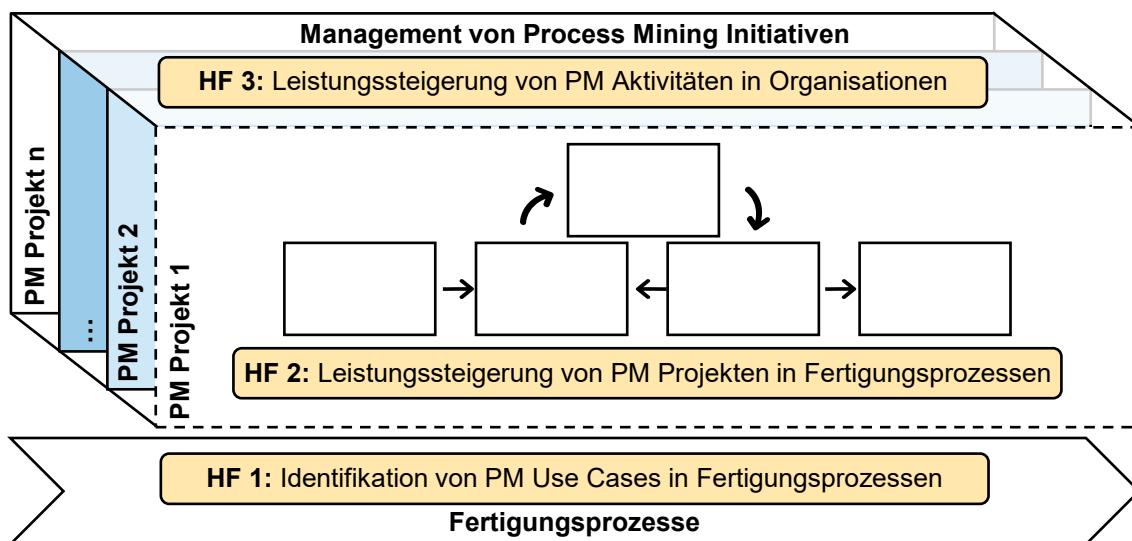


Bild 2-13: Einordnung der Handlungsfelder (HF) in Anlehnung an Bild 2-12 in Abschnitt 2.4.4

Handlungsfeld 2: Leistungssteigerung von PM Projekten in Fertigungsprozessen

Obwohl moderne Ansätze zur Optimierung von Fertigungsprozessen wie Lean Management oder Six Sigma sehr prozess- und datenorientiert sind (vgl. Abschnitt 2.3.2), gehört die Fertigung nicht zu den favorisierten Prozessen für die Anwendung von PM (vgl. Abschnitt 2.4.5). Die Gründe dafür lassen sich u. a. auf der Projektebene finden. Zum einen ist die **Datenausgangslage** in Fertigungsprozessen im Vergleich zu bspw. Einkaufs- oder Vertriebsprozessen sehr heterogen (vgl. Abschnitt 2.4.5). Dies liegt an dem unterschiedlichen Grad der Digitalisierung und der geringen Konsolidierung der IT-System Anbieter im Shopfloor (vgl. Abschnitt 2.2.1). Zusätzlich erschweren spezielle Datenformate, wie feingranulare Sensordaten, die Erstellung eines Event Logs (vgl. Abschnitt 2.4.5). Zum anderen sind **Fertigungsprozesse wissensintensiver** (vgl. Abschnitt 2.4.5). Wie jedes Datenprojekt ist auch in PM Projekten der Austausch zwischen Domänen- und PM Experten entscheidend für den Erfolg des Projekts (vgl. Abschnitt 2.4.3 und 2.4.4). Gerade im Fertigungsumfeld ist das Wissen über Fertigungsarten und -formen relevant für das

Verständnis des Prozessverlaufs (vgl. Abschnitt 2.2.1 und 2.4.5). PM Projekte müssen somit verstärkt Domänenwissen integrieren und in den verschiedenen Projektphasen nutzen. Schlussendlich ist **das Analysieren** von Fertigungsprozessen mit PM herausfordernd. Das hängt mit den besonderen Strukturen von Fertigungsprozessen zusammen, die im Allgemeinen verschachtelt und parallel ablaufen können und sich durch Nacharbeit und unterschiedliche Ausgangslagen im Verlauf stark voneinander unterscheiden (vgl. Abschnitt 2.4.5). PM Experten benötigen daher eine Unterstützung der Durchführung des eigentlichen PMs (vgl. Abschnitt 2.4.3).

Handlungsfeld 2 adressiert die Leistungssteigerung von PM Projekten in Fertigungsprozessen, weshalb es in Bild 2-13 der Ebene der PM Projekte zugeordnet ist. In den PM Projekt Phase der Daten- und Wissensextraktion, der Datenvorverarbeitung, und dem eigentlich PM bedarf es einer stärkeren Unterstützung. Diese Unterstützung muss die Besonderheiten der Fertigung beachten.

Handlungsfeld 3: Leistungssteigerung von PM Aktivitäten in Organisationen

Da **PM Projekte effizienter werden**, wenn sie kontinuierlich durchgeführt werden (vgl. Abschnitt 2.4.4), müssen Organisationen sich mit der Skalierung ihrer PM Initiative auseinandersetzen. PM ist ein interdisziplinärer Ansatz, der eine große Facette an Wissen zu unterschiedlichen Themengebieten wie Prozessen, Daten oder Algorithmen vereint (vgl. Abschnitt 2.4.1). Vermöglichlich existiert somit eine Vielzahl von Stellhebeln, um PM Projekte in Organisationen besser skalieren zu können (vgl. Abschnitt 2.4.4). Eine strukturierte Analyse der beeinflussenden Handlungsfelder, -elemente und Reifegradstufen würde Transparenz für PM Initiativen schaffen (vgl. Abschnitt 2.3.2). In Kombination mit dedizierten Handlungsempfehlungen könnte über einen Ist- und Soll-Abgleich eine gezielte Leistungssteigerung der PM Initiative in der Organisation erfolgen. Eine solche Leistungsbewertung und -steigerung müsste möglichst praxisorientiert eine präskriptive Hilfestellung bieten (vgl. Abschnitt 2.3.2).

Handlungsfeld 3 adressiert die Leistungssteigerung von PM Aktivitäten in Organisationen, weshalb es in Bild 2-13 dem Management von PM Initiativen zugeordnet ist. Unternehmen benötigen ein Reifegradmodell zur möglichst objektiven Bewertung ihrer PM Aktivitäten. Zur Operationalisierung dieses Reifegradmodells muss im Rahmen einer Leistungsbewertung und -steigerung des Weiteren eine Möglichkeit zur Bestimmung möglicher Soll-Zustände sowie möglicher Maßnahmen zur Leistungssteigerung geboten werden.

2.6 Anforderungen an eine Systematik zur Leistungssteigerung von Fertigungsprozessen durch Process Mining

Aus der Problemanalyse resultieren die nachstehend aufgeführten Anforderungen an eine *Systematik zur Leistungssteigerung von Fertigungsprozessen durch PM*.

Übergeordnete Anforderung:

Übergeordnete Anforderungen sind allgemeingültig und beeinflussen jedes Handlungsfeld.

A1) Beachtung der Besonderheiten von Fertigungsprozessen:

Die Systematik muss auf Fertigungsprozesse (vgl. Abschnitt 2.1.2) anwendbar sein. Sie muss daher die identifizierten Charakteristika von Fertigungsprozessen (vgl. Abschnitt 2.4.5) beachten. Ferner muss die Systematik die lange Tradition der Prozessoptimierung in Fertigungsprozessen (vgl. Abschnitt 2.3.2) berücksichtigen. Alle entwickelten (Teil-)Lösungen müssen für Fertigungsprozesse anwendbar und validiert sein.

Handlungsfeld 1: Identifikation von PM Use Cases in Fertigungsprozessen

Das erste Handlungsfeld beschäftigt sich mit der gezielten Auswahl von relevanten PM Use Cases in Fertigungsprozessen. Ziel ist, Unternehmen ein strukturiertes Vorgehen bei der Ideengenerierung und -bewertung zu bieten. Daraus resultieren zwei Anforderungen.

A2) Systematische Identifikation von PM Use Cases:

PM bietet durch sein breites Spektrum an Techniken (vgl. Abschnitt 2.4.2) eine Vielzahl von Handlungsmöglichkeiten für Organisationen. Da Use Cases immer PM Projekte sind (vgl. Abschnitt 2.4.3) und Organisationen typischerweise mehrere PM Projekte (vgl. Abschnitt 2.4.4) durchführen, ist die Identifikation von geeigneten Use Cases ein kritischer Schritt. Ferner müssen für PM Projekte in der Praxis immer verschiedene Fachexperten kollaborieren (vgl. Abschnitt 2.4.3 und 2.4.4). Da nicht immer vorausgesetzt werden kann, dass die Fachexperten dieselben Vorerfahrungen besitzen, benötigen Organisationen Unterstützung bei der Formulierung von geeigneten PM Use Cases. Die Systematik muss Organisationen bei der Identifikation von PM Use Cases unterstützen. Um die Kommunikation zwischen Fachexperten zu erleichtern, müssen beispielhafte PM Use Cases zur Verfügung gestellt werden. Diese müssen für Anwender verständlich sein. Die Systematik muss bei der Identifikation auf unternehmensindividuelle Ziele und Prozesse eingehen.

A3) Systematische Bewertung von PM Use Cases:

Fertigungen sind unternehmensindividuell (vgl. Abschnitt 2.2.1). Durch verschiedene Ausgangslagen und Zielsetzungen von PM Projekten (vgl. Abschnitt 2.4.3) gestalten sich die zu erzielende Mehrwerte unterschiedlich für verschiedene Organisationen. Um die Auswahl und Priorisierung von PM Use Cases zu ermöglichen, muss die zu entwickelnde Systematik eine Möglichkeit der Bewertung für unterschiedliche Use Cases bieten. Diese Bewertung muss unterschiedliche Dimensionen, wie Prozess, Daten oder Zielsetzung abdecken.

Handlungsfeld 2: Leistungssteigerung von PM Projekten in Fertigungsprozessen

Das zweite Handlungsfeld beschäftigt sich mit der methodischen Unterstützung von PM Projekten in Fertigungsprozessen. Ziel ist die Herausforderungen des Fertigungsumfelds zu adressieren. Daraus resultieren vier Anforderungen.

A4) Einordnung in bestehende (PM Projekt) Vorgehensmodelle:

Für die Durchführung von PM Projekten existieren verschiedene Vorgehensmodelle (vgl. Abschnitt 2.4.3). Zu erarbeitenden (Teil-) Lösungen müssen in den Ablauf bestehender Vorgehensmodelle eingeordnet werden, um die Konsistenz mit der Wissensbasis zu wahren. Des Weiteren soll es dadurch Anwendern erleichtert werden, den Verwendungszeitpunkt zu verstehen.

A5) Strukturierte Identifikation von Prozess- und Datenwissen:

Die Datenidentifikation, -extraktion und -aufbereitung ist der zeitaufwändigste Schritt in PM Projekten (vgl. Abschnitt 2.4.4). Erschwerend existiert in der Fertigung viel (implizites) Wissen zu technischen Zusammenhängen und Abläufen der Prozesse, wodurch sich der Aufwand für die Datenidentifikation, -extraktion und -aufbereitung erhöht (vgl. Abschnitt 2.4.5). Gleichzeitig diversifiziert eine heterogene Datenbasis das benötigte Wissen über Datenquellen (vgl. Abschnitt 2.2.2). Die Systematik muss es Anwendern ermöglichen, strukturiert und systematisch Prozess- und Datenwissen zu identifizieren. Dafür müssen fertigungsspezifische Charakteristiken adressiert und benötigte Datenquellen dokumentiert werden, sodass die Datenextraktion und -aufbereitung zielgerichtet durchgeführt werden kann.

A6) Unterstützung bei der Vorverarbeitung von Sensordaten:

Ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal von Fertigungsprozessen gegenüber anderen Prozessen des industriellen Gewerbes ist das Vorhandensein von Sensordaten (vgl. Abschnitt 2.4.5). Die PM Projektphase der Datenvorverarbeitung hinsichtlich feingranularer Daten wie Sensordaten zu unterstützen, ist eine zentrale Herausforderung im PM (vgl. Abschnitt 2.4.2). Die Systematik muss die Nutzung von Sensordaten ermöglichen. Dafür müssen mehrere Sensorquellen so transformiert werden können, dass ein im PM nutzbarer Event Log entsteht. Es gilt einen domänenorientierten Ansatz zu bieten, der Anwendern eine niedrigschwellige Durchführung ermöglicht.

A7) Hilfestellung für das PM und die Analyse:

Das Herzstück von PM Projekten ist das PM und die datenbasierte Analyse (vgl. Abschnitt 2.4.3). Anwender stehen vor der Herausforderung, die richtigen Analysen durchzuführen (vgl. Abschnitt 2.4.4) und Handlungsmaßnahmen zur Prozessoptimierung abzuleiten. Die Systematik muss Anwender bei der Durchführung dieser Phase unterstützen, indem der wissensintensive Prozess des PMs unterstützt wird. Dafür muss das Expertenwissen externalisiert und strukturiert sowie anwendbar und nachvollziehbar aufbereitet werden.

Handlungsfeld 3: Leistungssteigerung von PM Initiativen in Organisationen

Das dritte Handlungsfeld beschäftigt sich mit der Leistungsbewertung und -steigerung von PM Initiativen in Organisationen. Ziel ist, Organisationen eine Hilfestellung bei der Entwicklung ihrer Initiativen zu bieten. Daraus resultieren drei Anforderungen.

A8) Bereitstellung eines Reifegradmodells für PM Aktivitäten in Organisationen:

Reifegradmodelle sind ein etablierter Ansatz für eine möglichst objektive Bewertung von Untersuchungsbereichen (vgl. Abschnitt 2.3.2). Die Systematik muss ein mehrschichtiges Reifegradmodell bereitstellen, das die sozio-technischen Aspekte des PMs (vgl. Abschnitt 2.4.1) abdeckt. Mehrschichtig bedeutet, dass kein evolutionärer Pfad vorgegeben wird, sondern der Untersuchungsbereich in verschiedene Handlungsfelder und -elemente aufgeteilt ist. Durch dedizierte Reifegradstufen muss Organisationen eine Bewertung des Ist-Zustandes ihrer PM Aktivitäten ermöglicht werden.

A9) Berücksichtigung von unterschiedlichen Zuständen der Soll-Reife:

Um Organisationen bei der Bestimmung des Ziel-Zustandes zu unterstützen, muss die Systematik mögliche Zielzustände für die Soll-Reife bieten (vgl. Abschnitt 2.3.2). Diese sollen nicht präskriptiv, starr oder evolutionär die Ziel-Reife vorherbestimmen, sondern Organisationen die Möglichkeit der Reflektion bieten.

A10) Vorgabe möglicher Handlungsmaßnahmen zur Leistungssteigerung:

Um die Lücke zwischen Ist- und Soll-Zustand zu schließen, müssen Maßnahmen geordnet durchgeführt werden (vgl. Abschnitt 2.3.2). Die Systematik muss Organisationen bei der Identifikation und Definition von Maßnahmen unterstützen. Dafür sollen typische Maßnahmen von Unternehmen bereitgestellt werden.

3 Stand der Technik

“If I have seen further, it is by standing on the shoulders of giants.”
~Sir Isaac Newton²⁷

Der übergeordneten Forschungsmethode (vgl. Abschnitt 1.3) folgend, stellt dieses Kapitel die Anforderungen an eine *Systematik zur Leistungssteigerung von Fertigungsprozessen durch PM* (vgl. Abschnitt 2.6) dem Stand der Technik gegenüber. **Abschnitt 3.1** präsentiert übergeordnete Ansätze zur Leistungssteigerung von Fertigungsprozessen durch PM. In **Abschnitt 3.2** werden spezifische Lösungen für die Identifikation und Bewertung von PM Use Cases dargestellt (Handlungsfeld 1). **Abschnitt 3.3** setzt sich mit Hilfsmitteln zur Durchführung von PM Projekten auseinander (Handlungsfeld 2). Der **Abschnitt 3.4** stellt Ansätze zum Reifegradmanagement von PM Initiativen vor (Handlungsfeld 3). Der **Abschnitt 3.5** schließt das Kapitel, indem die identifizierten Ansätze mit den Anforderungen verglichen werden.

3.1 Allgemeine Ansätze zur Leistungssteigerung von Fertigungsprozessen durch Process Mining

In diesem Abschnitt werden allgemeine Ansätze vorgestellt, die nicht direkt ein spezifisches Handlungsfeld (vgl. Abschnitt 2.5) adressieren. In **Abschnitt 3.1.1** wird das Standard PM Vorgehensmodell PM² nach VAN ECK ET AL. vorgestellt. Neben dem Vorgehensmodell werden auch Rollenprofile und Hilfsmittel mitgeliefert. In **Abschnitt 3.1.2** wird PM für Six Sigma nach GRAAFMANS ET AL. dargelegt. Es kombiniert das DMAIC-Vorgehensmodell mit dem PM² und ist daher insbesondere für Fertigungsprozesse von hoher Relevanz. In **Abschnitt 3.1.3** adressieren KRAJČOVIČ ET AL. die Schnittstelle von PM und Fertigung mit einem detaillierten Vorgehensmodell. Abschließend präsentiert **Abschnitt 3.1.4** den Ansatz zum Management von PM Portfolios von FISCHER. Weitere Ansätze finden sich im Anhang A2.2.

3.1.1 Process-Mining-Projektmethode nach VAN ECK ET AL.

Eines der gängigsten Vorgehensmodelle im PM ist die PM Projektmethode (PM²) nach VAN ECK ET AL. (Technische Universität Eindhoven) [vLL+15]²⁸. Die Autoren nennen keine Forschungsmethode, validieren das Vorgehensmodell jedoch anhand einer Case Study. Das Vorgehensmodell wurde in der *Conference on Advanced Information Systems*

²⁷ Zitiert nach [vWH+20, S. 520].

²⁸ Es gibt noch viele weitere Vorgehensmodelle im PM. Das PM² wird in der Literatur häufig als Grundlage verwendet (bspw. [UvB+20, GTP+21, GMO+21, LSS+21]) und geht explizit auf die involvierten Rollen ein, weshalb es hier ausführlich beschrieben wird. Die weiteren Vorgehensmodelle werden im Anhang A2.1 kurz erläutert.

Engineering (CAiSE) veröffentlicht. Das Vorgehensmodell ist in Bild 3-1 dargestellt und wird nachfolgend beschrieben.

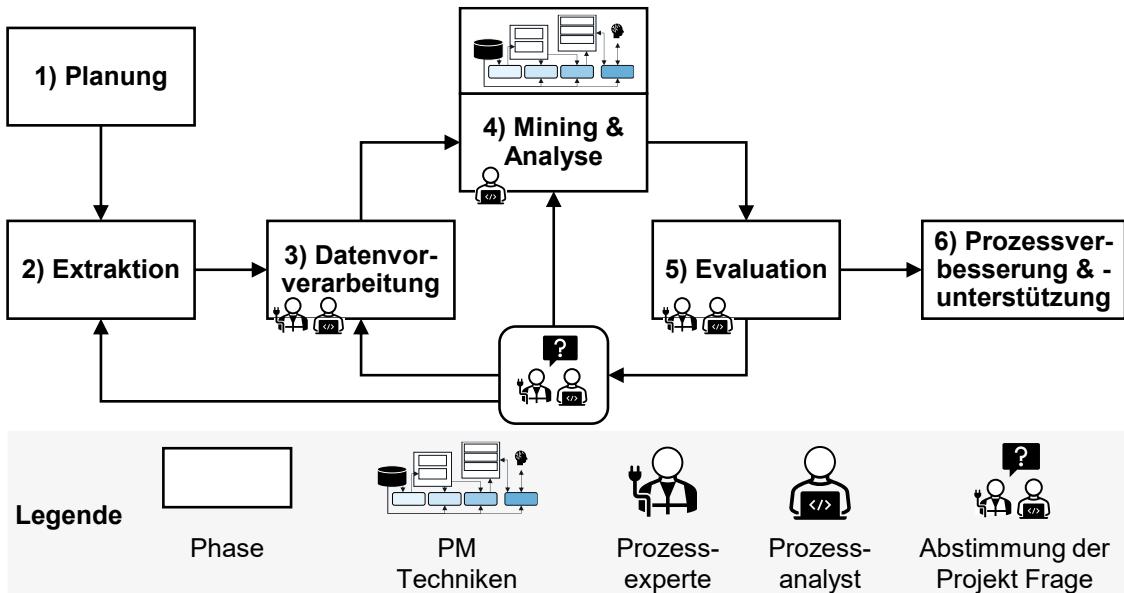


Bild 3-1: Die PM Projektmethode (PM^2) in Anlehnung an [vLL+15, S. 299]

In der **Planungsphase** wird das Ziel des Projekts definiert, der relevante Geschäftsprozess ausgewählt und das Projektteam zusammengestellt. PM² unterscheidet Prozesseigner, Prozessexperten, Systemexperten und Prozessanalysten, wobei insbesondere der Prozessexperte und der Prozessanalyst für den späteren Projekterfolg relevant sind.

In der **Extraktionsphase** werden Daten bzw. Prozessmodelle extrahiert und bereitgestellt. Dafür muss der Rahmen (Zeitraum, Granularität und Attribute) definiert und der eigentliche Export durchgeführt werden sowie ein Transfer von Prozesswissen stattfinden. Für die Unterstützung der Extraktion werden Interviews oder das Brainstorming vorgeschlagen.

In der **Datenvorverarbeitung** müssen die extrahierten Daten so vorverarbeitet werden, dass die anschließende Analyse möglich ist. Es wird zwischen der Erstellung unterschiedlicher Sichten, der Aggregation von Ereignissen, der Anreicherung der Daten und der Filterung unterschieden. Die Autoren stellen zusätzliches Bildmaterial bereit, in dem zusammenfassend verschiedene Vorverarbeitungsmöglichkeiten dargestellt sind. Beispielsweise wird aufgezeigt, dass nach Varianten oder nach der Prozesskonformität gefiltert werden könnte.

In dem **Mining und der Analyse** werden ein oder mehrere der Haupttechniken (vgl. Bild 2-9) entsprechend der in der ersten Phase definierten Zielsetzung durchgeführt. Je nach Klarheit der Zielsetzung können vorab noch explorative Analysen stattfinden. Auch für das Mining und die Analyse werden zusätzlich Informationen bereitgestellt, in denen bspw. erwähnt wird, dass Data Mining zum Einsatz kommen könnte.

In der **Evaluation** werden die datenbasierten Erkenntnisse genutzt, um Verbesserungs-ideen zu generieren. Dazu werden die zwei Schritte der Diagnose, und der Verifikation und Validierung durchgeführt, in denen Prozessanalysten und Prozessexperten gemeinsam die Erkenntnisse auf Korrektheit prüfen.

Schlussendlich kann in der **Prozessverbesserung und -unterstützung** die Prozessausführung entsprechend der Erkenntnisse angepasst werden. Für die Prozessverbesserung muss häufig ein neues Projekt (bspw. im Rahmen eines DMAIC-Zyklus) gestartet werden, da eine PM basierte Analyse allein keine Veränderung bewirken kann. Bei der Unterstützung wird PM genutzt, um die Ausführung der laufenden Prozesse zu überwachen.

An der Bearbeitung von PM Projekten sind verschiedene Rollen beteiligt. Primär interagieren der **Prozessanalyst** (engl. Process Analyst) und der **Prozessexperte** (engl. business expert) an verschiedenen Stellen entlang des PM² Vorgehensmodells. Prozessexperten kennen den zu untersuchenden Prozess, dessen Ausführung und Domänenwissen sehr gut. Die Prozessanalysten hingegen sind mit den PM Werkzeugen und im Allgemeinen mit der Untersuchung von Prozessen vertraut. Diese beiden Rollen werden häufig von dem Prozesseigner (engl. business owner), der verantwortlich für den Prozess ist und dem Systemexperten (engl. system expert), der sich mit den IT-Systemen des zu untersuchenden Prozesses auskennt, unterstützt. VAN ECK ET AL. spezifizieren keinen Projektmanager und für die ersten beiden Phasen wird nicht definiert, wer diese Phase ausführt.

Neben den Schritten und den beteiligten Rollen **berichten die Autoren im Detail** über eine Case Study. Die Autoren demonstrieren, wie sie in dem Open-Source PM Tool ProM die Case Study bearbeitet haben. Dafür werden die verwendeten Datenformate in den einzelnen Schritten und die Module in ProM aufgelistet. Dadurch ergibt sich für Anwender eine zusätzliche **Hilfestellung**, da das praktische Durchführen von PM näher beschrieben wird. In der Case Study wird erwähnt, dass es einen Team Lead im Projekt gibt, der über keine PM Erfahrung verfügt. Die Rolle wird nicht weiter charakterisiert.

Bewertung: Das PM² ist ein etabliertes Vorgehensmodell zur Durchführung von PM Projekten. Durch die Aufteilung der Datenextraktion und der Datenvorverarbeitung ist es besonders praxisnah. Leider fokussiert das Vorgehensmodell nicht die Identifikation von Use Cases und auch der Umgang mit Maschinendaten wird nicht thematisiert.

VAN ECK ET AL. vergleichen das Vorgehensmodell mit anderen Ansätzen (A4), strukturieren die Extraktion von Prozess- und Datenwissen durch die Phasen und die Benennung von relevanten Rollen (A5) und stellen zusätzlich noch einen Tool-Support für die Analyse bereit (A7). Diese Anforderungen sind somit voll erfüllt. Der Ansatz bietet viel Potential für die Integration als Vorgehensmodell von PM Projekten in die zu entwickelnde Systematik.

3.1.2 Process Mining für Six Sigma nach GRAAFMANS ET AL.

Das Process Mining for Six Sigma (PMSS) nach GRAAFMANS ET AL. (Technische Universität Eindhoven) [GTP+21] ist eine Systematik, welche PM in den DMAIC-Lebenszyklus integriert und dafür Tools und Hilfsmittel in den Phasen bereitstellt. Die Autoren folgen den Ansätzen der Design Science, erarbeiten auf der Basis der DSRM die Systematik und validieren diese zusätzlich mithilfe einer Interviewstudie. Die Veröffentlichung ist in dem Journal *BISE* erschienen.

Prinzipiell vergleichen die Autoren dafür das Vorgehensmodell PM² (vgl. Abschnitt 3.1.1) mit dem DMAIC-Lebenszyklus (vgl. Abschnitt 2.3.2), um Symmetrien zu identifizieren. Wie in Bild 3-2 dargestellt ist, besteht das PMSS aus den fünf Phasen des DMAIC-Lebenszyklus (*Define* bis *Control*), wobei jede Phase ein oder mehrere Schritte des PM² Vorgehensmodells besitzt. Prinzipiell sind Iterationen zwischen allen Phasen möglich. Auch werden die Rollenkonzepte des PM² übernommen.

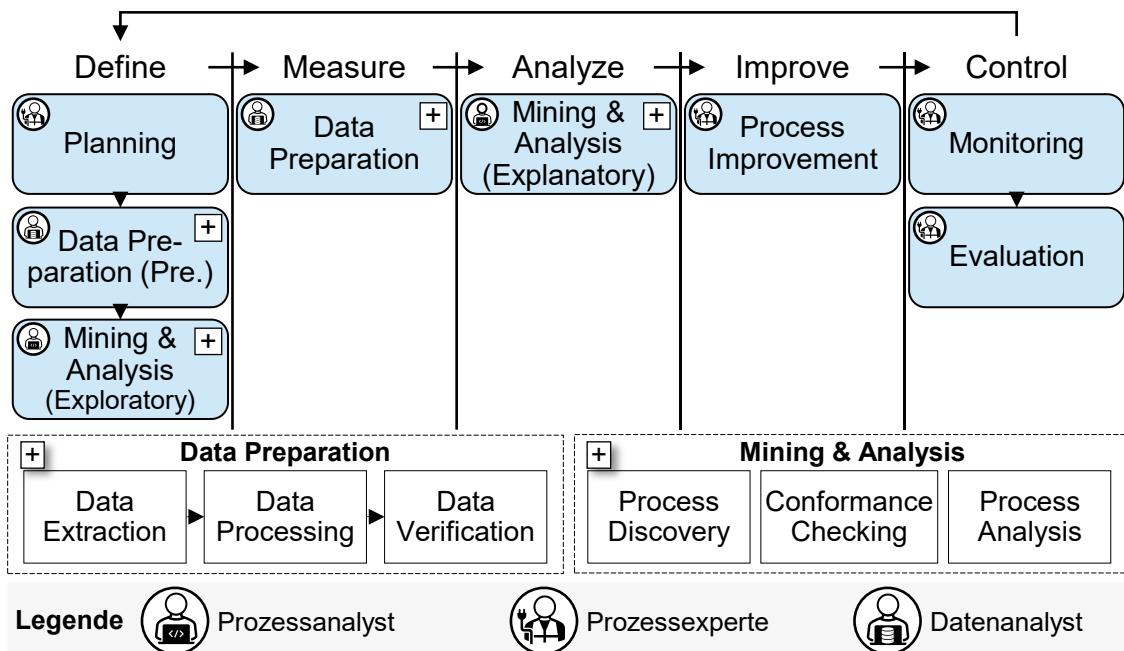


Bild 3-2: Process Mining für Six Sigma in Anlehnung an [GTP+21]

Die **Define-Phase** besitzt die drei Schritte Planning, Data Preparation (Preliminary) und Mining & Analysis (Exploratory). Das Ziel der Phase ist die Bereitstellung von Daten für die Measure-Phase und die Verfeinerung und Definition des Projektziels. Der Planning-Schritt dient dazu, die Ziele des Projekts zu definieren, den relevanten Prozess auszuwählen und ein Projektteam aufzustellen. Da die Ziele des Projekts elementar für den Erfolg des Projekts sind, muss der Prozessexperte die Relevanz der Ziele sicherstellen und ist in diesem Schritt in der Führung. Der *Data Preparation (Preliminary)* Schritt unterteilt sich in die drei Sub-Schritte Data Extraction, Data Processing und Data Verification. Die Daten werden nur oberflächlich vorbereitet, sodass ein grober Einblick gewonnen werden kann. Im *Mining & Analysis (Exploratory)* Schritt werden die drei Haupttechniken des

PMs in keiner vorgegebenen Reihenfolge durchgeführt sowie klassische Analysen (bspw. eine Pareto-Analyse) durchgeführt. Die Define-Phase wird so lange iteriert, bis die Ziele im Projekt klar sind.

In der **Measure-Phase** werden zusätzliche Informationen über den Prozess aus den IT-Systemen extrahiert und die aktuelle Leistungsfähigkeit des Prozesses bestimmt. Die Phase wird durch den Data Analyst geführt. Die Measure-Phase hat nur den Schritt der *Data Preparation*, der wiederum die drei Sub-Schritte Data Extraction, Data Processing und Data Verification besitzt.

Die **Analyze-Phase** besteht aus dem Schritt *Mining & Analysis (Explanatory)*. Unter der Führung des Process Analysts wird eine detaillierte Analyse der Daten vor dem Hintergrund des Projektziels durchgeführt. Im Gegensatz zu der Exploratory Analysis der Define-Phase wird die Analyse in einem größeren Umfang durchgeführt, mit dem Ziel die gestellte Projektziele im Detail zu beantworten.

Die **Improve-Phase** besteht aus dem Schritt des *Process Improvements*. Das Ziel dieser Phase ist die Herleitung von konkreten Prozessverbesserungen auf Basis der Analyseergebnisse. PM kann in dieser Phase bspw. bei der Auswahl der relevantesten Veränderungsszenarien unterstützen. Da die Verbesserung des Prozesses diesen verändert, führt der Business User diesen Schritt an.

Die **Control-Phase** besteht aus den Schritten des *Monitorings* und der *Evaluation*. Zum einen wird im Monitoring der veränderte Prozess hinsichtlich der angezielten Leistungskennzahlen überwacht, zum anderen wird in der Evaluation geprüft, ob der Prozess erfolgreich optimiert wurde. Auf Basis dieser Evaluation entsteht ggf. der Bedarf für neue Durchläufe des DMAIC-Zyklus. Da der Business User die Projektziele aufstellt, ist er auch verantwortlich für die Control-Phase.

Neben der Aufstellung der Phasen wurde für das PMSS auch ein **Tool-Support** in dem PM Tool ProcessGold²⁹ geschaffen. Jede DMAIC-Phase besitzt ein eigenes Dashboard, welches die wesentlichen PM Schritte abdeckt.

Bewertung: GRAAFMANS ET AL. präsentieren mit dem PMSS eine umfangreiche Systematik zur Nutzung von PM in DMAIC-Projekten. Durch die Verschmelzung des DMAIC-Zyklus mit dem etablierten PM² Vorgehensmodell in Kombination mit dem Tool-Support bietet das PMSS eine umfassende Hilfestellung für fertigende Unternehmen. Kritisch anzumerken ist, dass der Ansatz lediglich das Six Sigma fokussiert. Auch existiert das für die Realisierung verwendete PM Tool ProcessGold nicht mehr, weshalb der praktische Nutzen begrenzt ist. Schlussendlich wirkt das PMSS wie eine simple Instanziierung des PM² (vgl. Abschnitt 3.1.1), wobei Iterationen vor dem Hintergrund des

²⁹ ProcessGold existiert als eigenständiges Tool nicht mehr, sondern wurde von UiPath im Jahr 2019 gekauft. <https://ir.uipath.com/news/detail/69/uipath-acquires-processgold-to-deliver-unparalleled>. Abgerufen am 07.01.2024.

DMAIC-Zyklus genauer beschrieben werden. Der Mehrwert im Vergleich zum PM² müsste geprüft werden.

Durch die Relation zum DMAIC-Zyklus ist die Lösung sehr gut für die Fertigung (A1) geeignet und es ordnet sich vollständig in bestehende Vorgehensmodelle ein (A4). Durch die Sub-Prozesse werden erste Ansätze für die Datenvorverarbeitung (A5) und die Analyse (A7) geboten, wenngleich diese nicht sehr detailliert beschrieben sind. Die Anforderungen A1 und A4 sind somit vollständig und A5 und A7 teilweise erfüllt.

3.1.3 Ansatz zur Analyse der Produktion mit Process Mining nach KRAJČOVIČ ET AL.

KRAJČOVIČ ET AL. (u. a. Universität Žilina) [KBF+24] präsentieren ein für die Fertigung zugeschnittenen Ansatz zur Analyse von Produktionsprozessen, bestehend aus einem Vorgehensmodell mit detaillierenden Anleitungen. Anhand einer Case Study demonstrieren die Autoren die Nützlichkeit ihres Vorgehensmodells bei einem Hersteller von Stahlrohren. Der Ansatz ist im Journal *Processes* erschienen.

Der Ansatz besteht primär aus einem Vorgehensmodell mit insgesamt 15 Schritten mit drei Entscheidungen. Jeder Schritt ist mit Beschreibungen erweitert. Der Ansatz ist in Bild 3-3 zusammenfassend dargestellt.

Bis zur **ersten Entscheidung** muss eine Organisation *KPI* für den Prozess definieren und zum *Start* Fragen formulieren, die eine Optimierung der Produktionsprozesse ermöglichen. Anschließend müssen die *Datenquellen ausgewählt* und Daten *extrahiert* und *transformiert* werden. Die ausgewählten Daten müssen den Fortschritt der Produktion darstellen. Sofern unterschiedliche Datenquellen genutzt werden, müssen die Datenformate vereinheitlicht und in ein im PM nutzbares Format, bspw. hinsichtlich der Case ID, transformiert werden. In Schritt 5 wird entschieden, ob das Datenformat für das PM Tool passend ist und zur Beantwortung der Frage genutzt werden kann. Falls dies nicht der Fall ist, muss der Prozess ab der Datenextraktion und -aufbereitung wiederholt werden.

Bis zur **zweiten Entscheidung** muss der *Event Log konfiguriert werden*. Es müssen mindestens die drei Attribute Case ID, Aktivität und Zeitstempel definiert werden. In Schritt 7 wird das Einlesen im PM Tool geprüft und bei Erfolg mit den nächsten Schritten fortgefahren.

Bis zur **dritten Entscheidung** wird die *Prozess-Map* hinsichtlich offensichtlicher Probleme oder kritischen Bereichen analysiert. Anschließend kann mit Expertengesprächen oder statistischen Tests eine *Datenvielfaltierung* stattfinden. Mithilfe der Validierung muss entscheiden werden, ob die Daten realitätsnah sind.

Bis zum **Ende des Projekts** werden mit *statistischen Analysen* Muster und Trends in den Prozessen identifiziert oder verschiedene Perspektiven wie die der Ressourcen im Zeitverlauf betrachtet. In einer *detaillierten Case Analyse* werden auffällige

Prozessdurchläufe individuell betrachtet und mit Domänenexperten diskutiert. Schlussendlich werden konkrete Maßnahmen zur *Verbesserung abgeleitet* und priorisiert. Diese Maßnahmen müssen die eingangs definierten KPI adressieren. Abschließend erfolgt die *Interpretation der Ergebnisse*, indem geprüft wird, ob die aufgestellten Ziele erreicht wurden.

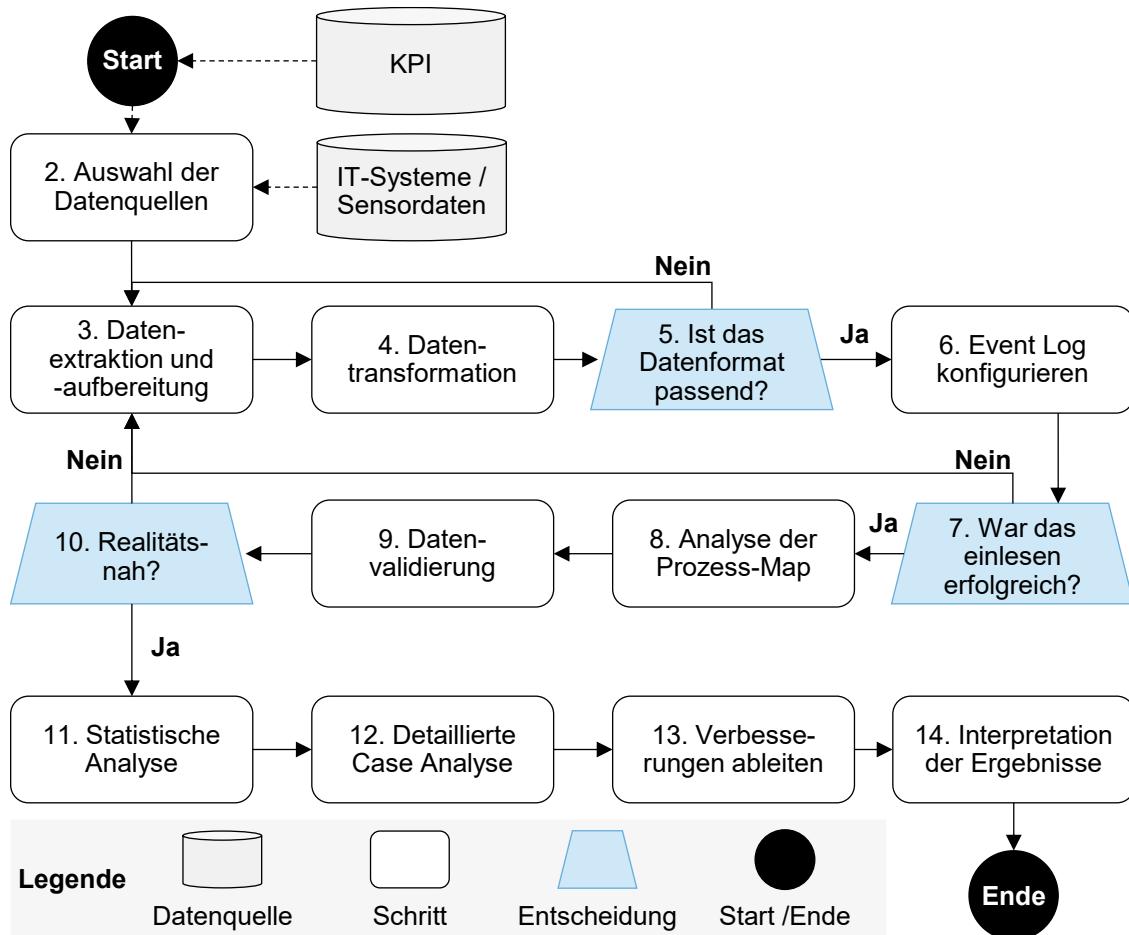


Bild 3-3: Ansatz zur Analyse von Produktionsprozessen nach KRAJČOVIČ ET AL. [KBF+24, S. 9]

Bewertung: Der Ansatz von KRAJČOVIČ ET AL. [KBF+24] adressiert das relevante Thema der Verwendung von PM in der Fertigung. In Summe umfasst der Ansatz viele Schritte, die ein grundlegendes Vorgehen in Projekten vermitteln. Leider bietet der Ansatz innerhalb der Schritte fast keine Hilfestellung und adressiert trotz des Titels kaum die identifizierten Besonderheiten der Fertigung. Daher müsste der Mehrwert bspw. im Vergleich zum PM² (vgl. Abschnitt 3.1.1) geprüft werden.

Der Ansatz erfüllt die Anforderungen Beachtung der Besonderheiten im Fertigungsumfeld (A1), der Identifikation von Prozess- und Datenwissen (A5), der Hilfestellung bei der Vorverarbeitung von Sensordaten (A6) oder bei der Analyse (A7) nur teilweise, da alle Hilfestellungen nur schriftlicher Natur sind. Trotz des zur angestrebten Systematik ähnlichen Titels erfüllt der Ansatz somit nur vier Anforderungen teilweise.

3.1.4 Management von Process Mining Portfolios nach FISCHER

FISCHER (Universität Bayreuth) [Fis23] präsentiert einen Ansatz zur ganzheitlichen Durchführung von PM Projekten in Organisationen. Der Ansatz wird im Rahmen der hier referenzierten, kumulativen Dissertation präsentiert³⁰. Er adressiert die drei Bereiche des Managements von PM Portfolios, die Behebung von Datenqualitätsproblemen und die Überführung von Analyse-Erkenntnissen in tatsächliche Prozessoptimierungen. Für die Ausarbeitung aller drei Bereiche werden verschiedene Ansätze der Design Science Research verfolgt. Auf die drei Teilergebnisse wird nachfolgend kurz eingegangen. Eine detaillierte Beschreibung findet sich in Anhang A2.2.1.

(1) Management von PM Projektportfolios

Der erste Teil von FISCHERS Dissertation stellt eine Portfoliomanagement Methode für PM bereit. Der Portfoliomanagementansatz in Bild A-13 beschreibt, wie die PM Initiative sogenannte Value Cases bearbeitet. Value Cases sind nach FISCHER auf PM basierende Prozessverbesserungsprojekte. Der Ansatz wird nachfolgend kurz erläutert.

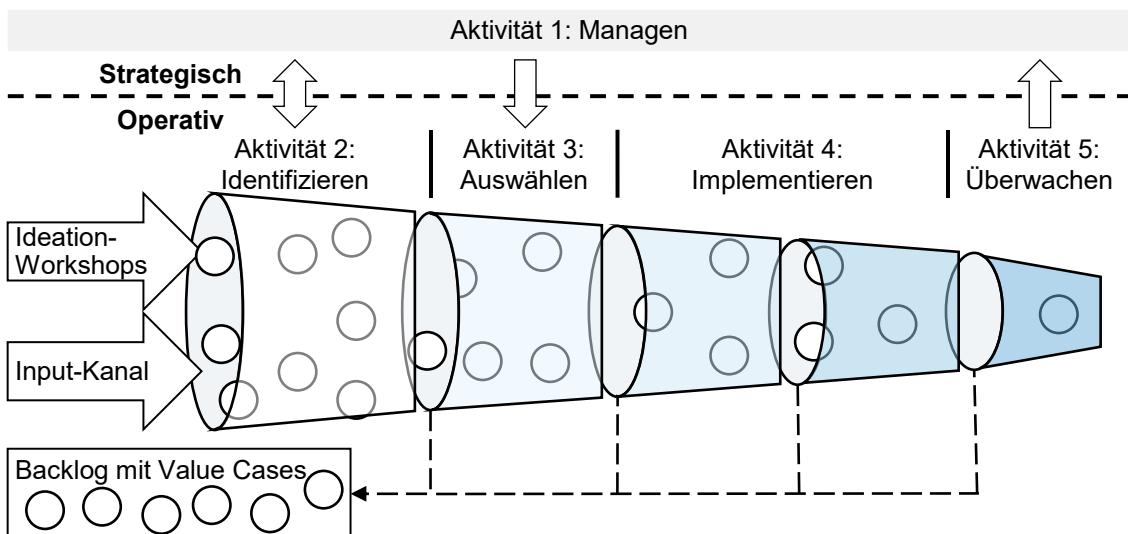


Bild 3-4: Portfoliomanagement Methode für PM basierte Projekte zur Prozessverbesserung in Anlehnung an [Fis23]

Auf der **strategischen Ebene** werden Organisationsziele in Ziele für die PM Initiative überführt und Ressourcen bereitgestellt. Zudem werden notwendige Fähigkeiten für das Management eines PM Portfolios, wie etwa die Methoden und Vorgehensweisen für die Identifikation von Value Cases, identifiziert und etabliert.

³⁰ Aufgrund der Veröffentlichung als kumulative Dissertation sind die Teilergebnisse im Vergleich zu Monografien vergleichsweise losgelöst voneinander. Die Dissertation von FISCHER [Fis23] ist in Summe jedoch sehr vergleichbar mit der angestrebten Systematik im Zuschnitt, der Motivation, und den adressierten Themen. Daher wird die Dissertation von FISCHER [Fis23] als Gesamtlösung präsentiert.

Auf der **operativen Ebene** findet die Identifikation und Umsetzung von PM Value Cases statt. Value Cases können aus Fachabteilungen eingebracht oder mithilfe von bspw. Brainstorming-Workshops erzeugt werden. Ein Value Case muss eine präzise Frage oder Hypothese beantworten. Über ein Bewertungsschema können Value Cases zur Implementierung ausgewählt oder vorläufig in einem Backlog abgelegt werden. In der Implementierung erfolgt die Durchführung eines PM Projekts bspw. auf Basis des PM² Vorgehensmodells (vgl. Abschnitt 3.1.1). In der Überwachung werden, basierend auf dem Mehrwert der Value Cases, Maßnahmen für die Anpassung der Strategie identifiziert.

(2) Rahmenwerk für das Datenqualitätsmanagement

Der zweite Bereich von FISCHERS Dissertation verlässt das Projektporfolio-Level und behandelt innerhalb einzelner PM Projekte das Identifizieren und Beheben von Datenqualitätsproblemen. Dafür wird ein Rahmenwerk für das Datenqualitätsmanagement zur Verfügung gestellt. Ziel des Rahmenwerks ist eine „Plattform“ zu schaffen, um Algorithmen, Visualisierungen, Daten und Nutzer zu verbinden.

Das Rahmenwerk stellt Schnittstellen für Entwickler und Nutzer zur Verfügung. Entwickler können neue Lösungen zur Behebung von Datenqualitätsproblemen auf der Plattform veröffentlichen, Nutzer können diese als Lösungsbausteine in ihrem Projekt verwenden. Zusätzlich wird eine Datenqualitätsmatrix zur Verfügung gestellt, die unterschiedliche Datenqualitätsprobleme mit einem Event Log in Verbindung setzt. Das Rahmenwerk ist auf Github³¹ veröffentlicht.

(3) Konzeptionalisierung des unterstützten Prozess Re-Designs

Der dritte Bereich von FISCHERS Dissertation behandelt innerhalb von PM Projekten das automatisierte Ableiten von Maßnahmen zur Prozessverbesserung (Re-Designs). Diese Prozessverbesserungen werden in BPMN-Prozessmodellierungssoftwares je nach Automatisierungslevel angezeigt oder automatisch implementiert. Auf dem niedrigsten Level werden bspw. Anpassungen auf Basis von Literaturempfehlungen angezeigt, wie das Parallelisieren von Aktivitäten. Auf dem höchsten Level werden automatisch verschiedene Lösungsalternativen identifiziert und in einer Simulation hinsichtlich KPI verglichen. Für die Automatisierungslevel wird eine Referenzarchitektur und eine exemplarische Implementierung zur Verfügung gestellt³².

Bewertung: Die Dissertation von FISCHER stellt einen rigoros erforschten Ansatz zur ganzheitlicheren Durchführung von PM in Organisationen dar. Durch die vielen technischen Implementierungen wird ein umfassendes und anwendbares Lösungsgerüst geboten. Der Ansatz ist durch die wechselnden Bezugsebenen (Portfolio und Projekt), die sowohl die PM Initiative als auch die einzelnen Projekte adressieren, vergleichbar mit der

³¹ <https://github.com/praeclaruspdq/PraeclarusPDQ/> zuletzt besucht am 24.03.2024.

³² <https://github.com/dtdi/assisted-bpr-modeler> zuletzt besucht am 24.03.2024.

zu entwickelnden Systematik. Jedoch ist der Fokus, bspw. auf die Datenqualität, ein anderer. Die Herausforderungen der Fertigung werden nicht explizit adressiert. Es wird nicht im Detail darauf eingegangen, wie Use Cases identifiziert oder bewertet werden können. Wenngleich alle drei Bereiche der Dissertation die PM Initiative professionalisieren, bietet FISCHER keine Möglichkeit eine Leistungsbewertung und -steigerung durchzuführen.

FISCHERS Ansatz zum Management von PM Projektportfolios bietet somit teilweise Hilfestellungen bei der Identifikation von PM Use Cases (A2), der strukturierten Identifikation von Prozess- und Datenwissen (A5), der Unterstützung bei der Vorverarbeitung von Sensordaten (A6) und der Hilfestellung für das PM und der Analyse (A7). Der Ansatz bietet viele Anknüpfungspunkte, um die Routine-Aufgaben von PM Initiativen zu unterstützen, ist jedoch nicht für die Herausforderungen der Fertigung zugeschnitten. Die Anforderungen A2, A5, A6 und A7 werden daher teilweise erfüllt.

3.2 Ansätze zur Identifikation und Bewertung von Process Mining Use Cases

Das erste Handlungsfeld (vgl. Abschnitt 2.5) ist charakterisiert durch die Herausforderungen von Organisationen, geeignete PM Use Cases auszuwählen. In **Abschnitt 3.2.1** wird die Forschung von ZERBATO ET AL. zur Formulierung von Fragen in PM Projekten dargestellt. **Abschnitt 3.2.2** präsentierte eine Liste mit typischen PM Fragen nach MILANI ET AL. Anschließend werden zwei Ansätze zur Bewertung von PM Use Cases vorgestellt. In **Abschnitt 3.2.3** wird der Ansatz von EGGERS ET AL. und in **Abschnitt 3.2.4** der Ansatz von ROTT UND BÖHM zur Bewertung von PM Use Cases präsentiert. Im **Abschnitt 3.2.5** wird eine PM Use Case Canvas nach HARDJOSUWITO ET AL. vorgestellt, die PM Use Cases charakterisiert.

3.2.1 Formulierung von PM Fragen nach ZERBATO ET AL.

Viele Vorgehensmodelle wie das PM² (vgl. Abschnitt 3.1.1) setzen Fragen voraus, die mit PM beantwortet werden müssen. ZERBATO ET AL. (u. a. Universität St. Gallen) [ZKB+22] stellen jedoch fest, dass PM Projekte in der Praxis häufig einen explorativen Charakter aufweisen. Mithilfe von Interviews leiten die Autoren einen Ansatz für das Formulieren von Analysefragen während der Durchführung von PM Projekten ab. Der Ansatz ist in Bild 3-5 dargestellt und wurde auf der *Enterprise Design, Operations, and Computing (EDOC)* veröffentlicht. Die Autoren identifizieren die drei gängigen Phasen *Fragenformulierung*, *Fragenverfeinerung* und *Fragenbeantwortung*. Innerhalb der drei Phasen identifizieren die Autoren mithilfe der Interviews typische Vorgehensweisen und Entscheidungen.

Startpunkt des Fragenformulierungsprozesses ist das Fehlen oder Vorhandenseins einer Frage. Sollte keine Frage vorhanden sein, muss zunächst eine initiale Frage in der (1)

Fragenformulierung erstellt werden. Je nachdem ob Wissen über die Daten vorhanden ist, müssen zunächst die *Rohdaten inspiziert* werden. Sofern kein Domänenwissen vorhanden ist, sollten zunächst typische *Standardanalysen* durchgeführt werden. Nach Durchführung dieser Phase sollten initiale Fragen über den Prozess vorliegen.

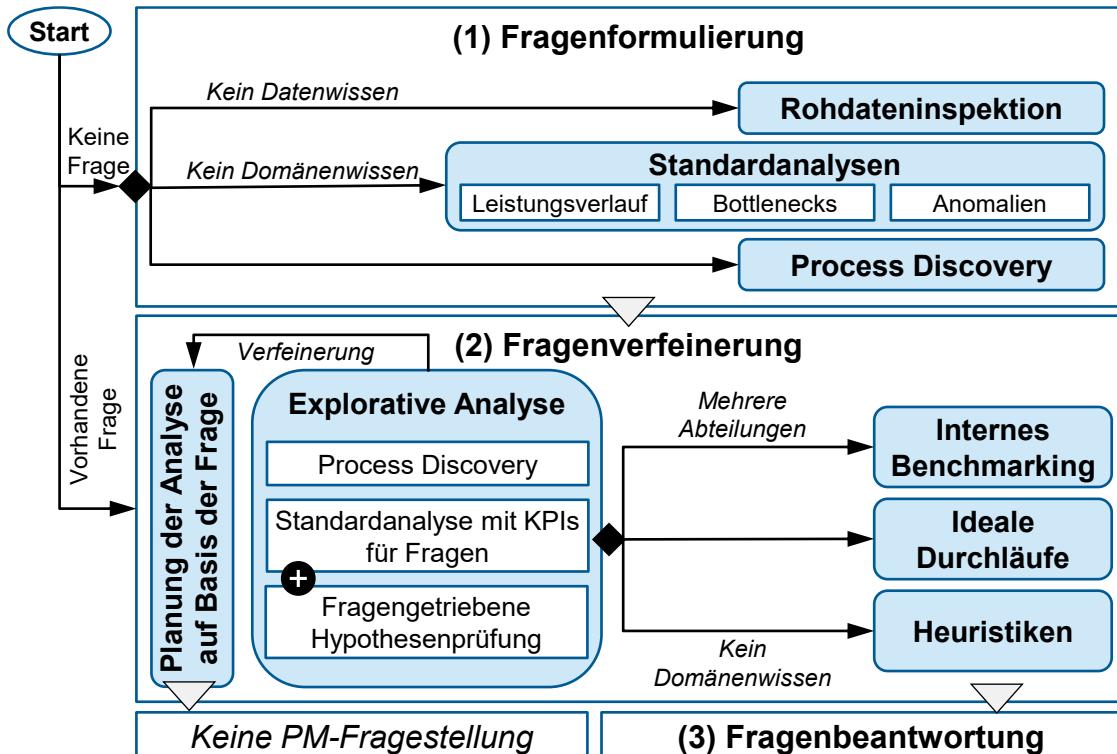


Bild 3-5: Ansatz zur Formulierung von PM Fragen in Anlehnung an [ZKB+22]

Liegt bereits zu Beginn des Projektes eine Frage vor oder wurde diese durch den Fragenformulierungsprozess erzeugt, kann mit der (2) **Fragenverfeinerung** fortgefahrt werden. Ziel dieser Phase ist die Transformation einer Frage in eine neue Frage, die präziser oder leichter zu beantworten ist. Zunächst erfolgt eine *Planung der Analyse*. Dafür wird ein Ansatz identifiziert, mit dem die Fragen beantwortet werden können. Im Rahmen der *Planung der Analyse* kann sich herausstellen, dass die Fragen nicht PM orientiert sind und auch keine Verfeinerung möglich ist. Das Vorgehen bricht dann ab. Ist die Planung erfolgt, wird typischerweise mit einer *explorativen Analyse* begonnen. Diese umfasst wie schon bei der Fragenformulierung das Process Discovery und die Durchführung von Standardanalysen. Zusätzlich können Fragen in Hypothesen überführt werden, die bestätigt oder widerlegt werden können. Wenn Daten aus mehreren Abteilungen vorhanden sind, können *interne Benchmarkings* bei der Anpassung von Fragen unterstützen. Wenn Domänenwissen vorhanden ist, sollten die *idealen Prozessdurchläufe* betrachtet werden. Ansonsten muss mithilfe von *Heuristiken* ein Abschnitt in den Daten genauer betrachtet werden. Sobald die Fragen stimmig formuliert sind, kann die (3) **Fragenbeantwortung** in Form eines Projekts durchgeführt werden.

Bewertung: ZERBATO ET AL. [ZKB+22] bieten ein strukturiertes Vorgehen für die Verfeinerung von PM Fragen. Durch die simplen Entscheidungen wird der Anwender durch die Nutzung geleitet. Kritisch anzumerken ist, dass der Ansatz einen extrahierten Event Log voraussetzt und im Allgemeinen sehr technologieorientiert ist. Es ist zu prüfen, inwiefern dieses Vorgehen in der heterogenen Datenlandschaft der Fertigung mit Fertigungsexperten durchführbar ist. Generell scheint die Herangehensweise mit Fragen ein üblicher Weg zur Formulierung von PM Use Cases zu sein und sollte als Ansatz für die zu entwickelnde Systematik geprüft werden.

ZERBATO ET AL. ermöglichen eine strukturierte Spezifikation und Ausdetaillierung initia-ler Fragestellungen. Sie stellen mit den typischen Analysefragen eine gewisse Form an an PM Use Case Vorlagen zur Verfügung (A2). Durch die Planung der Analyse auf Basis der Frage findet eine rudimentäre Bewertung des Use Cases statt (A3). Die Autoren ordnen den Ansatz in bestehende Vorgehensmodelle ein (A4). Die Anforderung A3 wird daher teilweise und die Anforderung A2 und A4 vollständig erfüllt.

3.2.2 Übersicht typischer Fragen im PM nach MILANI ET AL.

MILANI ET AL. (u. a. Universität Tartu) [MLM+22] beschäftigen sich mit der Identifikation typischer Fragen, die mithilfe von PM beantwortet werden können. Dafür führen die Autoren eine systematische Literaturrecherche durch. Die Ergebnisse sind auf der *Research Challenges in Information Sciences (RCIS)* veröffentlicht. Die Autoren identifizieren insgesamt 37 Fragen, die sich in die fünf Kategorien Transparenz, Effizienz, Qualität, Compliance und Agilität aufteilen lassen.

In der Kategorie **Transparenz** finden sich typische Fragen hinsichtlich des Ablaufs des tatsächlichen Ist-Prozesses. Zusätzlich wird bspw. die Identifikation von Regeln in Prozessen mit aufgeführt. Eine beispielhafte Frage für diese Kategorie ist „*Was sind die Entscheidungsregeln, die den Verlauf eines Prozesses bestimmen?*“. In der Kategorie **Effizienz** finden sich ausschließlich Fragen hinsichtlich der Leistung eines Prozesses. Eine beispielhafte Frage für diese Kategorie ist „*Wie verändert sich die Leistung im Laufe der Zeit?*“. In der Kategorie **Qualität** werden Prozessvarianten und Abweichungen vom Standardverlauf untersucht. Eine beispielhafte Frage in dieser Kategorie ist „*Was sind die Varianten des Prozesses?*“. Hinsichtlich der **Compliance** wurden Fragen zum Conformance Checking und Conformance Monitoring identifiziert. Eine beispielhafte Frage ist „*Erfüllt ein laufender Prozess die vordefinierten Regeln und Rahmenbedingungen?*“. Abschließend werden Fragen zur **Agilität** bereitgestellt. Diese umfassen prädiktives und präskriptives Monitoring sowie Fragen zum Concept Drift³³. Eine beispielhafte Frage ist „*Welches ist der empfohlene Ausführungswege für einen laufenden Prozess?*“. Abschließend ordnen die Autoren die fünf Kategorien und die dazugehörigen Fragen in die

³³ Concept Drift beschreibt die Veränderung eines Prozesses im Zeitverlauf [MLM+22]. Der Umgang mit dem Concept Drift im PM ist eine zentrale Herausforderung im PM [AAM+12].

Dimensionen deskriptiv, vergleichend, erklärend und empfehlend ein. Die Autoren stellen fest, dass deskriptive Fragen der Ausgangspunkt für die anderen Dimensionen sind.

Bewertung: MILANI ET AL. [MLM+22] liefern eine umfassende Liste an möglichen Fragen, die PM beantworten kann. Der Ansatz bietet durch die Beispiele Unterstützung bei der Formulierung von PM Use Cases in Form von Fragen. Dem Ansatz fehlt ein Vorgehensmodell, mit dem Anwendern die strukturierte Identifikation von relevanten Fragen ermöglicht wird. Auch sind die Aufwände für die unterschiedlichen Fragen nicht klar.

Durch die Bereitstellung von beispielhaften Fragen wird es Anwendern erleichtert, relevante PM Use Cases zu identifizieren (A2). Die Unterteilung in fundamentale und weiterführende Fragen stellt eine rudimentäre Form der Bewertung dar (A3). Anforderung A2 und A3 ist somit teilweise erfüllt.

3.2.3 Ansatz zur Bewertung von PM Use Cases nach EGGLERS ET AL.

EGGLERS ET AL. (u. a. Technische Universität München) [EHZ+23] präsentieren einen Ansatz zur Bewertung von PM Use Cases in Form einer Taxonomie. Die Taxonomie wurde auf der *Americas Conference on Information Systems (AMCIS)* veröffentlicht. Die Autoren berichten umfangreich über ihren Forschungsprozess, welcher neben der gängigen Methode zur Erforschung von Taxonomien nach NICKERSON ET AL. [NVM13] auch systematische Literaturrecherchen nach WEBSTER UND WATSON [WW02], Interviews nach MYERS UND NEWMANN [MN07] und qualitative Datenanalysen umfasst. Die erforschte Taxonomie wird bei einem deutschen Industrieunternehmen angewendet und validiert.

Die Taxonomie zur Bewertung von PM Use Cases teilt sich in zwei Hälften auf, wobei die obere Hälfte das Wertpotential und die untere Hälfte den Aufwand für die Umsetzung bewertet. Die Taxonomie ist in Bild 3-6 dargestellt. Die beiden Hälften besitzen die drei identischen Spalten Meta-Dimensionen, Dimensionen und Charakteristiken.

Die erste Meta-Dimension ist **Geschäftsrelevanz**, welche die Wichtigkeit des betrachteten Prozesses für eine Organisation bewertet. Die Meta-Dimension unterteilt sich in die beiden Dimensionen Geschäftsvolumen und Geschäftsnotwendigkeit. Das Geschäftsvolumen bezieht sich auf das monetäre Volumen, das in dem Prozess generiert oder verarbeitet wird. In der Dimension Geschäftsnotwendigkeit wird die Relevanz des Prozesses für die Organisation eingeordnet.

In der zweiten Meta-Dimension ist **Potential**. Es unterteilt sich in die fünf Dimensionen Transparency, Conformance Checking, Prozess-Monitoring, Performance Analyse und Vorhersagen. Diese fünf Dimensionen stellen einen möglichen Mehrwert für unterschiedliche Anwendungen und Stakeholder dar.

In der zweiten Hälfte ist die erste Meta-Dimension **Organisations-/ Projektspezifisch**. Diese unterteilt sich wiederum in vier Dimensionen. Die erste Dimension ist die Ressourcenverfügbarkeit. Sie beschreibt, wie viel Informationen durch Stakeholder im Rahmen

des gesamten Projektverlaufs beschafft werden können. Die zweite Dimension ist die Managementunterstützung, welche den Umfang der Unterstützung durch Projektsponsoren, bspw. in Form von Ressourcen, beschreibt. Die dritte und vierte Dimension sind das Engagement von Prozesseignern und Endnutzern. Sie beschreiben die Bereitschaft von Prozesseignern und Endnutzern PM Ergebnisse anzunehmen und zu nutzen.

| Meta-Dimensionen | Dimensionen | Ausprägungen | | | |
|-----------------------------------|------------------------------|---------------------|---------------------|--------------------|------------------|
| | | Niedrig | Mittel | Vital | Hoch |
| Geschäftsrelevanz | Geschäftsvolume | | | | |
| | Geschäftsnotwendigkeit | Geringfügig | Wichtig | Vital | Missionskritisch |
| Potential | Transparenz | Niedriges Potential | Mittleres Potential | | Hohes Potential |
| | Conformance Checking | Niedriges Potential | Mittleres Potential | | Hohes Potential |
| | Prozess- Monitoring | Niedriges Potential | Mittleres Potential | | Hohes Potential |
| | Performance Analyse | Niedriges Potential | Mittleres Potential | | Hohes Potential |
| | Vorhersagen | Niedriges Potential | Mittleres Potential | | Hohes Potential |
| | | | | | |
| Wertpotenzial | | S | M | L | XL |
| | | | | | XXL |
| Meta-Dimensionen | Dimensionen | Ausprägungen | | | |
| | | Keine | Niedrig | Mittel | Hoch |
| Organisations-/ Projektspezifisch | Managementunterstützung | Gleichgültig | Beobachtend | Unterstützend | Involviert |
| | Engagement der Prozesseigner | Blockiert | Keine | Lässt es geschehen | Unterstützt |
| | Engagement d. Endnutzer | | | | Macht es möglich |
| | | | | | |
| Process Mining bezogen | Expertise des Analysten | Neuling | Anfänger | Kompetent | Fachkundig |
| | Prozessbewusstsein | Keine | Referentielle | Teilweise | Vollständig |
| Prozessspezifisch | Größe | Groß | | Mäßig | |
| | Komplexität | Hoch | | Mittel | |
| IT-System- und datenbezogen | Qualität der Rohdaten | Niedrig | | Mittel | |
| | Menge der Rohdaten | Klein | | Mäßig | |
| | Rohdatenverfügbarkeit | Keine | | Teilweise | |
| | Qualität des Event Logs | Schlecht | Passend | Gut | Sehr gut |
| | Anzahl der IT-Systeme | >4 | 4 | 3 | 2 |
| | | | | | 1 |
| Aufwand für die Umsetzung | | XXL | XL | L | M |
| | | | | | S |

Bild 3-6: Ansatz zur Bewertung von PM Use Cases nach EGGER ET AL. [EHZ+23, S. 5]

Die zweite Meta-Dimension ist **PM bezogen** und unterteilt sich in die Expertise des (Prozess-) Analysten und das Prozessbewusstsein. Die Expertise des Analysten fasst die Fähigkeiten und Erfahrungen der Angestellten mit PM zusammen. Prozessbewusstsein beschreibt, wie gut sich das Projektteam mit dem untersuchten Prozess und den eingesetzten IT-Systemen auskennt.

Die **prozessspezifische** Meta-Dimension unterteilt sich in die Dimensionen Größe und Komplexität. Die beiden Dimensionen beschreiben die Menge an Prozessinstanzen und den Grad der Standardisierung. Die Meta-Dimension beschreibt somit die Schwierigkeit des untersuchten Prozesses.

Die letzte Meta-Dimension ist **IT-System- und datenbezogen** und umfasst fünf Dimensionen. Die erste Dimension Qualität der Rohdaten bezieht sich auf den Grad, in dem die Daten für die Erstellung eines Event Logs verwendet werden können. Die zweite Dimension Menge der Rohdaten beschreibt die Quantität der (historischen) Daten. Die Rohdatenverfügbarkeit hingegen beschreibt, ob die Daten für den betrachteten Use Case verfügbar und zugänglich sind. Die Dimension Qualität des Event Logs beschreibt die Vollständigkeit, Belastbarkeit und allgemeine Qualität eines aus der Vorverarbeitung

entstandenen Event Logs. Die letzte Dimension Anzahl der IT-Systeme stellt die Anzahl der im Prozess vorkommenden IT-Systeme fest, wobei mehr IT-Systeme schlechter sind, da es mehr Arbeitsaufwand bedeutet.

Die Anwendung der Taxonomie kann bspw. über Interviews erfolgen. Jede Dimension verfügt über qualitative Ausprägungen, die sich an gängiger Literatur orientieren. Nach der Bewertung werden die verschiedenen Stufen gemittelt, um zu einer abschließenden Bewertung je Hälfte zu gelangen. Es werden keine Informationen bereitgestellt, welche Kombination von Bewertungen erstrebenswerte Anwendungsfälle sind.

Bewertung: Die Taxonomie von EGGLERS ET AL. [EHZ+23] bietet eine detaillierte Möglichkeit der Bewertung von PM Use Cases. Die Taxonomie ist leicht verständlich und umfasst viele Charakteristiken, die das Potential und den Aufwand von PM Use Cases beschreiben. Die praktische Anwendung der Taxonomie ist jedoch von Logikbrüchen gesäumt. Erstens wird keine Information geliefert, wie die verschiedenen Ausprägungen zu mitteln sind, um auf die abschließende Bewertung zu kommen. Auch wird nicht dargestellt, welche Use Case Bewertungen erstrebenswert sind. Zweitens bieten die Dimensionen Potential zur Nachbesserung. So erscheinen die Dimensionen Menge und Verfügbarkeit von Rohdaten redundant. Auch ist die Qualität des Event Logs nicht bewertbar, ohne diesen vorverarbeitet zu haben, was bereits der erste Schritt eines Projekts ist (vgl. Abschnitt 2.4.3). Eine Verwendung des Ansatzes in der Praxis ist daher fraglich.

Die Taxonomie stellt durch die Meta-Dimension Potential rudimentäre Anwendungsfälle zur Verfügung (A2). Eine Bewertungsmöglichkeit für PM Use Cases ist umfassend geben (A3). Indirekt werden übergeordnete Erfolgskriterien für PM in Unternehmen geliefert, bspw. durch Dimensionen wie die Prozessorientierung von Mitarbeitenden (A8). Die zwei Anforderungen A2 und A8 sind daher teilweise und A3 vollständig erfüllt.

3.2.4 Ansatz zur Bewertung von PM Use Cases nach ROTT UND BÖHM

Einen weiteren Ansatz zur Bewertung von PM Use Cases bieten ROTT UND BÖHM (u. a. Technische Universität München) [RB22]. Der Ansatz ist auf der *ECIS* veröffentlicht. Dem Design Research Paradigma von HEVNER ET AL. [HMP+04] folgend identifizieren die Autoren insgesamt 20 Kriterien für die Bewertung von PM Use Cases. Die 20 Kriterien unterteilen sich weiter in sechs Gruppen. Diese sechs Gruppen sind in der ersten Spalte, die 20 Kriterien in der zweiten und deren Definition in der dritten Spalte in Tabelle 3-1 dargestellt.

Die erste Kriteriengruppe ist die **geschäftliche Bedeutung**, welche beschreibt wie sehr ein Unternehmen von dem untersuchten Prozess abhängig ist. Die Autoren stellen fest, dass ein für PM geeigneter Prozess regelmäßig ausgeführt wird, viele Kosten verursacht und viel Gewinn erzielt. Zudem sollten Domänenexperten den zu untersuchenden Prozess als relevant einschätzen und mit der Unternehmensstrategie übereinstimmen.

Die zweite Kriteriengruppe ist **Herausforderung und Probleme**. Diese Gruppe bewertet, inwiefern der zu untersuchende Prozess komplex ist und wie stark externe Unternehmen an dessen Ausführung beteiligt sind. Für PM relevante Prozesse müssen mehrere Varianten besitzen. Außerdem sollten erste Schwachstellen im Prozess bekannt sein.

Die **Mitarbeiter Kompetenz** ist die dritte Kriteriengruppe. Die an dem PM Projekt beteiligten Akteure sollten einerseits technisch geschult sein und wissen, wie die notwendigen Daten extrahiert werden können. Andererseits muss auch Analysefachwissen vorhanden sein die extrahierten Daten auszuwerten.

Die vierte Kriteriengruppe beschreibt den **Umfang der Daten**, der sich aus den vorhandenen IT-Systemen und deren Anbindung an das PM Werkzeug, der Menge und Verfügbarkeit von Daten und der Datenqualität zusammensetzt.

Die **Unterstützung der Organisation** beschreibt den Umfang der Unterstützung auf verschiedenen Ebenen. Dies umfasst die Unterstützung durch das Management, die Mitarbeitenden als auch der Organisation selbst.

Die letzte Kriteriengruppe deckt das **Potential für die Organisation** ab. Dies stellt die Kosten für die PM Umsetzung mit den qualitativ und quantitativ zu erwartendem Mehrwert gegenüber.

ROTT UND BÖHM demonstrieren die Nutzung ihres Fragekatalogs am Beispiel des Flughafens München und vergleichen fünf Prozesse. Dafür bewerten sie die gesamte Kriteriengruppe mit einer Likert-Skala von eins bis drei vor dem Hintergrund der enthaltenen Kriterien. Anschließend werden die Kriteriengruppe gewichtet. Danach wird ein Ranking erstellt.

Tabelle 3-1: Ansatz zur Bewertung von PM Use Cases nach ROTT UND BÖHM [RB22, S. 9]

| Kriterien-gruppe | Kriterien | Beschreibung |
|----------------------------|-----------------------|---|
| Ge-schäftli-che Be-deutung | Frequenz | Beschreibt die Häufigkeit und die Intervalle der Ausführung des bewerteten Prozesses |
| | Prozess -kosten | Umfasst alle Kosten, die mit der Prozessdurchführung und -optimierung verbunden sind; Dieser Betrag enthält Material- und Arbeitskosten |
| | Prozessein-kommen | Bezieht sich auf Einnahmen, die durch die Ausführung von Prozessen erzielt werden |
| | Priorisierung | Experteneinschätzung der Priorität und Relevanz des Prozesses |
| | Strategische Relevanz | Beschreibt, ob die Einführung von PM für den spezifischen evaluierten Prozess mit der Unternehmensstrategie übereinstimmt |

| Kriterien-gruppe | Kriterien | Beschreibung |
|--------------------------------|---------------------------------|---|
| Herausforderungen und Probleme | Komplexität | Umfasst Faktoren, die die Ausführung, Analyse und Optimierung des Prozesses erschweren und damit die Komplexität erhöhen |
| | Externe Partner | Darstellung, wie externe Partner/Organisationen an der Durchführung, Analyse und Optimierung des Prozesses beteiligt sind und welche Abhängigkeiten bestehen |
| | Abweichungen / Prozessvarianten | Zeigt Abweichungen vom Standardprozess und damit Prozessvarianten, die bei der Durchführung, Analyse und Optimierung des Prozesses berücksichtigt werden müssen |
| | Prozessuale Schwäche | Beschreibt Schwachstellen und Probleme, die derzeit bei der Prozessdurchführung auftreten |
| Mitarbeiter-kompetenz | Technologische Fertigkeiten | Fasst die Fähigkeiten der Mitarbeiter zusammen, um Daten bereitzustellen und IT-Systeme für die Anwendung von PM zu verbinden |
| | Analytische Fähigkeiten | Fasst die Fähigkeiten der Mitarbeiter zusammen, mit Hilfe von PM aussagekräftige Analysen durchzuführen, die zur Aufdeckung wertvoller Erkenntnisse und zur Entwicklung von Maßnahmen zur Prozessoptimierung führen |
| Umfang der Daten | Datenlieferndes IT-System | Umfasst die IT-Systeme, die Daten liefern und daher mit der PM Software verbunden sein müssen, um eine laufende Analyse und Optimierung zu gewährleisten |
| | Datenverfügbarkeit und -menge | Enthält Informationen über die (Meta-)Daten, die für die PM Analyse zur Verfügung gestellt werden können |
| | Datenqualität | Beschreibt die Datenqualität und gibt damit an, wie jemand die bereitgestellten Daten für die PM Analyse nutzen kann |
| Unterstützung der Organisation | Management-support | Zeigt, inwieweit das Topmanagement im Allgemeinen und das mittlere Management aller am Prozess beteiligten Geschäftsbereiche die Einführung von PM unterstützen |
| | Mitarbeiterunterstützung | Zeigt, inwieweit die Mitarbeiter die Einführung von PM unterstützen und sich für eine kontinuierliche Anwendung von PM einsetzen |
| | Organisationsunterstützung | Zeigt das Ausmaß, in dem die Mitarbeiterorganisationen die Einführung von PM unterstützen |
| Potential für die Organisation | Qualitatives Potential | Beschreibt das erwartete, qualitative Potenzial der PM Einführung |
| | Quantitatives Potential | Beschreibt das erwartete, quantitative Potenzial der PM Einführung |
| | Kosten der Umsetzung | Beschreibt quantitativ die Ausgaben, die sich aus der Einführung von PM ergeben |

Bewertung: ROTT UND BÖHM [RB22] präsentieren einen umfassenden Katalog an Kriterien, die eine Bewertung von Prozessen hinsichtlich des Nutzenpotentials für PM

ermöglichen. Dies hat den Vorteil, dass Use Cases nicht aufwändig identifiziert werden müssen, da die (Geschäfts-) Prozesse bereits die Use Cases sind. Durch die Bewertung der Datenausgangslage und der Geschäftsrelevanz findet zudem indirekt eine Aufwand-Nutzen-Bewertung statt. Jedoch bleibt die praktische Nutzung an zwei Stellen fraglich. Zum einen werden Prozesse und Use Cases Synonym verstanden. Es fehlt eine Reflektion der Möglichkeiten unterschiedlicher PM Techniken. Zum anderen ist der Bewertungsgegenstand diffus und nicht einheitlich. Während bspw. der *Scope of Data* oder der *Organizational Support* individuell für einen Prozess sein können, sind *Employee Skills* dies nicht notwendigerweise, da PM häufig von dedizierten Initiativen durchgeführt werden. Da der Ansatz durch das Verwenden einer Likert-Skala und der Bewertung der gesamten Kriteriengruppe in der Anwendung simpler erscheint als der Ansatz von EGGERS ET AL. (vgl. Abschnitt 3.2.3), bietet der Ansatz von ROTT UND BÖHM Potential für eine Integration in die zu entwickelnde Systematik.

Die Autoren liefern eine Bewertungsmöglichkeit für Use Cases (A3) und bieten einen groben Überblick über die Erfolgskriterien für PM in Organisationen (A8). Die Anforderung A3 ist daher vollständig und A8 teilweise erfüllt.

3.2.5 PM Use Case Canvas nach HARDJOSUWITO ET AL.

Mit der PM Use Case Canvas präsentieren HARDJOSUWITO ET AL. (RWTH Aachen) [HBS+23] eine Workshopmethode zur strukturierten Sammlung von Aspekten eines PM Use Case. Durch dieses Sammeln und zentrierte Dokumentieren findet eine Spezifikation des Use Cases statt. Die Canvas wurde auf der *CPSL* vorgestellt. Die Autoren folgen bei der Erforschung einem pragmatischen Ansatz, bei dem über das Problem berichtet wird, vergleichbare Lösungen betrachtet werden und abschließend die Lösung präsentiert wird. Die Canvas ist in Bild 3-7 dargestellt und wird nachfolgend erläutert.

Die Aspekte umfassen die Ausgangslage, den untersuchten Prozess, das Analyseziel, das Datenmanagement und die involvierten Personen. Die Idee der Canvas ist nicht, alle Aspekte vollkommen zu spezifizieren, sondern eine initiale Struktur zu bieten, die im Projektverlauf vertieft werden kann.

In der **Ausgangssituation** werden verschiedene Informationen über die Ausgangslage für das Projekt gesammelt. Dies umfasst bspw. bekannte Schwachstellen im Prozess oder die Herausforderungen, warum diese Schwächen noch nicht beseitigt werden konnten. Zudem wird die Ausgangssituation hinsichtlich der Kompetenz der Belegschaft in Bezug auf neue Technologien sowie dessen Akzeptanz festgehalten.

Über den zu untersuchenden **Prozess** werden grobe Beschreibungen und Schritte gesammelt. Zudem wird im Umfang des Prozesses festgehalten, was der Start- und Endpunkt des Prozesses ist. Mithilfe der Prozesstiefe und der Dokumentation wird die Flughöhe bzw. die vorhandenen Informationen über den Prozess abgefragt.

| Ausgangssituation | Prozess | Ziel der Analyse | Datenmanagement | Beteiligte Personen |
|----------------------|----------------------|--------------------|----------------------------|---------------------|
| Schwachstellen | Prozessname | Allgemeine Ziele | Anforderungen an die Daten | Projektteam |
| Gründe | Prozessbeschreibung | Analysetyp | Verfügbarkeit von Daten | |
| Herausforderungen | Umfang des Prozesses | Frequenz | Qualität der Daten | |
| Technologiekompetenz | Prozesstiefe | (Monetärer) Nutzen | Zeithorizont | |
| Technologieakzeptanz | Prozessdokumentation | Umsetzungsaufwand | Systeme | |
| | | Risiken | | Stakeholders |

Bild 3-7: *Process Mining Use Case Canvas nach HARDJOSUWITO ET AL. [HBS+23, S. 4]*

Über das **Ziel der Analyse** werden zum einen die Ziele des Projekts gesammelt. Anschließend können die notwendigen PM Use Cases bzw. Typen definiert und eine Einordnung als deskriptiv, diagnostisch, prädiktiv oder präskriptiv erfolgen. Die Frequenz dokumentiert die Regelmäßigkeit der Analyse. Schlussendlich wird der zu erwartende Nutzen, der Umsetzungsaufwand und mögliche Risiken festgehalten.

Im Bereich des **Datenmanagements** wird basierend auf der angezielten Analyse abgeleitet, wie ein idealer Datensatz aussieht und welche Charakteristiken dieser besitzt. Anschließend kann bewertet werden, inwiefern die Daten verfügbar und qualitativ sind und welcher Zeitraum für die Analyse in Frage kommt. Auch werden die involvierten IT-Systeme dokumentiert.

Abschließend werden die **beteiligten Personen** näher beschrieben, wobei insbesondere das Projektteam und die notwendigen Rollen sowie die durch das Projekt betroffenen Stakeholder beschrieben werden.

Die Canvas wurde bei zwei klein- und mittelständischen Industriebetrieben angewendet und validiert. Für die Anwendung wurde die Canvas den Industriebetrieben vorab zugesendet, sodass relevante Informationen zusammengetragen werden konnten. Die Autoren empfehlen, Domänenexperten im Vorhinein über die Möglichkeiten des PMs zu sensibilisieren, um einen effektiven Workshop durchzuführen. Über die größten Schwachstellen können initiale erste Use Cases identifiziert werden, die anschließend mithilfe der PM Use Case Canvas weiter spezifiziert werden können.

Bewertung: HARDJOSUWITO ET AL. [HBS+23] präsentieren eine praxisorientierte Workshopmethode, die mit zwei Industriebetrieben validiert wurde. Die Canvas deckt viele

relevante Punkte ab, die für den Erfolg von PM Use Cases wichtig sind. Die Autoren schreiben stellenweise von einer Bewertung der einzelnen Aspekte, es wird jedoch nicht näher darauf eingegangen, inwiefern diese Bewertung durchführbar ist. Mögliche Use Cases werden rudimentär identifiziert, indem die erste Kachel „Weaknesses“ mögliche Analysefragen für das PM aufwirft. Zusammenfassend kann die PM Use Case Canvas eher als eine PM *Project* Canvas verstanden werden. Die Canvas trägt Aspekte der Projektplanungsphase (vgl. Abschnitt 2.4.3), wie z. B. das Projektteam, die Risiken, oder die verfügbaren Daten zusammen, als dass ein Use Case charakterisiert wird.

Der Ansatz adressiert somit teilweise Fertigungsprozesse (A1), die Bewertung und Identifikation von Use Cases (A2 und A3) und die Identifikation von Prozess- und Datenwissen (A5). Die Anforderungen A1, A2, A3 und A5 werden daher teilweise erfüllt.

3.3 Ansätze zur Durchführung von Process Mining Projekten in Fertigungsprozessen

Das zweite Handlungsfeld (vgl. Abschnitt 2.5) ist charakterisiert durch die Herausforderung, PM Projekte in Fertigungsprozessen durchführen zu können. Dieser Abschnitt präsentiert dem typischen PM Projektverlauf folgend Ansätze zur Identifikation von Datenquellen, zur Datenvorverarbeitung und zur Durchführung von PM Analysen. In **Abschnitt 3.3.1** wird die Data Analytics Canvas nach KÜHN ET AL. vorgestellt, welche Analytics Use Cases mit den existierenden Datenquellen verbindet. **Abschnitt 3.3.2** präsentiert die Workshopmethode der Datenlandkarte nach JOPPEN ET AL., mit der Datenflüsse und -quellen im Fertigungsumfeld aufgenommen werden. Anschließend werden zwei PM spezifische Ansätze zur Datenvorverarbeitung und zur Analyse dargestellt. In **Abschnitt 3.3.3** wird der Ansatz zur Erstellung eines Event Logs aus Sensordaten nach VAN ECK ET AL. erläutert. **Abschnitt 3.3.4** präsentiert einen Analysekatalog von LASHKEVICH ET AL. zur Unterstützung der Analyse und Mining Phase. Weitere Ansätze finden sich im Anhang A2.4.

3.3.1 Data Analytics Canvas nach KÜHN ET AL.

In der Schnittstelle zwischen Use Cases und der Projektdurchführung stellen KÜHN ET AL. (u. a. Fraunhofer IEM) [KJR+18] eine semi-formelle Spezifikationstechnik zur Beschreibung von Data Analytics Use Cases namens Data Analytics Canvas vor. Die Analytics Canvas wurde auf der *CIRP Design Conference* veröffentlicht. Die Forschungsmethode folgt dem klassischen Maschinenbauansatz, bei dem ein praktisches Problem analysiert und eine Lösung (i. F. v. der Data Analytics Canvas) entwickelt wird. Die Analytics Canvas besitzt die fünf Ebenen (1) Analytics Use Case, (2) Datenanalyse, (3) Datenpools, (4) Datenbeschreibung und (5) Datenquellen. Im Gegensatz zu der Anordnung in der Canvas, werden die Ebenen in der Reihenfolge eins, vier, drei, zwei ausgefüllt und nachfolgend beschrieben.

Als erstes wird der **(1) Analytics Use Case** spezifiziert. Dies ist vergleichbar mit dem ersten Schritt in dem CRISP-DM Vorgehensmodell (vgl. Anhang A2.1.6). Hier werden erstrebenswerte Use Cases mit Potentialen für die Produktion festgehalten. Als zweites werden die **(5) Datenquellen** identifiziert. Hier werden Maschinen, Anlagen, Steuerungen oder auch IT-Systeme dokumentiert, die Daten erzeugen können, die relevant für den identifizierten Use Case sind. Anschließend wird die **(4) Datenbeschreibung** dokumentiert. Dazu werden die für den Use Case relevanten Daten in den Datenquellen beschrieben. Im Rahmen der **(3) Datapools** wird festgehalten, wo sich diese Daten finden lassen. Dies sind typischerweise Datenbanken. Abschließend wird festgehalten, ob es sich bei der **(2) Datenanalyse** um einen deskriptiven, diagnostischen, prädiktiven oder präskriptiven Anwendungsfall handelt.

Zur Spezifikation entlang der verschiedenen Ebenen werden die Elemente basierend auf der Prozessmodellierungssprache OMEGA (vgl. Abschnitt 2.3.1) verwendet. Eine Besonderheit der Data Analytics Canvas ist, dass auch fehlende Information eingetragen und modelliert werden können. Dadurch besteht die Möglichkeit, dass auch für einen Use Case relevante Objekte, die zurzeit noch fehlen, festgehalten werden können.

Bewertung: Die Data Analytics Canvas nach KÜHN ET AL. [KJR+18] ermöglicht es Unternehmen, die vorhandenen und benötigten Daten für geplante Use Cases zu skizzieren. Es stellt somit eine Schnittstelle zwischen identifizierten Anwendungsfällen und den ersten Schritten in Datenprojekten dar. Jedoch ist der Ansatz wenig prozessorientiert und nicht PM spezifisch.

Der Ansatz ist speziell für das Fertigungsumfeld geschaffen (A1) und bietet eine grundlegende Unterstützung bei der Strukturierung von Prozess- und Datenwissen (A5) sowie der Vorverarbeitung von Sensordaten (A6). Die Anforderungen A1 und A6 sind daher vollständig und die Anforderung A5 teilweise erfüllt.

3.3.2 Datenlandkarte nach JOPPEN ET AL.

Die Datenlandkarte nach JOPPEN ET AL. (u. a. Fraunhofer IEM) [JEK+19] ist eine Workshopmethode zur Identifikation, Darstellung und Analyse von Datenflüssen innerhalb der Produktion. Die Datenkarte wurde auf der *CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering ICME* veröffentlicht. Die Erforschung folgt einem klassischen Maschinenbauansatz, indem über Probleme und bestehende Lösungen berichtet wird und anschließend die Lösung erarbeitet wird. Die Idee der Datenlandkarte ist, entlang des Prozessverlaufs mögliche Datenquellen zu identifizieren. Im Gegensatz zu der Data Analytics Canvas (vgl. Abschnitt 3.3.1) ist das Ziel somit nicht die Identifikation und Analyse von Datenquellen für einen speziellen Anwendungsfall, sondern vielmehr die allgemeine Inventarisierung von möglichen Datenquellen entlang eines Prozessverlaufs. Dazu unterteilt die Datenlandkarte die vier Ebenen (1) Prozess, (2) Dokument, (3) System/Ressource und (4) Informationselement, welche wie sogenannte Swimlanes horizontal angeordnet sind.

Auf der ersten Ebene der **(1) Prozesse** wird der initiale Prozessverlauf festgehalten. Dazu können bestehende Prozessmodellierungen genutzt werden. In der zweiten Ebene der **(2) Dokumente** werden informationstragende Objekte dokumentiert. Diese können sowohl digital als auch analog vorliegen. Anschließend werden die **(3) Systeme / Ressourcen** festgehalten, welche die informationstragenden Objekte erzeugen. Es wird unterteilt zwischen IT-Systemen, bspw. ERP oder MES und Ressourcen, bspw. Maschinen und Anlagen, die Informationen erzeugen können. Abschließend werden die **(4) Informationselemente** genauer spezifiziert. Dafür wird festgehalten, welche Daten in den informationstragenden Objekten wiederzufinden sind.

Die Datenlandkarte orientiert sich in ihrer Notation an den Elementen der Prozessmodellierungssprache OMEGA (vgl. Abschnitt 2.3.1). Die Autoren empfehlen das Ausfüllen der Datenlandkarte, indem von oben nach unten in jeder Swimlane die wesentlichen Objekte identifiziert werden. Anschließend können die Informationsflüsse dokumentiert werden. Die Anwendbarkeit der Datenlandkarte wird an einem Beispiel aus dem Maschinenbau validiert.

Bewertung: JOPPEN ET AL. [JEK+19] präsentieren mit der Datenlandkarte eine Methode zur Identifikation von Datenquellen in der Produktion. Die Datenlandkarte hat die Arbeit vieler weiterer Autoren inspiriert und somit verschiedene Anpassungen bspw. für spezielle Domänen erfahren. Durch den Fokus auf Produktion, Prozesse und Daten ist die Datenlandkarte vermeintlich ideal geeignet für PM Projekte in der Fertigung. Zwei Aspekte verhindern jedoch eine breite Adaption der Datenlandkarte für PM Projekte. Zum einen ist das Ziel von PM, Prozesse anhand von Daten darzustellen. Alle Daten entlang der Prozesse zu identifizieren ist somit kontraintuitiv. Zum anderen ist die Datenlandkarte nicht auf die Besonderheiten des PMs zugeschnitten. Dies umfasst insbesondere die Strukturen eines Event Logs und ggf. die Relation verschiedener Datenquellen untereinander zur Bildung des Event Logs. Eine Verwendung in PM Projekten müsste somit geprüft werden.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Datenlandkarte für das Fertigungsumfeld entwickelt wurde (A1), strukturiert Prozess- und Datenwissen identifiziert (A5) und durch die Einordnung von Sensordaten in den Prozessverlauf auch Hilfestellung bei deren Vorverarbeitung bieten kann (A6). Der Ansatz erfüllt die Anforderungen A1 daher vollständig und die Anforderungen A5 und A6 teilweise.

3.3.3 Ansatz zur Erstellung von Event Logs aus Sensordaten nach VAN ECK ET AL.

Der Ansatz zur Erstellung von Event Logs aus Sensordaten nach VAN ECK ET AL. (TU Eindhoven) [vSv16] befasst sich mit der Aufbereitung von Sensordaten für das PM. Der Ansatz wurde auf der *RCIS* veröffentlicht. Die Erforschung folgt keinem expliziten Vorgehen, sondern kombiniert verschiedene, in der Literatur bekannte Konzepte zu einem ganzheitlichen Vorgehen. Das Vorgehen wird an einer Case Study mit dem Unternehmen

Philips validiert. Am Beispiel eines intelligenten Produkts, werden die beiden Sensormesswerte Temperatur und Beschleunigung in einen Event Log überführt.

Der Ansatz von VAN ECK ET AL. besteht aus sechs Schritten, die aus einem gegebenen Datensatz mit Sensordaten einen Event Log erstellen. Ziel ist es, atomare Sensormesswerte menschlichen Aktivitäten zuzuordnen. Der erste Schritt ist die **Segmentierung der Sensordaten**. Dafür werden Fensterbreiten bestimmt und die Messwerte einem Fenstersegment zugeordnet. Die Fensterbreite ist beliebig, sollte jedoch so gewählt werden, dass Veränderungen in den Sensorwerten erkannt werden können. Anschließend erfolgt eine **Berechnung von Attributen**. Mithilfe von Domänenwissen werden die Sensordaten so transformiert, dass aussagekräftige Attribute über die Fenster bestimmt werden können. Auf Basis dieser Attribute erfolgt eine **Clusterung der Fenster**. Die Fenster erhalten vorerst ein zufälliges Label. Jedes Cluster enthält nun Fenster, die ein ähnliches Verhalten aufweisen. Diese Clusterung kann mit gängigen Machine Learning Algorithmen durchgeführt werden. Domänenexperten können anschließend eine **Interpretation der Cluster** vornehmen. Die zuvor zufälligen Labels der Cluster werden durch Namen bzw. Beschreibungen ersetzt. Die Interpretation kann entweder auf Basis der Durchschnittswerte je Cluster oder auf Basis der zentralsten Beobachtung erfolgen. Nachdem jedes Cluster interpretiert wurde, erfolgt die **Zusammenführung von Clustern zu Aktivitäten**. Bei unterschiedlichen Messfrequenzen erfolgt in diesem Schritt das Zusammenführen von unterschiedlichen Messwerten zu einem gesamten Zeitraum. Auch kann eine Bereinigung von fehlerhaft erkannten Clustern erfolgen, sodass längere Abschnitte in den Clustern identifiziert werden. Diese zusammengelegten Cluster können nun Aktivitätennamen erhalten. Abschließend werden **Prozessinstanzen erstellt**, indem markante Aktivitäten identifiziert werden, die den Start oder das Ende eines Prozessdurchlaufs markieren.

Bewertung: Der Ansatz von VAN ECK ET AL. [VSV16] zur Erstellung eines Event Logs aus Sensordaten ist eine wegweisende Veröffentlichung, welche ein strukturiertes, allgemeingültiges Vorgehen zum Arbeiten mit Sensordaten im PM beschreibt. Im Gegensatz zu vielen anderen Ansätzen ist die Lösung auch auf kontinuierliche Flüsse von Sensordaten anwendbar [vML+21]. Da für die Validierung nur zwei Sensormesswerte (Temperatur und Rotation) herangezogen werden, muss die Anwendung in der Praxis geprüft werden. Auch lässt die Entwicklung und Validierung mithilfe von Produktsensordaten die Frage offen, ob der Ansatz problemlos auf die Fertigung übertragbar ist.

Der Ansatz erfüllt somit stellenweise die Identifikation von relevanten Prozessdaten (A5) und vollständig die Vorverarbeitung von Sensordaten (A6). Die Anforderung A5 wird somit teilweise und A6 vollständig erfüllt.

3.3.4 Analysevorlagen nach LASHKEVICH ET AL.

LASHKEVICH ET AL. (Universität Tartu) [LMD23] präsentieren Analysevorlagen, welche die Mining & Analyse und die Prozessverbesserungsphase (vgl. Abschnitt 2.4.3, Bild 2-11) adressieren und verbinden. Die Analysevorlagen wurden auf der ECIS vorgestellt.

Die Autoren berichten über ihr dreischrittiges Forschungs-Design, indem sie über drei systematische Literaturrecherchen zunächst die Analysevorlagen erarbeiten, um anschließend mithilfe von zwei Studentengruppen deren Wirksamkeit zu validieren. Insgesamt identifizieren die Autoren 22 Prozessverbesserungsmöglichkeiten, die mit PM identifizierbar sind. Dieser unterteilt sich in die folgenden sieben Gruppen:

- **Aktivitätspezifisch:** Das Verhalten von Aktivitäten, bspw. sehr lange Dauer.
- **Ressourcenspez.:** Das Nutzungsverhalten von Ressourcen, bspw. Überlastung.
- **Aktivitäten-Ressourcenspez.:** Das Zusammenspiel von Aktivitäten und Ressourcen, bspw. „Ping-Pong“-Verhalten.
- **Kontrollflussspez.:** Das Verhalten besonderer Prozessabläufe, bspw. Nacharbeit.
- **Zeit:** Das zeitlich ineffiziente Verhalten, bspw. unnötige Wartezeiten.
- **Verschwendungen:** Die Überproduktion und das Durchführen von unnötigen Prozessen
- **Prozessspez.:** Der allgemeine Zustand des Prozesses, bspw. der Variantenvielfalt.

Für jede der 22 Prozessverbesserungsmöglichkeiten durch PM wird eine Analysevorlage bereitgestellt. Eine beispielhafte Vorlage ist in Bild 3-8 dargestellt. Jede Analysevorlage ist gleich aufgebaut. Insgesamt umfassen alle Analysevorlagen 79 Seiten.

Die Analysevorlagen beginnen zunächst mit einem der 22 (1) **Namen für die Verbesserungsmöglichkeiten** und einer kurzen (2) **Definition**. Anschließend wird ein anschauliches (3) **Beispiel** gegeben, welches das Konzept der Verbesserungsmöglichkeit darstellt. In Bild 3-8 wird für die Verbesserungsmöglichkeit „große Aktivitäten“ das Beispiel gegeben, dass bei einer Versicherung die Bewertung eines Schadenevents sehr viel Zeit in Anspruch nimmt, da die Aktivität viele Sub-Schritte beinhaltet. Die (4) **minimalen Ansprüche** an die Daten listen die Attribute auf, die der Event Log mindestens benötigt.

Im Zentrum der Analysevorlagen steht die (5) **Anleitung zur Identifikation der Prozessverbesserungsmöglichkeit** mittels PM. Diese Anleitung umfasst eine detaillierte Schritt-für-Schritt Abfolge mit Screenshots und Erklärungen, wie im PM Tool Apromore die Prozessverbesserungsmöglichkeit in einem gegebenen Event Log identifiziert werden kann. Für jede dieser Verbesserungsmöglichkeiten werden zusätzlich eine oder mehrere (6) **Re-Design** Möglichkeiten geboten, welche die Analyseerkenntnisse in eine Prozessoptimierung verwandeln würde. Abschließend werden für die Vollständigkeit noch die (7) **Referenzen** genannt.

Die Autoren validieren über eine Interviewstudie und Umfrage. Sie stellen fest, dass die Analysevorlagen leicht zu nutzen sind und einen Mehrwert in PM Projekten bieten.

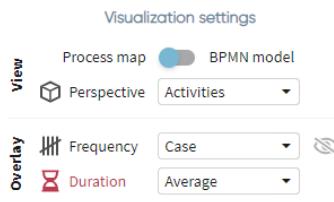
| | | | | |
|---|--|---|--|---|
| 1. Improvement opportunity (IO) | Large activities | | | |
| 2. Definition | Activities that have many procedures and a long processing time. | | | |
| 3. Examples | In the insurance claims handling process, "Assess claim" is a large activity because it takes a long time to perform and requires many functional procedures. | | | |
| 4. Minimum data needed | Activities, start timestamps, end timestamps. | | | |
| 5. Guideline on how to identify this IO | # | Step | Apromore example | |
| | 1 | 1) Open an event log in the process discoverer. 2) In the <i>Visualization settings</i> , select <i>Duration overlay</i> and choose <i>Average</i> . In the <i>View</i> section, choose the <i>Activities</i> perspective. |  | Result of the step: generated process map based on activity perspective and average duration. |
| | 2 | From the process map, find activities with the longest processing time that can potentially be decomposed into smaller tasks. List these activities. |  | The darker the activity, the longer the processing time. In the example, a large activity is circled in blue. Result of the step: large activities. |
| | Output: large activities. | | | |
| 6. Redesign possibilities | <ul style="list-style-type: none"> - Decompose a large activity into several small ones. - Divide a general activity into several alternative tasks that are better aligned with the capabilities of resources and types of cases. | | | |
| 7. References | <p>7.1. References to the academic literature (Souza <i>et al.</i>, 2017)</p> | | | |

Bild 3-8: Beispielhafte Analysevorlage für große Aktivitäten nach LASHKEVICH ET AL. [LMD23, S. 8f.]

Bewertung: LASHKEVICH ET AL. [LMD23] stellen mit ihrem Katalog an Analysevorlagen eine praxisorientierte Lösung bereit. Die Analysevorlagen ermöglichen es Anwendern die PM Projektphase Mining & Analyse systematisch durchzuführen. Zudem werden für die Analysen auch Prozessverbesserungsmöglichkeiten bereitgestellt. Als einziger Kritikpunkt lässt sich festhalten, dass der Katalog sehr umfangreich ist.

Da der Katalog das Lean Management Konzept der Verschwendungen inkludiert, ist der Ansatz an der Fertigung orientiert (A1). Die Analysevorlagen stellen eine detaillierte Aufschlüsselung von möglichen PM Anwendungsfällen dar (A2). Die Analysevorlagen ordnen sich vollständig in ein existierendes Vorgehensmodell ein (A4) und bieten umfangreiche Hilfe bei der Mining & Analyse Phase (A7). Die Anforderungen A1 und A2 werden somit teilweise und die Anforderungen A4 und A7 vollständig erfüllt. Der Katalog bietet hohes Potential dafür, in zusammengefasster und übersetzter Form, in der zu entwickelnden Systematik aufgegriffen zu werden.

3.4 Ansätze zum Reifegradmanagement von Process Mining in Organisationen

Das dritte Handlungsfeld (vgl. Abschnitt 2.5) ist charakterisiert durch die Herausforderung von Organisationen, ihre PM Initiativen langfristig zu etablieren und zu entwickeln. In diesem Abschnitt werden daher unterstützende Ansätze zur Verbesserung von PM Initiativen in Organisationen vorgestellt. Zusätzlich werden Ansätze zum Reifegradmanagement von PM Initiativen dargestellt. In **Abschnitt 3.4.1** wird ein etabliertes Event Log Reifegradsystem der IEEE TASK FORCE ON PM vorgestellt. **Abschnitt 3.4.2** stellt die von MAMUDU ET AL. identifizierten kritischen Erfolgsfaktoren für PM Projekte dar. Das CMMI in **Abschnitt 3.4.3** stellt ein allgemeingültiges Reifegradmodell vor. Der **Abschnitt 3.4.4** präsentiert das im PM weit verbreitete BPM Fähigkeitenmodell von KERPEDZHIEV ET AL. In **Abschnitt 3.4.5** wird das PM Reifegradmodell nach JACOBI ET AL. vorgestellt. **Abschnitt 3.4.6** stellt das PM Reifegradmodell von VAN DER LINDEN vor.

3.4.1 Reifegradstufen für Event Logs der IEEE TASK FORCE ON PM

PM funktioniert mit Daten. Daher bietet das PM Manifest der IEEE TASK FORCE ON PM [AAM+12] eine eindimensionale Skala für die Bewertung der Reife von Event Logs in Organisationen. Die Skala bewertet die Qualität eines gegebenen Event Logs hinsichtlich der Anwendbarkeit von PM. Die Skala kennt fünf Level, die mithilfe von Sternen (★) das erreichte Level verdeutlichen.

Auf dem **niedrigsten Level (★)** sind aufgezeichnete Ereignisse unvollständig und entsprechen nicht der Realität. Dies entspricht typischerweise manuellen Aufzeichnungen. Auf dem **zweiten Level (★★)** werden Ereignisse automatisch aufgezeichnet. Es ist nicht systematisch definiert welche Informationen aufgezeichnet werden. Dadurch besteht keine Garantie auf Vollständigkeit und es ist prinzipiell möglich, die Aufzeichnung zu umgehen. Auf dem **drei Sterne Level (★★★)** existiert eine grundsätzliche Gewissheit, dass die Ereignisse der Realität entsprechen. Es existiert jedoch weiterhin kein systematischer Ansatz, alle Ereignisse aufzuzeichnen. Typischerweise sind ERP-Systeme auf dem drei Sterne Niveau. Auf dem **vier Sterne Level (★★★★)** werden Ereignisse systematisch aufgezeichnet, sind verlässlich und prozessorientiert. Dies entspricht Workflow-Systemen. In der **obersten Stufe (★★★★★)** sind Datenschutz- und Datensicherheitsfragen geklärt und es existiert eine definierte Semantik für den aus dem IT-System zu erstellenden Event Log.

Die Idee der Level ist es PM Experten eine ungefähre Vorstellung über die Verlässlichkeit eines gegebenen Event Logs zu bieten. Organisationen, die von PM profitieren wollen, sollten daher darauf hinarbeiten, hochwertige Event Logs erstellen zu können. Das Manifest empfiehlt, PM nur auf den letzten drei Reifegradstufen anzuwenden, da die ersten beiden Stufen zu viel Mehraufwand bedeuten würden.

Bewertung: Die IEEE TASK FORCE ON PM [AAM+12] präsentiert mit der Bewertung der Event Log Reife einen übersichtlichen Ansatz zur Bestimmung der Durchführbarkeit von PM. Durch die klaren Charakteristiken der Reifegradstufen wird es Anwendern erleichtert, die Qualität von Event Logs zu erhöhen. Die Bewertungsskala ist stark auf Event Logs aus genau einem prozessorientierte IT-Systeme ausgelegt, weshalb bspw. Maschinendaten keine Erwähnung finden. Es wird keine Empfehlung abgegeben, wie Event Logs aus mehreren IT-Systemen zu bewerten sind.

Zusammenfassend ermöglicht der Ansatz eine gute initiale Übersicht über die Reife der vorhandenen IT-Systeme und des Unternehmens im Allgemeinen (A8). Durch die klaren Charakteristiken der Reifegradstufen können erste Handlungsempfehlungen für die Optimierung der Datenausgangslage hergeleitet werden (A10). Die Anforderungen A8 und A10 werden somit teilweise erfüllt.

3.4.2 Kritische Erfolgsfaktoren in PM Projekten nach MAMUDU ET AL.

MAMUDU ET AL. (u. a. Queensland University of Technology) [MBW+24] untersuchen die kritischen Erfolgsfaktoren von PM Projekten in Organisationen und deren Beziehung untereinander. Kritische Erfolgsfaktoren sind ein etabliertes Managementkonzept zur Beschreibung von Bereichen in denen positive Ergebnisse einen Wettbewerbsvorteil liefern [Roc79]. Die Erkenntnisse sind in dem Journal *BISE* erschienen. Die Autoren führen einen vierphasigen Forschungsablauf durch, der u. a. zwei Case Studies, Interviews und Literaturrecherchen umfasst³⁴.

Die Autoren identifizieren insgesamt zehn Gruppen an Erfolgsfaktoren, mit insgesamt 31 Sub-Erfolgsfaktoren. Die Gruppen sind mit zusätzlich identifizieren die Autoren 14 Beziehungen zwischen den Erfolgsfaktoren. Nachfolgend wird kurz auf die Ergebnisse eingegangen. Eine umfassende Darstellung aller 31 Sub-Erfolgsfaktoren findet sich im Anhang A2.5.1.

Die erste Gruppe an Erfolgsfaktoren ist die (1) **Unterstützung und Einbindung von Stakeholdern**. Dieser Erfolgsfaktor beschreibt, wie sehr verschiedene Stakeholdergruppen die PM Initiative unterstützen. Relevante Stakeholder sind das Management, externe Partner (bspw. Lieferanten oder Kunden) und Fachexperten. Die (2) **Informationsverfügbarkeit** beschreibt die Menge an verfügbaren, historischen Event Logs. Neben der Menge an Daten ist auch das Vorhandensein von Kontext Informationen relevant für den Erfolg von PM. Als drittes ist die (3) **technische Expertise** ausschlaggebend. Diese umfasst nicht nur das Wissen über PM und dessen Ausführung, sondern auch das Wissen über Datenextraktion und Prozessmanagement. Folglich ist auch die (4) **Teamzusammensetzung** ein Erfolgsfaktor. Dieser Erfolgsfaktor beschreibt, wie die PM Teams in der

³⁴ MAMUDU ET AL. [MBW+24] bauen in dem Journal ihre vorherige Veröffentlichung [MBW+22] aus. Die Autoren stützen sich in der ersten Phase ihres Forschungsablaufs auf die bereits 2013 erstmalig veröffentlichte Liste an kritischen Erfolgsfaktoren im PM nach MANS ET AL. [MRB+13].

Organisation verankert sind. Typischerweise lässt sich zwischen etablierten Initiativen i. F. v. Center of Excellence (vgl. Abschnitt 2.4.4), ad-hoc Projektteams und der Nutzung von externen Beratern unterscheiden. Ein solches Team muss einen (5) **strukturierten PM Ansatz** besitzen. Dieser Erfolgsfaktor beschreibt die typischen Schritte eines PM Projekts (vgl. Abschnitt 2.4.3 und 3.1.1). Sub-Erfolgsfaktoren sind die Teilschritte eines Projekts, wie Datenvorverarbeitung oder Mining & Analysis. Der sechste Erfolgsfaktor beschreibt die (6) **Daten und Event Log Qualität**. Im Gegensatz zu der (2) Informationsverfügbarkeit beschreibt dieser Erfolgsfaktor den Umfang der Vorkehrungen für die gesamte Datenvorverarbeitungspipeline. Der umfassendste Erfolgsfaktor ist (7) **die Fähigkeit mit PM Tools**. Er beschreibt, wie geschickt eine Organisation im Umgang mit PM Werkzeugen ist und wie zum Beispiel die Haupttechniken und verschiedenen Typen anwendet werden können (vgl. Abschnitt 2.4.2), aber auch wie mit den (Roh-) Daten umgegangen wird. Das (8) **Projektmanagement** fasst zusammen, wie professionell Projekte durchgeführt werden, bspw. hinsichtlich Kosten und Budgetplanung. Während der (5) strukturierte PM Ansatz die fachliche PM Projekteexpertise beschreibt, beschreibt das (8) Projektmanagement das klassische Management von Ressourcen, Kosten und Zielen in Projekten. Die letzten beiden Erfolgsfaktoren sind das (9) **Changemanagement** und das (10) **Training**. Diese beiden Erfolgsfaktoren haben als einzige keine Sub-Faktoren und beschreiben die Aktivitäten, die eine PM Initiative begleiten, um die Akzeptanz und das Verständnis zu fördern.

Des Weiteren analysieren die Autoren den **Zusammenhang der verschiedenen Erfolgsfaktoren**. Insgesamt werden 14 Verbindungen identifiziert. Es werden sowohl indirekte als auch direkte Verbindungen identifiziert. Ein stark beeinflussender Erfolgsfaktor ist die (3) technische Expertise. Er hat direkten Einfluss auf die (1) Unterstützung und Einbindung von Stakeholdern, die (4) Teamzusammenstellung, (6) die Daten und Event Log Qualität und die (7) Fähigkeit mit PM Tools. Demgegenüber beeinflusst die (4) Teamzusammenstellung indirekt die Beziehung zwischen der (1) Einbindung von Stakeholdern im (8) Projektmanagement, da die Aufhängung des PMs in der Organisation beeinflusst, wie und wer in Projektteams interagiert. Auch hat die Aufhängung einen direkten Einfluss auf die (1) Einbindung von Stakeholdern und die (3) technische Expertise, da sie entscheidet wer mit welchen Fähigkeiten in Projekte involviert wird.

Bewertung: MAMUDU ET AL. [MBW+24] präsentieren einen umfassenden Katalog an Erfolgsfaktoren für PM in Organisationen. Es wird deutlich, dass der Erfolg des PMs in Organisationen nicht nur allein davon abhängt, das richtige Tool zu kaufen, sondern ein komplexes Gefüge aus Faktoren und Zusammenhängen existiert.

Die Erfolgsfaktoren ermöglichen es Anwendern gezielt relevante Aspekte für PM in der Organisation zu identifizieren (A8) oder diese zu adressieren, um ihre Erfolgschancen zu erhöhen (A10). Die Anforderungen A8 und A10 werden somit teilweise erfüllt.

3.4.3 Capability Maturity Model Integration (CMMI)

Hinsichtlich Reifegradmodellen ist das Capability Maturity Model Integration (CMMI) eines der bekanntesten und am weitesten verbreiteten Reifegradmodelle [SEI10]. Es wird vom SOFTWARE ENGINEERING INSTITUTE (SEI), einer Initiative des US-Verteidigungsministeriums, verwaltet und veröffentlicht. Es ist das Ergebnis jahrzehntelanger Forschung und mehrmaliger Revisionen. Ziel des CMMI ist die Effizienz von Prozessen zu bewerten und strukturiert zu verbessern. Dazu existieren verschiedene Ausprägungen des CMMI für verschiedene Arten von Prozessen, bspw. der Produktentwicklung, der Beschaffung oder dem Management von Dienstleistungen. Der Aufbau dieser Modelle ist immer gleich und unterscheidet sich lediglich in der Ausprägung von domänenspezifischen Aspekten. Das Reifegradmodell wird nachfolgend am Beispiel der Ausprägung für die Produktentwicklung namens CMMI-DEV erläutert.

Das CMMI-Dev verfügt über 22 Prozessgebiete, die in vier Kategorien unterteilt sind. Die Prozessgebiete mit den Kategorien sind übersichtlich in der ersten Spalte von Bild 3-9 dargestellt. Für jedes **Prozessgebiet** sind bestimmte Ziele definiert, die mithilfe von bereitgestellten Praktiken erreicht werden können. Zusätzlich existieren allgemeine Ziele, die für jedes Prozessgebiet gelten. [GP14, S. 317ff.].

- **Allgemeine Ziele:** Diese Ziele sind für jedes Prozessgebiet gleich. Sie sind Indikator dafür, wie sehr die Arbeitsweise der verschiedenen Prozessgebiete in den Alltag übergegangen sind.
- **Allgemeine Praktiken:** Praktiken beschreiben Aktivitäten, die durchgeführt werden können, um das Ziel zu erreichen. Allgemeine Praktiken tragen dazu bei, die Ausbaustufen zu erreichen und überführen die Arbeitsweise gezielt in den Alltag.
- **Ziele des Prozessgebietes:** Dies Ziele sind für jedes Prozessgebiet spezifisch. Sie repräsentieren die inhaltlichen Aufgaben des Gebietes und bilden somit dessen Leistungsfähigkeit ab.
- **Praktiken der Prozessgebiete:** Diese Praktiken sind spezifisch für die Prozessgebiete. Es existieren zwischen zwei und sieben Praktiken je Prozessgebiet.

Das CMMI bietet zwei unterschiedliche Ansätze für die Bewertung. Die einzelnen Prozessgebiete werden mithilfe von kontinuierlichen Fähigkeitsgraden bewertet, wohingegen die gesamte Organisation mithilfe von Reifegradstufen bewertet wird.

Durch die verschiedenen Bewertungsansätze in Kombination mit den Praktiken ermöglicht das CMMI einen umfassenden Ansatz zur Leistungsbewertung und -steigerung (vgl. Abschnitt 2.3.2).

| Prozessgebiet | Fähigkeitsgrad | | | |
|---|----------------|---|---|--------------------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 |
| Anforderungsmanagement Zulieferungsmanagement | | | | |
| Projektplanung | | | | |
| Projektverfolgung und -steuerung | | | | |
| Messung und Analyse | | | | |
| Prozess- und Produkt-Qualitätssicherung | | | | |
| Konfigurationsmanagement | | | | Reifegrad 2 |
| Anforderungsentwicklung | | | | |
| Technische Umsetzung | | | | |
| Produktintegration | | | | |
| Verifizierung | | | | |
| Validierung organisationsweite Prozessausrichtung | | | | |
| Organisationsweite Prozessentwicklung | | | | |
| Organisationsweite Aus- und Weiterbildung | | | | |
| Fortgeschrittenes Projektmanagement | | | | |
| Risikomanagement | | | | |
| Entscheidungsfindung | | | | Reifegrad 3 |
| Organisationsweite Prozessleistung | | | | |
| Quantitatives Projektmanagement | | | | Reifegrad 4 |
| Organisationsweites Leistungsmanagement | | | | |
| Ursachenanalyse und -beseitigung | | | | Reifegrad 5 |

Bild 3-9: Prozessgebiete, Fähigkeits- und Reifegrade des CMMI nach GAUSEMEIER UND PLASS [GP14, S. 320]

Die **Fähigkeitsgrade** sind in Bild 3-9 in der zweiten Spalte dargestellt und umfassen den Fähigkeitsgrad 0 – Unvollständig, Fähigkeitsgrad 1 – Durchgeführt, Fähigkeitsgrad 2 – Geführt und Fähigkeitsgrad 3 – Definiert. Mithilfe der hinterlegten Ziele je Fähigkeitsgrad und Prozessgebiet kann anschließend eine Bewertung stattfinden. **Reifegrade** hingegen gelten für die gesamte Organisation und werden erreicht, wenn alle Sets (in Bild 3-9 durch die grünen Unterteilungen dargestellt) eine gewisse Reifegradstufe erreicht haben.

Bewertung: Das CMMI [SEI10] ist ein weltweit verbreiteter Ansatz zur Leistungsbewertung und -steigerung von Organisationen. Aufgrund seiner Komplexität bedarf es geschultem Personal, um eine Bewertung durchführen zu können [GP14, S. 321]. Das CMMI geht davon aus, dass höhere Leistungsstufen erstrebenswert sind, wodurch es den klassischen, „evolutionären“ Reifegraden zuzuordnen ist, die in der Literatur stellenweise große Kritik erfahren [GP14, S. 321, TTR16]. Zusätzlich existiert keine CMMI Variation für die Besonderheiten des PMs. Da es trotzdem viele allgemeingültige Kriterien beinhaltet und als Grundlage für die Entwicklung vieler domänenpezifischer Reifegradmodelle dient, wird es im Stand der Technik aufgelistet.

Das CMMI erfüllt somit teilweise die Anforderung nach einem Reifegradmodell (A8), berücksichtigt stellenweise verschiedene Zustände der Soll-Reife (A9) und stellt über die Praktiken in den Prozessgebieten beispielhafte Maßnahmen bereit (A10). Die Anforderungen A8, A9 und A10 werden daher teilweise erfüllt.

3.4.4 BPM Fähigkeitenmodell nach KERPEDZHIEV ET AL.

KERPEDZHIEV ET AL. (u. a. Fraunhofer FIT) [KKR+21] präsentieren ein BPM Fähigkeitenmodell, welches relevante Fähigkeiten des BPMs in Organisationen abbildet. Das Fähigkeitenmodell stellt eine Überarbeitung des ursprünglichen BPM Fähigkeitenmodells von DE BRUIN UND ROSEMANN [BR07] dar und betrachtet insbesondere die Auswirkungen der Digitalisierung auf die BPM Disziplin. Es ist in der *BISE* veröffentlicht. Es wurde mithilfe einer Delphi-Studie erforscht. Es werden insgesamt fünf Fähigkeitengruppen identifiziert, denen sich 25 Fähigkeiten zuordnen. Die Fähigkeitengruppen stellen die Spalten in Bild 3-10 dar, denen sich die Fähigkeiten zuordnen.

| Strategische Ausrichtung | Governance | Methoden / Informationstechnologie | | Mensch | Kultur |
|---|---------------------------------|------------------------------------|--|----------------------------|-------------------------|
| Strategische BPM-Ausrichtung | Kontext-bezogene BPM-Governance | Prozesskontext-management | Mehrzweck-Prozessdesign | BPM- und Prozess-kompetenz | Prozess-zentrierung |
| Strategische Prozess-ausrichtung | Kontextbez. Prozess-steuerung | Prozess Compliance Management | Fortgeschrittene Prozess-automatisierung | Daten-kompetenz | Evidenz-zentrierung |
| Prozess-Positionierung | Prozess-architektur-Governance | Prozess-architektur-management | Adaptive Prozess-durchführung | Innovations-kompetenz | Wandel-zentrierung |
| Prozesskunde- & Stakeholder-ausrichtung | Prozessdaten-Governance | Prozess Data Analytics | Agile Prozess-verbesserung | Kunden-kompetenz | Kunden-zentrierung |
| Prozessportfolio -Management | Rollen und Zuständigkeiten | BPM-Plattform Integration | Transformative Prozess-verbesserung | Digitale-kompetenz | Mitarbeiter-zentrierung |
| Alte Fähigkeiten | Überarbeitete Fähigkeiten | | | Neue Fähigkeiten | |

Bild 3-10: BPM Fähigkeitenmodell nach KERPEDZHIEV ET AL. [KKR+21, S. 89]

Der Fähigkeitenbereich **Strategische Ausrichtung** beschreibt das kontinuierliche Verknüpfen von organisatorischen Prioritäten und den Prozessen zur Erreichung der Geschäftsziele. Dieser Bereich umfasst bspw. die Fähigkeit, die Ziele des BPM an den Zweck und die Strategie der Organisation auszurichten. Auch umfasst es die Fähigkeit, systematisch geeignete Prozesse für eine Optimierung zu identifizieren. Das **Governance** umfasst die Fähigkeit des BPMs, Verantwortungen und Zuständigkeiten zu etablieren und durchzusetzen. Dieser Fähigkeitenbereich umfasst bspw. Richtlinien, Regeln und Abläufe für die Nutzung von Werkzeugen innerhalb des BPMs, die Verwendung und Anpassung von Prozessen oder den Zugriff auf Prozessdaten. Der Fähigkeitenbereich **Methoden / Informationstechnologie** beschreibt wie umfassend der BPM Lebenszyklus (vgl. Abschnitt 2.3.3) systematisch von Methoden und IT-Lösungen unterstützt wird.

KERPEDZHIEV ET AL. stellen fest, dass Methoden und IT-Lösungen immer stärker verschmelzen, weswegen sie die zwei unterschiedlichen Fähigkeitenbereiche Methoden und Informationstechnologie von DE BRUIN UND ROSEMAN [BR07] zusammenlegen. Als Resultat hat dieser Bereich zehn, anstatt fünf Fähigkeiten. Der Fähigkeitenbereich **Mensch** beschreibt die Individuen und Gruppen, die ihr Prozesswissen kontinuierlich ausbauen und anwenden. Dies umfasst die Kompetenz, das Wissen und das Verständnis von Menschen in verschiedenen Bereichen, wie der Datenanalyse, den Prozessen oder der Digitalisierung. Schlussendlich beschreibt die **Kultur** die kollektiven Werte, die prozessbezogene Einstellungen und Verhaltensweisen prägen. Dies umfasst klassische Fähigkeiten, wie das Verständnis und Engagement für den Prozess und den Wandel, aber auch abstraktere Aspekte wie die Wandlungsfähigkeit oder Kundenorientierung.

In Bild 3-10 ist für jede Fähigkeit hervorgehoben, ob sie sich im Vergleich zu dem originalen Fähigkeitenmodell von DE BRUIN UND ROSEMAN [BR07] verändert hat. Eine weiße Markierung zeigt eine unveränderte Fähigkeit an, ein gestreifter eine angepasste und eine rote Markierung eine vollkommen neue Fähigkeit. KERPEDZHIEV ET AL. stellen zusammenfassend fest, dass wenngleich viele Fähigkeiten unverändert oder nur angepasst sind, fast die Hälfte der Fähigkeiten (13 von 25) vollkommen neu sind. Da BPM heute schon die Schnittstelle zwischen Management und IT darstellt, muss zukünftig der Schulterschluss zu anderen Disziplinen wie dem Innovationsmanagement, der Datenwissenschaft oder neuen Technologien erfolgen.

Bewertung: Sowohl das initiale [BR07] als auch das aktualisierte BPM Fähigkeitenmodell [KKR+21] ist ein sehr etabliertes Konstrukt in der BPM Community, welches auch häufig zur Strukturierung von Diskussionen und Ergebnissen im PM herangezogen wird³⁵. Der Betrachtungsgegenstand sind BPM Initiativen in Organisationen. Wenngleich die Autoren sagen, dass sie PM mit dem Fähigkeitenmodell abgedeckt haben, bleibt es dem Leser überlassen dieses genau zu verorten, bspw. in der Fähigkeit der Process Data Analytics. Die Technologie PM wird nicht explizit als Fähigkeit aufgelistet oder einer bestimmten Fähigkeit zugeordnet.

Wie von den Autoren angedacht, erlaubt das Fähigkeitenmodell zwar die Identifikation von fehlenden Fähigkeiten (A8), jedoch wird keine Möglichkeit zur Bewertung oder zur Bestimmung der Reife geboten. Durch die verschiedenen Fähigkeiten ist jedoch rudimentär eine Möglichkeit geboten, Handlungsmaßnahmen zu identifizieren und abzuleiten (A10). Die Anforderungen A8 und A10 werden somit teilweise erfüllt.

3.4.5 PM Reifegradmodell in Supply Chains nach JACOBI ET AL.

JACOBI ET AL. (u. a. Karlsruher Institut für Technologie) [JMH+20] untersuchen die Nutzung von PM in Supply Chains. Zur Klassifikation von Anwendungsfällen des PMs in

³⁵ Beispielsweise nutzen [FIJ+20, MFK+21] die fünf Fähigkeitenbereiche zur Strukturierung.

der Supply Chain stellen die Autoren ein Reifegradmodell auf, das auf den Möglichkeiten des PMs für die operationale Unterstützung basiert. Das Reifegradmodell ist im Journal *Logistics* veröffentlicht.

Das Reifegradmodell für die Anwendung von PM in Supply Chains ist ein dreistufiges Modell. Es unterscheidet die folgenden drei Ausbaustufen:

- 1) **Erstellung organisationsübergreifender Prozessmodelle:** In dieser Stufe werden Prozessmodelle mit PM erzeugt. Die Prozessmodelle nutzen dabei nicht nur Daten von einer Organisation, sondern entlang der gesamten Supply Chain von mehreren Organisationen.
- 2) **Modelle zur Warnung und Entscheidungshilfe:** Basierend auf solchen organisationsübergreifenden Prozessmodellen können Abweichungen in den Daten und in den Prozessmodellen erkannt werden. Während eine simple Form nur die Abweichungen erkennt und dies als Warnung meldet, ist es auch möglich über fortgeschrittenere Analysemethoden Entscheidungsempfehlungen zur Verfügung zu stellen.
- 3) **Automatische Anpassung des Systemverhaltens:** In der letzten Ausbaustufe wird über PM nicht nur die Abweichung erkannt, sondern mithilfe von fortgeschrittenen Technologien wie künstlicher Intelligenz oder Robotic Process Automation (RPA) automatisch angepasst.

Die Autoren nutzen dieses dreistufige Reifegradmodell, um über eine systematische Literaturrecherche Anwendungsfälle zu identifizieren und den Stufen zuzuordnen. Es werden 28 Veröffentlichungen in der ersten Kategorie, fünf in der zweiten und nur eine Veröffentlichung in der letzten Ausbaustufe identifiziert.

Bewertung: Im Verständnis dieser Arbeit ermöglicht ein Reifegradmodell die Analyse eines Betrachtungsgegenstands mithilfe von Handlungsfeldern und -elementen (vgl. Abschnitt 2.3.2). Diesem Verständnis folgend, präsentieren JACOBI ET AL. [JMH+20] kein Reifegradmodell. Die Autoren präsentieren ein dreistufiges Modell, welches unterschiedliche Grade des Eingriffs in Supply Chain Prozesse mithilfe von verschiedenen Technologien darstellt. Es ist somit fraglich, warum diese dreistufige Struktur zur Klassifikation der strukturierten Literaturrecherche so markant als Reifegradmodell im Titel der Arbeit aufgeführt werden muss.

Dennoch stellen die Autoren dadurch drei mögliche Anwendungsfälle zur Verfügung (A2) und stellen mit den drei Reifegradstufen ein eindimensionales Bewertungsschema mit unterschiedlichen Zuständen auf (A8 und A9). Die Anforderungen A2, A8 und A10 werden somit teilweise erfüllt.

3.4.6 Reifegradbewertung zum Einstieg ins PM nach VAN DER LINDEN

VAN DER LINDEN³⁶ reflektiert und sammelt in seinem Buch [vdL21] verschiedene Aspekte über die erfolgreiche Nutzung von PM zur Optimierung von Prozessen in Unternehmen. Eines dieser Aspekte ist die Entscheidung einer Organisation über die Einführung von PM [vdL21, S. 47]. Um sich für die Einführung von PM zu entscheiden, muss eine Organisation die notwendige Reife besitzen, über Prozessdaten verfügen und die Prozesse müssen variantenreich sein.

Die notwendige Reife wiederum setzt sich aus vier Komponenten zusammen: (1) **strategische Probleme**, (2) die in **Geschäftsfällen** resultieren, (3) welche durch **Prozessverbesserungen** von einer Organisation gelöst werden können, (4) welche ein **Willen für Veränderung** haben. Nach VAN DER LINDEN können strategische Probleme bspw. der Abgang von Kunden aufgrund von unzureichender Produktqualität sein. Der daraus resultierende Geschäftsfall muss mindestens eine Millionen Euro oder Dollar betragen, bspw. indem die Abgangshöhe mit dem Durchschnittsverdienst pro Kunde multipliziert wird. Erst wenn die Geschäftsfälle durch Prozessverbesserung sowohl technisch als auch kulturell optimiert werden können, ist die Grundlage für die Einführung von PM gegeben.

Bewertung: VAN DER LINDEN fasst in seinem Ansatz zur Bewertung des PM Einstiegs jahrelange Erfahrung über Organisationen und PM zusammen. Der sehr praxisorientierte Ansatz bietet einige klare Aussagen, die Praktikern die Entscheidungsfindung erleichtert. Der Fokus des Ansatzes liegt jedoch nicht auf der systematischen Weiterentwicklung von PM Initiativen als Ganzes, sondern unterstützt den Entscheidungsfindungsprozess für das Starten einer PM Initiative.

Der Ansatz unterstützt Unternehmen dabei, Probleme in relevante Anwendungsfälle zu überführen (A2) und bietet mit den vier Komponenten eine simple Form der Reifegradbewertung und Maßnahmen zur Reifesteigerung (A8 und A10). Die Anforderungen A2, A8 und A10 werden somit teilweise erfüllt.

3.5 Bewertung und Handlungsbedarf

Die Gegenüberstellung der Anforderungen (vgl. Abschnitt 2.6) an eine *Systematik zur Leistungssteigerung von Fertigungsprozessen durch PM* mit dem Stand der Technik führt zu der in Bild 3-11 dargestellten Bewertung. Nachfolgend findet eine kurze Erläuterung der Bewertung vor dem Hintergrund der Anforderungen statt.

³⁶ Dr. Erik-Jan van der Linden ist ein niederländischer Unternehmer, der u. a. ProcessGold gegründet und an UiPath verkauft hat. Er hat das PM jahrelang u. a. an der TU Eindhoven begleitet und verfügt somit über viel Erfahrung in der Anwendung von PM. [vdL21, S. 145ff.].

| Bewertung der untersuchten Ansätze hinsichtlich der gestellten Anforderungen | | Anforderungen (A) | | | | | | | | | |
|---|--|--|---|--|--|---|---|--|--|---|--|
| | | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | A6 | A7 | A8 | A9 | A10 |
| | | Beachtung der Besonderheiten von Fertigungsprozessen | Systematische Identifikation von PM Use Cases | Systematische Bewertung von PM Use Cases | Einordnung in bestehende (PM Projekt) Vorgehensmodelle | Strukturierte Identifikation von Prozess- und Datenwissen | Unterstützung bei der Vorverarbeitung von Sensordaten | Hilfestellung für das PM und die Analyse | Bereitstellung eines Reifegradmodells für PM Aktivitäten in Organisationen | Berücksichtigung von unterschiedlichen Zuständen der Soll-Reife | Handlungsmaßnahmen zur Leistungssteigerung |
| Allgemein | Process Mining Projektmethode nach VAN ECK ET AL. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| | Process Mining für Six Sigma nach GRAAFMANS ET AL. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| | Ansatz zur Analyse der Produktion mit Process Mining nach KRAJČOVIĆ ET AL. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| | Management von Process Mining Portfolios nach FISCHER | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Use Case Identifikation | Vorgehen zur Formulierung von Process Mining Fragen nach ZERBATO ET AL. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| | Übersicht möglicher Fragen in Process Mining Projekten nach MILANI ET AL. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| | Ansatz zur Bewertung von Use Cases nach EGGLERS ET AL. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| | Ansatz zur Bewertung von Use Cases nach ROTT UND BÖHM | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| | Process Mining Use Case Canvas nach HARDJOSUWITO ET AL. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| | Data Analytics Canvas nach KÜHN ET AL. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Hilfsmittel in PM Projekten | Datenlandkarte nach JOPPEN ET AL. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| | Ansatz zur Erstellung von Event Logs aus Sensordaten nach VAN ECK ET AL. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| | Analysevorlagen nach LASHKEVICH ET AL. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| | Reifegradstufen für Event Logs nach IEEE TASK FORCE ON PM | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Reifegradmanagement | Kritische Erfolgsfaktoren in PM Projekten nach MAMUDU ET AL. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| | Capability Maturity Model Integration (CMMI) | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| | BPM Fähigkeitenmodell nach KERPEDZHIEV ET AL. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| | PM Reifegradmodell in Supply Chains nach JACOBI ET AL. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| | Reifegradbewertung zum Einstieg ins Process Mining nach VAN DER LINDEN | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

Bild 3-11: Bewertung des Stands der Technik anhand der gestellten Anforderungen

Übergeordnete Anforderung:**A1) Beachtung der Besonderheiten von Fertigungsprozessen:**

Die Fertigung wird nur selten explizit von Lösungsansätzen adressiert. Wenn die Fertigung dennoch Beachtung findet, lassen sich diese Ansätze grob in zwei Gruppen unterteilen. In der ersten Gruppe werden Elemente des Lean Managements oder des Six Sigmas (vgl. GRAAFMANS ET AL., KRAJČOVIČ ET AL. oder LASHKEVICH ET AL.) im Rahmen des PMs genutzt. In der zweiten Gruppe werden Herausforderungen der Fertigung explizit adressiert und gelöst, jedoch findet keine Beachtung des PMs statt (vgl. KÜHN ET AL. und JOPPEN ET AL.). Die Lösungen der zweiten Gruppe sind allgemein gehalten. HARDJOSUWITO ET AL. stellt eine Ausnahme dar, da der Ansatz zwar mit zwei Industriebetrieben validiert wurde, jedoch nicht explizit Fertigungsprozesse adressiert.

Handlungsfeld 1: Identifikation von PM Use Cases in Fertigungsprozessen**A2) Systematische Identifikation von PM Use Cases:**

Wie bereits in Abschnitt 2.4.3 festgestellt wurde, bieten viele Ansätze eine Hilfestellung für die Bewertung oder Formulierung von PM Use Cases, ohne den Begriff Use Case explizit zu definieren. Der Ansatz von ZERBATO ET AL. beschreibt den Prozess der Fragenformulierung in PM Projekten. Da der Ansatz jedoch einen extrahierten Event Log voraussetzt ist die praktische Anwendbarkeit unklar. MILANI ET AL. stellen beispielhafte Fragen zur Verfügung. Eine umfassende Sammlung an beispielhaften PM Use Cases, insbesondere auch mit Use Cases für Fertigungsprozesse, existiert nicht. Es ist somit festzuhalten, dass lediglich ZERBATO ET AL. die Identifikation von allgemeinen PM Use Cases vollständig unterstützt, dafür aber einen sehr technischen Ansatz verfolgt.

A3) Systematische Bewertung von PM Use Cases:

In der Literatur bieten viele Ansätze die Möglichkeit, PM Use Cases zu bewerten oder zu spezifizieren (EGGERS ET AL., ROTT UND BÖHM und HARDJOSUWITO ET AL.). Diese sind häufig sehr prozessorientiert (vgl. ROTT UND BÖHM) und die Berechnung der Bewertung bleibt stellenweise unklar (vgl. EGGERS ET AL.). Andere Ansätze charakterisieren mehr ein PM Projekt, als einen PM Use Case (vgl. HARDJOSUWITO ET AL.). In Summe ermöglicht der untersuchte Stand der Technik jedoch die systematische Bewertung von PM Use Cases mit unterschiedlichen Ansätzen.

Handlungsfeld 2: Leistungssteigerung von PM Projekten in Fertigungsprozessen**A4) Einordnung in bestehende (PM Projekt) Vorgehensmodelle:**

Viele der aufgelisteten Ansätze ordnen sich in bestehende Vorgehensmodelle im PM ein. Während die übergeordneten Ansätze dafür meist Parallelen zwischen bspw. dem Six Sigma und den PM Vorgehen ziehen (vgl. GRAAFMANS ET AL.), adressieren die dedizierten Hilfsmittel häufig nur einzelne Phasen (vgl. LASHKEVICH ET AL.).

A5) Strukturierte Identifikation von Prozess- und Datenwissen:

Verschiedene Ansätze zur Identifikation von Prozess- und Datenwissen existieren, jedoch sind einige davon nicht explizit für das PM entwickelt (vgl. KÜHN ET AL. und JOPPEN ET AL.). An anderer Stelle sind die Ansätze sehr detailreich in der Beschreibung (vgl. das PM² von VAN ECK ET AL.), allerdings weniger umfangreich in der praktischen Anwendung und Methodenunterstützung. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Herausforderungen der systematischen Identifikation von Prozess- und Datenwissen im PM Projekten trotz der Lösungsansätze weiter besteht (vgl. Abschnitt 2.4.4).

A6) Unterstützung bei der Vorverarbeitung von Sensordaten:

Die beiden Ansätze von VAN ECK ET AL. und von FISCHER sind sehr ausgereift in der Unterstützung der Sensordatenvorverarbeitung. Insbesondere VAN ECK ET AL. ist eine in der Literatur häufig referenzierte Lösung. Jedoch adressiert der Ansatz Produktsensordaten und ist stark von Cluster-Algorithmen abhängig. FISCHER hingegen bietet eine Plattform für die Vernetzung von Event Logs und Algorithmen, was jedoch insbesondere auf die langfristige Vernetzung von Entwicklern und Nutzern ausgelegt ist und keine ad-hoc Lösung darstellt. Eine explizite Hilfestellung für die Vorverarbeitung von Maschinen-sensordaten aus der Fertigung existiert nicht.

A7) Hilfestellung für das PM und die Analyse:

LASHKEVICH ET AL. bieten mit den Analysevorlagen eine umfassende Hilfestellung bei der Durchführung der PM- und Analysephase. FISCHER bietet des Weiteren einen Ansatz zur automatisierten Empfehlung von Prozessverbesserungen. Weniger umfassend stellen alle untersuchten, übergeordneten Ansätze (vgl. VAN ECK ET AL., GRAAFMANS ET AL., KRAJČOVIČ ET AL.) eine Hilfestellung für diese Phase bereit. Häufig beschränkt sich diese Hilfestellung auf eine Auflistung der Haupttechniken (vgl. VAN ECK ET AL und KRAJČOVIČ ET AL.). Im Allgemeinen lässt sich festhalten, dass das Gebiet der automatisierten Optimierung von Prozessen seit langer Zeit im Interesse der Forschung steht und zu den zentralen Fragestellungen im Prozessmanagement gehört [BDR+23].

Handlungsfeld 3: Leistungssteigerung von PM Initiativen in Organisationen**A8) Bereitstellung eines Reifegradmodells für PM Aktivitäten in Organisationen:**

Es ist festzuhalten, dass kein mehrschichtiges Reifegradmodell für die PM Aktivitäten in Organisationen existiert. Die untersuchten Ansätze sind entweder für andere Domänen (vgl. CMMI oder KERPEDZHIEV ET AL.) oder für einen Teilaспект im PM, wie der Event Log Qualität (vgl. IEEE TASK FORCE ON PM) entwickelt. Andere Ansätze verwenden den Begriff des Reifegradmodells oder der reifegradbasierten Bewertung (vgl. VAN DER LIN-DEN), bieten jedoch kein mehrschichtiges Reifegradmodell und sind häufig für spezielle Bereiche, wie der Supply Chain (vgl. JACOBI ET AL.), konzipiert.

A9) Berücksichtigung von unterschiedlichen Zuständen der Soll-Reife:

Aufgrund des Mangels eines Reifegradmodells ist die Berücksichtigung von unterschiedlichen Soll-Zuständen wenig ausgeprägt. Das CMMI bietet dafür klassischerweise PM unabhängige Zielzustände. Auch JACOBI ET AL. haben durch die drei Reifegradstufen eine Art evolutionären Zielzustand. Keiner der untersuchten Ansätze berücksichtigt im vollen Umfang verschiedene Zustände der Soll-Reife von PM Aktivitäten in Organisationen.

A10) Vorgabe möglicher Handlungsmaßnahmen zur Leistungssteigerung:

Auch Handlungsmaßnahmen zur Leistungssteigerung werden nur indirekt von den meisten Veröffentlichungen adressiert. Die IEEE TASK FORCE ON PM bietet durch das Reifegradmodell für den Event Log eine Orientierung für die Verbesserung der Event Log Qualität. Das CMMI oder KERPEDZHIEV ET AL. können indirekt genutzt werden, um allgemeine Aspekte einer Organisation zu verbessern. Es ist festzuhalten, dass kein Ansatz die sozio-technische Vielschichtigkeit des PMs abdeckt.

Fazit

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass keiner der untersuchten Ansätze und auch keine triviale Kombination der Ansätze alle Anforderungen in vollem Umfang erfüllt. Wenngleich viele Ansätze die Anforderungen stellenweise gut erfüllen, adressieren sie in Summe jedoch immer nur ein Teilproblem. Im ersten Handlungsfeld konnte jedoch kein Ansatz identifiziert werden, der die Identifikation von PM Use Cases ermöglicht. Im zweiten Handlungsfeld fehlt es an Ansätzen, die explizit auf die Herausforderung des PMs in der Fertigung zugeschnitten sind. Im dritten Handlungsfeld mangelt es fundamental an Grundlagen, da bspw. kein Reifegradmodell für PM Initiativen in Organisationen existiert. Somit besteht Handlungsbedarf zur Erforschung einer *Systematik zur Leistungssteigerung von Fertigungsprozessen durch PM*.

4 Systematik zur Leistungssteigerung von Fertigungsprozessen durch Process Mining

„A journey of a thousand miles begins with a single step.“ ~Laozi

Ziel der vorliegenden Arbeit ist eine *Systematik zur Leistungssteigerung von Fertigungsprozessen durch PM*. Der übergeordneten Forschungsmethode (vgl. Abschnitt 1.3) folgend, stellt dieses Kapitel das Ergebnis des iterativen und inkrementellen Entwicklungsprozesses dar. Die Systematik muss die ermittelten Anforderungen (vgl. Abschnitt 2.6) erfüllen, um den im Stand der Technik identifizierten Handlungsbedarf zu schließen (vgl. Abschnitt 3.5).

In **Abschnitt 4.1** wird zunächst ein Überblick über die entwickelte Systematik und dessen einzelne Bestandteile geboten. Die Grundlage der Systematik stellt die Definition und Einordnung von PM Use Cases in **Abschnitt 4.2** dar. Anschließend werden die drei weiteren Bestandteile der Systematik beschrieben. In **Abschnitt 4.3** wird das Vorgehensmodell und die Hilfsmittel zur Auswahl von PM Use Cases in Fertigungsprozessen vorgestellt. In **Abschnitt 4.4** wird erläutert, wie eine Leistungssteigerung von PM in Fertigungsprozessen erreicht werden kann. **Abschnitt 4.5** erläutert abschließend den reifegradmodellbasierten Ansatz zur Leistungssteigerung von PM Initiativen.

4.1 Die Systematik im Überblick

Eine Systematik besteht aus einer Menge an Vorgehensmodellen und Hilfsmitteln, um eine spezielle Aufgabe zu lösen (vgl. Abschnitt 1.3). Folglich enthält die Systematik mehrere Bestandteile, die in Bild 4-1 dargestellt sind und nachfolgend erläutert werden.

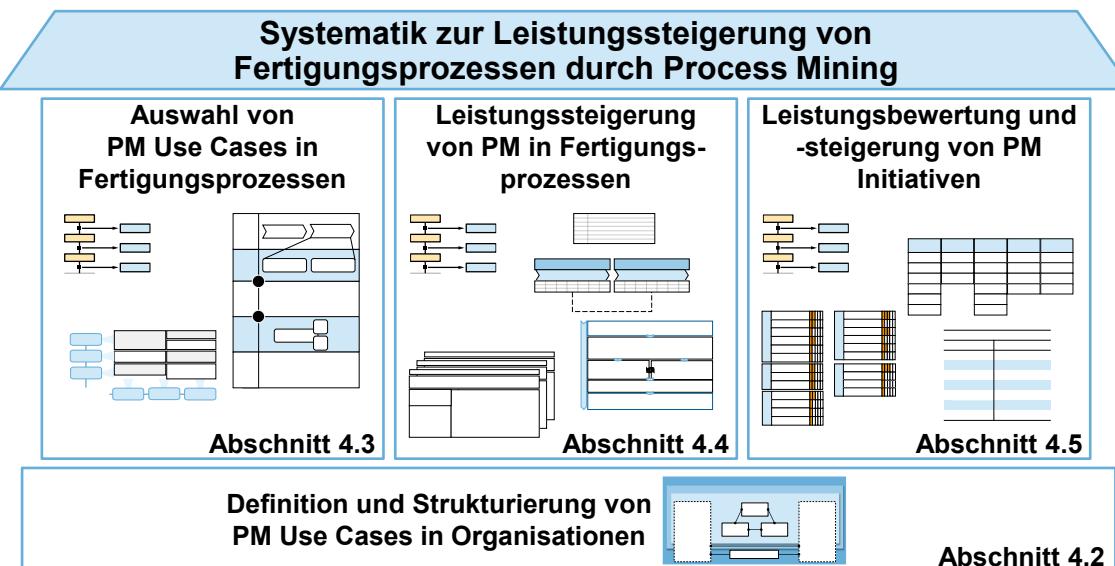


Bild 4-1: Bestandteile der Systematik zur Leistungssteigerung von Fertigungsprozessen durch PM

- 1) Das Fundament der Arbeit bildet die **Definition und die Strukturierung von PM Use Cases in Organisationen** in Abschnitt 4.2. Das Fundament bietet eine einheitliche Auslegungsgrundlage für den Begriff PM Use Case und kombiniert dafür gängige Definition zu PM Use Cases. Es dient insbesondere den Abschnitten 4.3 und 4.5 als Definitionsgrundlage.
- 2) Der Bestandteil der **Auswahl von PM Use Cases in Fertigungsprozessen** wird in Abschnitt 4.3 erläutert. Im Einklang mit der Definitionsgrundlage in Abschnitt 4.2 werden dafür PM Use Cases in Form von Fragen an die Fertigungsprozesse identifiziert, bewertet und ausgewählt.
- 3) Die **Leistungssteigerung von PM in Fertigungsprozessen** in Abschnitt 4.4 stellt verschiedene Hilfsmittel zur Unterstützung entlang der PM Projektphasen nach VAN ECK ET AL. (vgl. Abschnitt 3.1.1) zur Verfügung. Die Hilfsmittel greifen die identifizierten fertigungsspezifischen Herausforderungen auf, indem bspw. in der Phase der Datenvorverarbeitung explizit auf Sensordaten eingegangen wird.
- 4) Abschließend geht die **Leistungsbewertung und -steigerung von PM Initiativen** in Abschnitt 4.5 auf die reifegradbasierte Entwicklung der existierenden PM Initiative ein. Dafür folgt der Bestandteil dem Vorgehensmodell von CHRISTIANSEN (vgl. Abschnitt 2.3.2). Der Definitionsgrundlage von Abschnitt 4.2 folgend, kommen fortgeschrittene PM Use Case Gruppen zum Einsatz, die einer Organisation Hilfestellung bei der langfristigen Entwicklung bieten.

Nachfolgend werden die Bestandteile in der für die Zielgruppen (vgl. Abschnitt 1.2) **sachlogischen Reihenfolge** präsentiert. Die Zielgruppe der Systematik sind Head of PM mit einer etablierten PM Initiative, die bereits Erfahrungen in anderen Prozessen mit PM sammeln konnten. Die sachlogische Reihenfolge ist daher, zunächst in der Fertigung einen relevanten PM Use Case zu realisieren (Abschnitt 4.3 und 4.4). Anschließend können die dadurch gewonnenen Erfahrungen über PM in der Fertigung in die langfristige Entwicklung der PM Initiative auf Basis der Leistungsbewertung und -steigerung (Abschnitt 4.5) einfließen. Prinzipiell bietet die *Systematik zur Leistungssteigerung von Fertigungsprozessen durch PM* unterschiedlichen Zielgruppen **unterschiedliche Möglichkeiten der Nutzungsweise** und -reihenfolge. Diese werden in Abschnitt 5.3.1 diskutiert.

4.2 Definition und Strukturierung von Process Mining Use Cases in Organisationen

Das Fundament der *Systematik zur Leistungssteigerung von Fertigungsprozessen durch PM* (vgl. Abschnitt 4.1) definiert und strukturiert das Verständnis von PM Use Cases aus Organisationssicht. Aus der Problemanalyse geht hervor, dass keine eindeutige Definition eines PM Use Cases existiert (vgl. Abschnitt 2.5). Gleichzeitig stellen einige Ansätze im Stand der Technik Lösungen für Unternehmen und PM Initiativen bereit, um PM Use

Cases zu bewerten (vgl. Abschnitt 3.2.3 und 3.2.4). Wie genau ein PM Use Case für Organisationen zu verstehen ist, bleibt dabei jedoch unklar. Um diese Forschungslücke zu schließen, wird nachfolgend ein Ansatz zum Verständnis und zur Definition von PM Use Cases in Organisationen dargelegt. Diese Strukturierung und Definition dient den anschließenden Bestandteilen als Grundlage.

Die Definition und Strukturierung eines PM Use Cases umfasst insgesamt drei Ebenen und wurde auf der *CIRP Design* als [BEK+24] veröffentlicht. Der Forschungsansatz wird im Anhang A3.2.1 beschrieben³⁷. Das Zusammenspiel der drei Ebenen ist in Bild 4-2 dargestellt. Für ein besseres Verständnis wird zunächst auf einen spezifischen Use Case eingegangen.

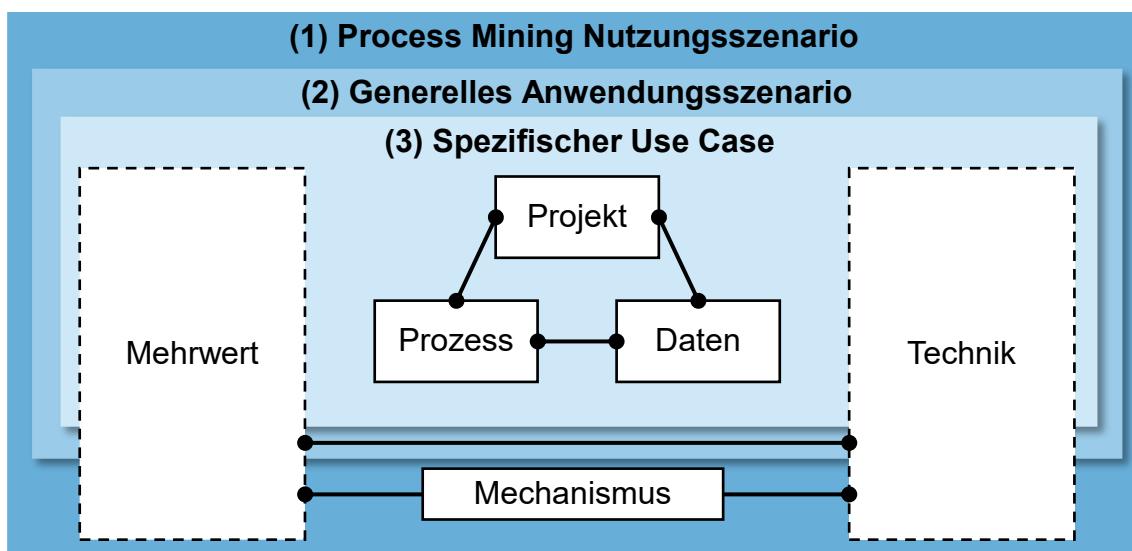


Bild 4-2: *Definition und Strukturierung von PM Use Cases in Organisationen*

Die unterste Ebene ist ein **(3) spezifischer PM Use Case**. Ein spezifischer PM Use Case lässt sich als PM Projekt verstehen, bei dem ein Projektteam in einem definierten Prozess anhand eines Datensatzes ein Ziel erarbeitet. Dieser spezifische PM Use Case kann bspw. mit den Bewertungsmethoden von EGGLERS ET AL. (vgl. Abschnitt 3.2.3) und ROTT UND BÖHM (vgl. Abschnitt 3.2.4) bewertet werden. Ein beispielhafter PM Use Case wäre die Identifikation des Fertigungsverlaufs am Standort des Hauptwerks.

Auf der zweiten Ebene stehen **(2) generelle Anwendungsszenarien**. Diese sind als Gruppe von gleichen PM Use Cases zu verstehen, wobei sich jedoch das Projektteam, der Prozess oder die verwendeten Daten unterscheiden können. Ein generelles Anwendungsszenario ist somit nicht prozessspezifisch. Beispielsweise könnte auch der Fertigungsverlauf am Standort des Zweitwerks identifiziert werden. Das Zweitwerk fertigt möglicherweise aber andere Produkte, wodurch sich die Datenquellen und Prozesse vom

³⁷ Die Definition und Strukturierung von PM Use Cases in Organisationen ist im Zusammenhang mit den in Abschnitt 4.5.3 vorgestellten 18 fortgeschrittenen Anwendungsszenarien entstanden.

Hauptwerk unterscheiden. In beiden Use Cases (Haupt- und Zweitwerk) ist die Anwendung der PM Technik (bspw. Process Discovery) und der angestrebte Mehrwert (bspw. erhöhte Transparenz) identisch. Auf der Ebene der generellen Anwendungsszenarien besteht eine Verbindung zwischen den Mehrwerten und Techniken, da diese innerhalb eines Anwendungsszenarios konstant bleiben. Ein Beispiel für ein anderes Anwendungsszenario wäre die Verwendung von PM zum Monitoring von Prozessen. Dafür werden andere PM Techniken (bspw. Conformance Checking) verwendet und andere Mehrwerte (bspw. besseres Reporting) angestrebtt.

Das **(1) PM Nutzungsszenario** ist die abstrakteste Ebene. Essenziell stellt ein PM Nutzungsszenario eine Gruppe von Anwendungsszenarien dar. Beide oben genannten Anwendungsszenarien (Identifikation und Monitoring von Prozessen) haben gemeinsam, dass sie dedizierte Phasen im BPM-Lebenszyklus adressieren (vgl. Abschnitt 2.3.3). Das Nutzungsszenario für PM ist in diesem Fall das Prozessmanagement. Ein anderes Nutzungsszenario wäre die Verwendung von PM als technologischer Baustein zur Erstellung eines Digitalen Zwillings. In beiden Nutzungsszenarien (Prozessmanagement und Digitaler Zwillling) muss PM als ein Lösungsbaustein auf unterschiedliche Weise funktionieren. Daher wird auf dieser Ebene der Begriff des **Mechanismus** eingeführt. Mechanismus ist ein Sammelbegriff für das übergeordnete Konzept, in dem PM genutzt wird. Der Mechanismus hat eine spezifische Umgebung und Wirkweise. Er gibt grundlegend vor, welche PM Techniken verwendet und welche Mehrwerte erzielt werden können. Daher sind die PM Techniken und Mehrwerte auf der Ebene der Nutzungsszenarien über den Mechanismus verbunden. Die Begriffe Mechanismus und Nutzungsszenario unterscheiden sich dadurch, dass ein Nutzungsszenario die Anwendung von PM innerhalb eines Mechanismus beschreibt. Ein Mechanismus funktioniert jedoch mit mehr Funktionsbausteinen als nur dem PM. So ist bspw. für das Erstellen eines Digitalen Zwillings auch der Aspekt der Verwaltungsschale oder das Erstellen von Simulationen wichtig, wofür kein PM benötigt wird. Zum aktuellen Zeitpunkt der Forschung ist nicht abschließend geklärt, welche Nutzungsszenarien existieren. Diese Arbeit thematisiert nur das Nutzungsszenario des Prozessmanagements von Fertigungsprozessen (vgl. Abschnitt 2.3.3). Denkbare weitere Nutzungsszenarien sind PM als technologischer Baustein zur Erstellung von Wertstromanalysen oder zur Auswertung der Interaktion mit intelligenten technischen Systemen.

Zusammenfassend lässt sich das Verhältnis der drei Ebenen an **einem durchgängigen Beispiel** erklären: Ein (3) spezifischer Use Case ist die Identifikation von manuellen Eingriffen in die automatische Planung von Fertigungsaufträgen am Standort des Hauptwerks. Dieser spezifische Use Case kann als ein konkretes PM Projekt ausgeführt werden. Der spezifische Use Case lässt sich in eine Gruppe von gleichen Use Cases einordnen, denn es ist auch möglich, manuelle Eingriffe in die automatische Planung von Fertigungsaufträgen am Standort des Zweitwerks zu identifizieren. Auch wäre es möglich, manuelle Eingriffe in ganz anderen Prozessen, zum Beispiel der automatisierten Ersatzteilbestellung, zu identifizieren. Da die Identifikation von manuellen Eingriffen (engl.

Touchpoints) immer mit der gleichen PM Technik abläuft und der prinzipielle Mehrwert für das Unternehmen immer gleich ist, ist die Identifikation von manuellen Eingriffen ein (2) Anwendungsszenario. Da diese Anwendungsszenarien prinzipiell darauf abzielen, den zugrundeliegenden Prozess zu analysieren und Optimierungsmöglichkeiten zu identifizieren, gehört das Anwendungsszenario dem (1) Nutzungsszenario des Prozessmanagements an.

Für **zwei Abschnitte der vorliegenden Arbeit** ist die Definition und Strukturierung eines PM Use Cases relevant. Zum einen werden in **Abschnitt 4.3 PM Use Cases in Form von Fragen** hergeleitet. Innerhalb des (1) Nutzungsszenarios des Prozessmanagements ist das Beantworten von Fragen ein (2) Anwendungsszenario. Das Beantworten von Fragen kann somit als eine Gruppe von PM Use Cases verstanden werden. Zum anderen werden in **Abschnitt 4.5 beispielhafte Anwendungsszenarien** präsentiert.

4.3 Auswahl von Process Mining Use Cases in Fertigungsprozessen

Dieser Abschnitt adressiert den zweiten Bestandteil der *Systematik zur Leistungssteigerung von Fertigungsprozessen durch PM* (vgl. Abschnitt 4.1). Die Problemanalyse zeigt, dass Unternehmen Schwierigkeiten haben, aus der technischen Vielfalt des PMs relevante Use Cases zu bestimmen (vgl. Abschnitt 2.5). Der untersuchte Stand der Technik bietet keine adäquaten Lösungen für diese Herausforderung (vgl. Abschnitt 3.5). Dieser Bestandteil ermöglicht es daher fertigenden Unternehmen, PM Use Cases in Form von gezielten Fragen an ihre Fertigungsprozesse zu formulieren und auszuwählen. Es wird kein spezifischer Input benötigt. Auch werden keine spezifischen Vorkenntnisse der Fertigungsexperten hinsichtlich PM benötigt. Das Ergebnis dieses Bestandteils ist ein ausgewählter Use Case für die Fertigungsprozesse einer Organisation. Anwender dieses Bestandteils ist der PM Experte, der zusammen mit einem Prozess- und Fertigungsexperten mögliche PM Use Cases in der Fertigung identifiziert und auswählt. Dieser Bestandteil der Systematik kann als Halbtagesworkshop durchgeführt werden.

In **Abschnitt 4.3.1** wird das übergeordnete Vorgehensmodell vorgestellt. Es strukturiert die darauffolgenden Hilfsmittel sachlogisch. In **Abschnitt 4.3.2** wird ein Hilfsmittel zur Identifikation von PM Use Cases im Fertigungsumfeld erläutert.

4.3.1 Vorgehensmodell zur Anwendung

In diesem Abschnitt wird das Vorgehensmodell des zweiten Bestandteils der Systematik erläutert (vgl. Abschnitt 4.1). Es ermöglicht Organisationen systematisch einen relevanten PM Use Case in ihrem Fertigungsprozess auszuwählen. Das Vorgehensmodell ist eine Adaption des Vorgehens bei Ideation Events nach GAUSEMEIER ET AL. [GDE+19, S. 198]. Ideation Events zielen darauf ab, zu einem vorher festgelegten Thema Ideen zu generieren und zu verfeinern [GDE+19, S. 197]. Wie in Abschnitt 4.2 auf Basis der Definition und

Strukturierung von PM Use Cases in Organisationen gezeigt wurde, stellt das Beantworten von Fragen eine Gruppe von PM Use Cases dar. Daher zielt das in Bild 4-2 dargestellte Vorgehensmodell darauf ab, Fragen zu formulieren, zu verfeinern und auszuwählen. Das Vorgehen mit den drei Phasen wird nachfolgend erläutert.

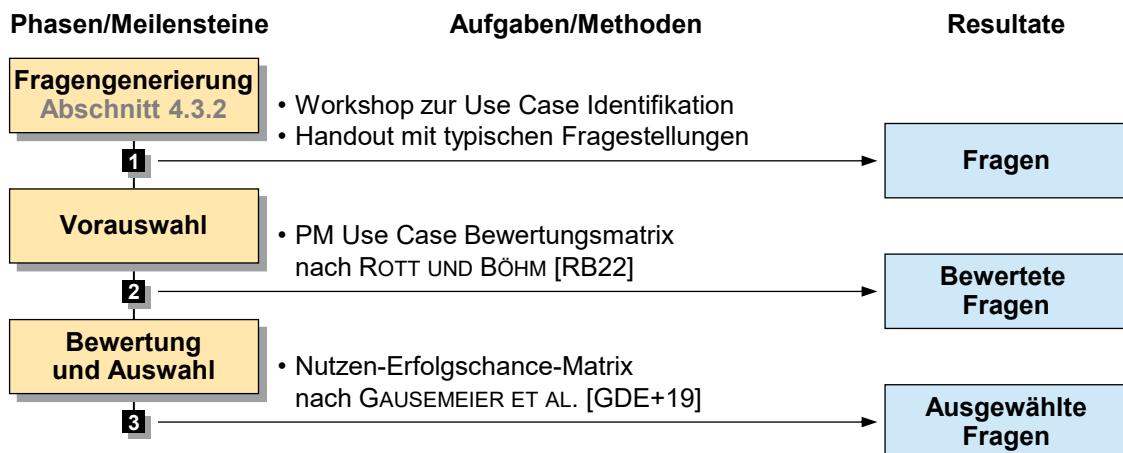


Bild 4-2: Vorgehen zur Auswahl von Fragen über Fertigungsprozesse in Anlehnung an [GDE+19, S. 198]

In der ersten Phase der **Fragengenerierung** werden mögliche Prozesse und Fragen in der Fertigung identifiziert. Dafür kommen die beiden Hilfsmittel der Workshopmethode zur Identifikation von PM Use Cases und das Handout mit beispielhaften Fragen zum Einsatz (vgl. Abschnitt 4.3.2). Es wird kein spezifischer Input benötigt. Der Output ist eine Sammlung von initialen, unbewerteten Fragen.

In der zweiten Phase der **Fragenbewertung** werden die identifizierten Fragen auf Basis der Bewertungskriterien von ROTT UND BÖHM [RB22] (vgl. Abschnitt 3.2.4) bewertet. Dafür kommt eine Likert-Skala zum Einsatz, mit der die Fragen hinsichtlich des Nutzens und der Erfolgswahrscheinlichkeit bewertet werden. Der Output sind bewertete Fragen.

In der abschließenden Phase der **Fragenauswahl** werden die bewerteten Fragen in eine Nutzen-Erfolgswahrscheinlichkeits-Matrix eingesortiert. Der Output ist eine priorisierte Frage. Mithilfe des dritten Bestandteils der Systematik (vgl. Abschnitt 4.4) kann diese anschließend beantwortet werden.

Die Operationalisierung der Fragenbewertung und -auswahl wird in diesem Kapitel nicht weiter erläutert. Ihre Anwendung wird in Abschnitt 5.1.1 dargestellt. Dieser erste Bestandteil der Systematik ist vor allem für solche PM-Initiativen relevant, die bereits Erfahrung mit PM in anderen Prozessen abseits der Fertigung sammeln konnten (vgl. Abschnitt 1.2). PM Initiativen mit eigenen Methoden zur Verwaltung des PM Projektportfolios (vgl. Abschnitt 3.1.4) oder Ansätzen zur Durchführung von Nutzen-Erfolgschance-Analysen benötigen das Vorgehen eventuell nicht mehr.

4.3.2 Identifikation von Process Mining Use Cases

Die erste Phase zur Auswahl von PM Use Cases ist die Identifikation eben dieser (vgl. Abschnitt 4.3.1). Dafür werden zwei Hilfsmittel zur Verfügung gestellt: eine Workshopmethode und ein Handout. Beide sind im Rahmen der gleichen Forschungsaktivität entstanden und sind komplementär. Sie wurden auf der *CPSL* als [BKD24] veröffentlicht. Die Erforschung erfolgte auf Basis der DSRM nach PEFFERS ET AL. [PTR+07]. Diese Forschungsmethode ist besonders geeignet für anwendungsorientierte Artefakte, welche iterativ verfeinert werden. In Zusammenarbeit mit zwei Organisationen und zwei Entwicklungsschleifen wurden die Hilfsmittel erarbeitet. Details zur Forschungsmethode finden sich im Anhang A3.2.2. Für einen besseren Lesefluss wird nachfolgend zunächst auf die Workshopmethode und anschließend auf das Handout eingegangen.

Workshopmethode zur Identifikation von PM Use Cases

Mit der Workshopmethode zur Identifikation von PM Use Cases identifizieren verschiedene Stakeholder schrittweise einen ersten PM Use Case. Wie im Abschnitt 4.3.1 zum übergeordneten Vorgehensmodell erläutert, werden Fragen an den Fertigungsprozess als PM Use Case verstanden. Folglich ist das Ziel der Methode die Formulierung von Fragen, welche mithilfe von PM beantwortet werden können. Die fünf Ebenen und die zu erarbeitende Ergebnisse der Workshopmethode sind in Bild 4-3 schemenhaft dargestellt. Die Ebenen werden nachfolgend erklärt.

Auf der ersten Ebene der **relevanten Prozesse** werden zunächst mögliche Geschäftsprozesse in der Fertigung ermittelt, die für die Analyse in Frage kommen können. Als Hilfestellung können existierende Dokumentationen herangezogen werden. Im Idealfall wird schon eine erste Einschätzung abgegeben, ob prinzipiell Daten in dem Prozess vorhanden sein könnten. Geschäftsprozesse in der Fertigung lassen sich ggf. durch unterschiedliche Zuständigkeiten (bspw. Vorfertigung und Endmontage), örtliche Nähe (bspw. Halle 1 und Halle 2), Kundenorientierung (bspw. kundenanonyme Vorfertigung und Kundenfertigung) oder Geschäftseinheiten (bspw. Nutzfahrzeuge und Personenfahrzeuge) voneinander abgrenzen. Das Ziel dieser Ebene ist zum einen, für die Fertigungsexperten einen Einstieg in den Workshop zu finden, indem sie über ihre Fertigung berichten können. Zum anderen dient es den PM Experten dazu, sich einen ersten groben Überblick über die Fertigungsstrukturen zu verschaffen.

Auf der zweiten Ebene der **Prozessschritte** wird einer der Geschäftsprozesse detailliert. Die Auswahl der Geschäftsprozesse kann nach Relevanz, Interesse oder Mehrheitsentscheidung erfolgen. Anschließend wird der Geschäftsprozess grob in die Hauptprozessschritte unterteilt. Es ist nicht das Ziel, den Prozess im Detail zu beschreiben. Vielmehr dienen die Hauptprozesse als Gedankenstütze für die unteren Ebenen. Typischerweise können die Hauptprozesse nach Sicherheitsbereichen, Fertigungsverfahren oder verwendeten IT-Systemen unterschieden werden.

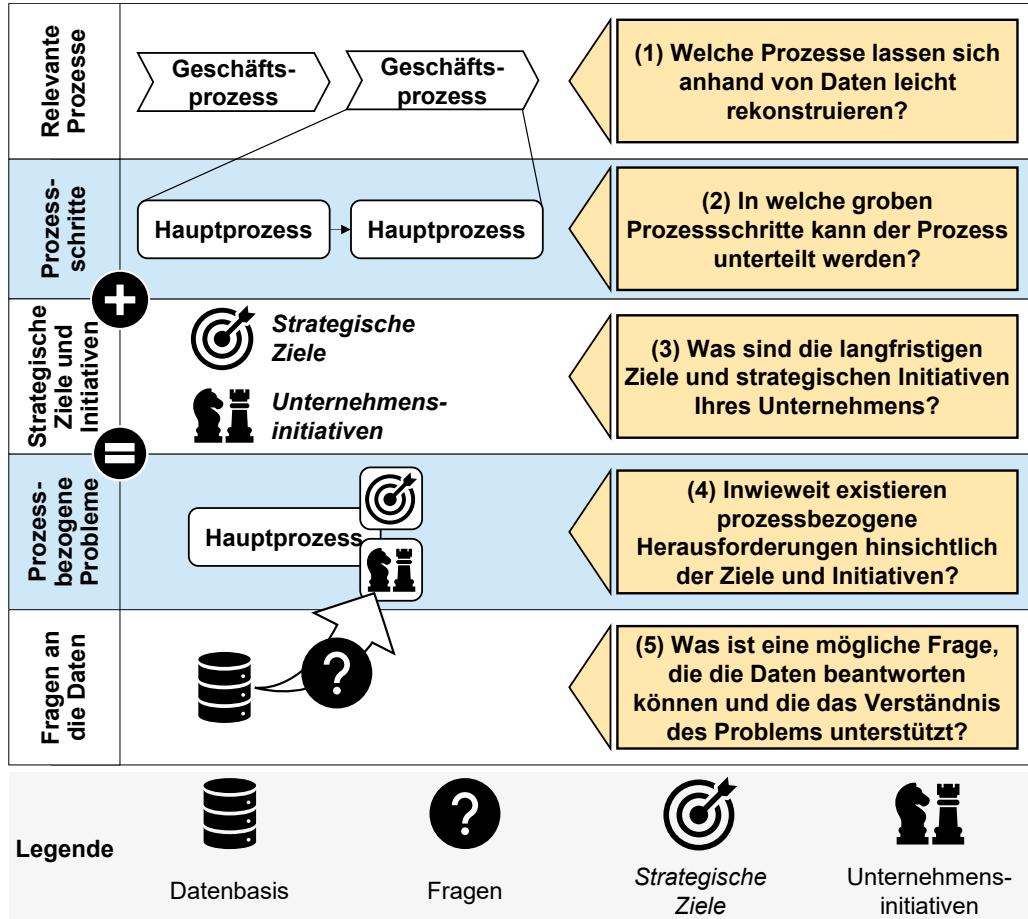


Bild 4-3: Aufbau der Workshopmethode zur Identifikation von PM Use Cases in Fertigungsprozessen

In der dritten Ebene findet ein Brainstorming zu **strategischen Zielen und Initiativen** statt. Die Workshopteilnehmer sind aufgefordert, langfristige Aktivitäten und Ziele der Organisation aufzulisten. Dies können bspw. Nachhaltigkeitsbestrebungen, Ziele zur Vermeidung von Verschwendungen oder strategische Ziele bzgl. der Lieferzeit sein. Als Hilfestellung können existierende Dokumentationen herangezogen werden.

Die vierte Ebene der **prozessbezogenen Probleme** ermittelt, inwiefern ein (Haupt-) Prozess in Verbindung mit den strategischen Zielen und Initiativen steht. Die Workshopteilnehmer können dafür die beiden vorherigen Ebenen kombinieren und miteinander vergleichen. Es können jedoch auch allgemeine, prozessbezogene Probleme des betrachteten Geschäftsprozesses aufgenommen werden. Wichtig ist jedoch, dass sich die Probleme auf den Prozess beziehen. Beispielsweise wären Probleme der Endkunden mit den Produkten kein Problem in den Fertigungsprozessen. Das Ziel der Ebene ist es, solche Probleme zu identifizieren, deren Lösung einen großen Mehrwert für die Fertigungsprozesse bietet.

In der letzten Ebene werden **Fragen an die Daten** formuliert. Für die Probleme werden ein oder mehrere Fragen formuliert, deren Beantwortung zum Verständnis des Problems beiträgt. Es gilt relevante Fragen für die Fertigung zu formulieren, die mit PM beantwortet werden können. Da die Fertigungsexperten häufig wenig über die PM-Möglichkeiten

und die PM Experten wenig über relevante Fertigungsfragen wissen, ist für den Workshop ein spezielles Handout mit beispielhaften Fragen über Fertigungsprozesse entstanden. Dieses Handout wird anschließend weiter erläutert.

Im Anschluss an die Identifikation der Fragen können diese mithilfe der existierenden Ansätze zur Bewertung von PM Use Cases hinsichtlich des Nutzens und der Erfolgsschance priorisiert werden (vgl. Abschnitt 3.2.4). Nicht priorisierte Fragen können im Rahmen eines PM Projektportfoliomanagements in einen Backlog aufgenommen werden (vgl. Abschnitt 3.1.4). Der Workshop kann beliebig für weitere Geschäftsprozesse wiederholt werden, um mehr Fragen für den Backlog zu generieren.

Handout mit beispielhaften Fragen über Fertigungsprozesse

Die vorangegangene Workshopmethode ermöglicht die Kollaboration von Fertigungs- und PM-Experten. Zur Unterstützung bei der Formulierung der finalen Fragen an die Daten wurde ein Handout mit beispielhaften Fragen zur Orientierung entwickelt. Das Handout wurde parallel zu der vorher vorgestellten Workshopmethode entwickelt. Im Wesentlichen ist das Handout eine Kombination verschiedener Literaturquellen zu PM (vgl. Abschnitt 3.2.2), Lean Management und Six Sigma (vgl. Abschnitt 2.3.2), und allgemeiner Prozessoptimierung in der Fertigung (vgl. Abschnitt 2.3.3). Das finale Handout ist in Bild 4-4 skizziert. Das vollständige Handout findet sich im Anhang A3.1.1. Seine Bestandteile werden nachfolgend kurz beispielhaft erläutert.

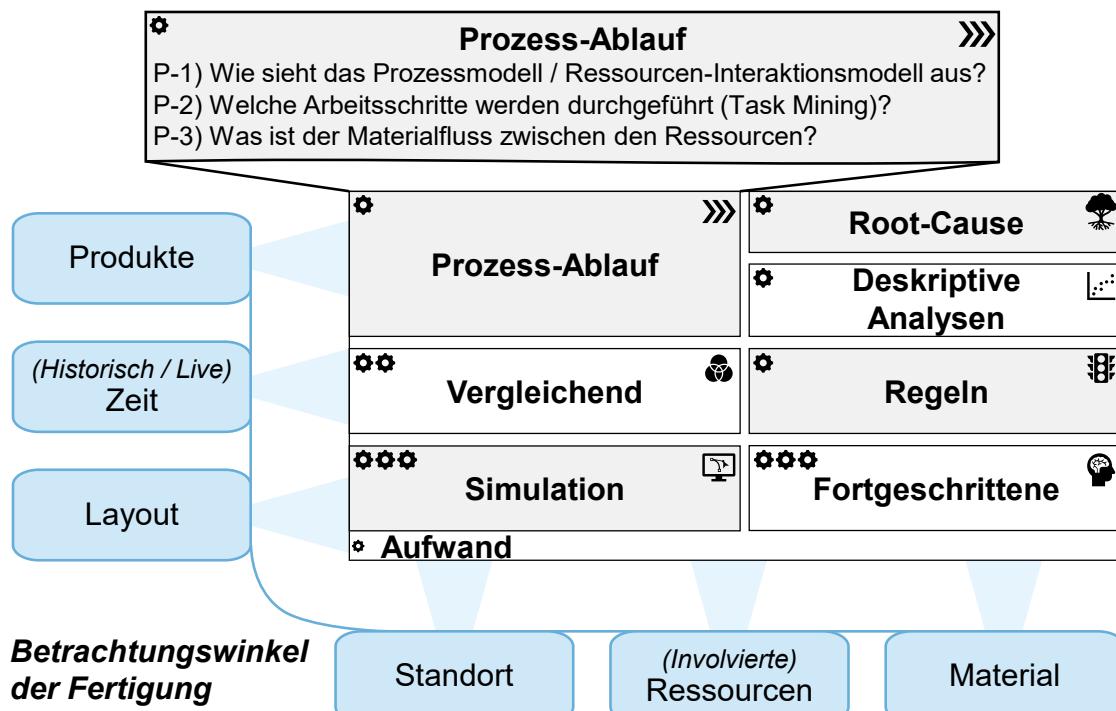


Bild 4-4: Handout mit beispielhaften Fragen an Daten aus einem Fertigungsprozess

Das Handout unterteilt sich grob in zwei Bereiche, den Kategorien an Fragen und den Betrachtungswinkeln auf die Fertigung.

Die **Kategorien an Fragen** unterteilen sich in die sieben Bereiche *Prozess-Ablauf*, *Root-Cause*, *Deskriptive Analyse*, *Vergleichend*, *Regeln*, *Simulation* und *Fortgeschrittene*. Zu jeder Kategorie finden sich beispielhafte Fragen mit einem eindeutigen Identifikator. Beispielsweise lautet die erste Frage der Kategorie *Prozess-Ablauf* „Wie sieht das Prozessmodell / Ressourcen-Interaktionsmodell aus?“. Der Identifikator ist „P-1“, wobei das „P“ eine Abkürzung für *Prozess-Ablauf* ist. Jede der sieben Kategorien ist mit einer Bewertung des Aufwands zwischen eins und drei versehen. Die Bewertung richtet sich nach dem benötigten Input:

- **Aufwand Stufe 1:** Es wird lediglich ein Event Log benötigt.
- **Aufwand Stufe 2:** Es wird ein Event Log und ein normatives Prozessmodell³⁸ benötigt.
- **Aufwand Stufe 3:** Es wird ein Event Log, und Simulationen oder Machine Learning benötigt.

Die Bewertung des Aufwandes dient vor allem der differenzierten Diskussion der Fragen, da ansonsten alle Fragen gleichwertig erscheinen würden.

Der zweite Bereich sind die **Betrachtungswinkel der Fertigung**. Diese sechs Betrachtungswinkel bieten eine Möglichkeit, die beispielhaften Fragen aus unterschiedlichen Perspektiven zu interpretieren. Während im PM typischerweise der Kontrollfluss analysiert wird (vgl. Abschnitt 2.3.1), lassen sich auch verschiedene andere Perspektiven vorstellen. Die sechs Betrachtungswinkel sind wie folgt zu verstehen:

- **Produkt:** Inwiefern unterscheidet sich der Prozess für spezielle Produkte?
- **Zeit:** Hat sich der Prozess im Zeitverlauf geändert bzw. bieten Live-Daten die Möglichkeit zu Optimierung?
- **Layout:** Wie verhält sich der Prozess mit Bezug auf das Hallenlayout?
- **Standort:** Unterscheiden sich Prozesse an unterschiedlichen Standorten (bspw. Werk 1 vs. Werk 2)?
- **Ressourcen:** Wie ist das Ressourcenverhalten im Prozess?
- **Material:** Wie verhält sich der Materialfluss?

Die zuvor als Beispiel aufgeführte Frage „P-1“ könnte mithilfe des Betrachtungswinkels „Material“ bspw. umformuliert werden zu „Wie sieht der Materialfluss aus?“. Dadurch würde eine Darstellung in Form eines Sankey-Diagramms³⁹ entstehen. Hingegen würde der Betrachtungswinkel „Produkt“ die Frage bspw. so abwandeln, dass einmal der Prozessverlauf für Sonderprodukte und einmal für Standardprodukte dargestellt wird. Nicht alle Fragen müssen über alle sechs Betrachtungswinkel abwandelbar sein. Die

³⁸ Ein normatives Prozessmodell ist ein den Soll-Prozess beschreibendes Prozessmodell (vgl. Abschnitt 2.4.2).

³⁹ Ein Sankey-Diagramm ist die Darstellung der Intensität des Materialflusses in Pfeilform [GP14, S. 367].

Betrachtungswinkel sind als Anregung gedacht, die Fertigung aus unterschiedlichen Blickwinkeln zu interpretieren.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Methode zur Identifikation von PM Use Cases bestehend aus dem Workshopkonzept und dem Handout einen simplen Einstieg in die Formulierung von PM Use Cases in Form von Fragen ermöglicht. Fertigungsexperten profitieren davon, dass sie über allgemeine Aussagen über Fertigungsprozesse schrittweise an die Formulierung von PM Use Cases herangeführt werden. PM Experten profitieren davon, die Fertigung schrittweise kennenzulernen und erhalten über das Handout Einblicke in relevante Fragestellungen für die Fertigung. Schlussendlich erlaubt die Formulierung der Fragen auch erste Einblicke in die Anforderungen an den Event Log.

4.4 Leistungssteigerung von Process Mining in Fertigungsprozessen

Dieser Abschnitt adressiert den dritten Bestandteil der *Systematik zur Leistungssteigerung von Fertigungsprozessen durch PM* (vgl. Abschnitt 4.1). Die Problemanalyse zeigt, dass PM Projekte in Fertigungsprozessen aufgrund von Besonderheiten wie dem benötigten Domänenwissen oder Sensordaten herausfordernd sind (vgl. Abschnitt 2.5). Der untersuchte Stand der Technik bietet nur Lösungen, die entweder fertigungs- oder PM-orientiert sind (vgl. Abschnitt 3.5). Daher werden in diesem Bestandteil entlang des etablierten PM Projektvorgehensmodells PM² fertigungsorientierte Hilfsmittel vorgestellt. Als Input wird ein identifizierter PM Use Case benötigt (vgl. Abschnitt 4.3). Das Ergebnis ist ein realisierter PM Use Case für einen Fertigungsprozess. Anwender ist der PM Experte, der PM Projekte in Zusammenarbeit mit einem Prozessexperten in der Fertigung umsetzt. Da es sich bei diesem Bestandteil um ein Datenprojekt in individuellen Fertigungen mit unterschiedlichen IT-Systemen und Fähigkeiten handelt, lässt sich die benötigte Dauer nicht sicher abschätzen. Es wird pro Hilfsmittel eine Aufwandseinschätzung gegeben.

Abschnitt 4.4.1 stellt das übergeordnete Vorgehensmodell vor. Es strukturiert die darauf folgenden Hilfsmittel sachlogisch. **Abschnitt 4.4.2** stellt die PM Data Canvas vor. Die Workshopmethode dient insbesondere in frühen PM Projektphasen dazu, gezielt Daten- und Prozesswissen sowie typische Herausforderungen in Fertigungsprozessen zu identifizieren. Anschließend wird in **Abschnitt 4.4.3** das Rahmenwerk zur Vorverarbeitung von Maschinendaten vorgestellt, welches aus Sensordaten einen nutzbaren Event Log erzeugt. Abschließend wird in **Abschnitt 4.4.4** ein Katalog mit typischen Analysefragen im PM erläutert, welcher das Beantworten von Fragestellungen mittels PM erleichtert.

4.4.1 Vorgehensmodell zur Anwendung

In diesem Abschnitt wird das Vorgehensmodell des dritten Bestandteils der Systematik erläutert (vgl. Abschnitt 4.1). Es beschreibt, wie Organisationen PM Projekte im

herausfordernden Fertigungsumfeld durchführen können. Das Vorgehensmodell basiert auf den Phasen des etablierten PM² (vgl. Bild 3-1 in Abschnitt 3.1.1). Entlang der einzelnen Phasen werden detaillierte Hilfsmittel zur Verfügung gestellt. In Bild 4-5 sind die Phasen, die entwickelten Hilfsmittel und die Ergebnisse des PM² dargestellt. Diese werden nachfolgend erläutert.

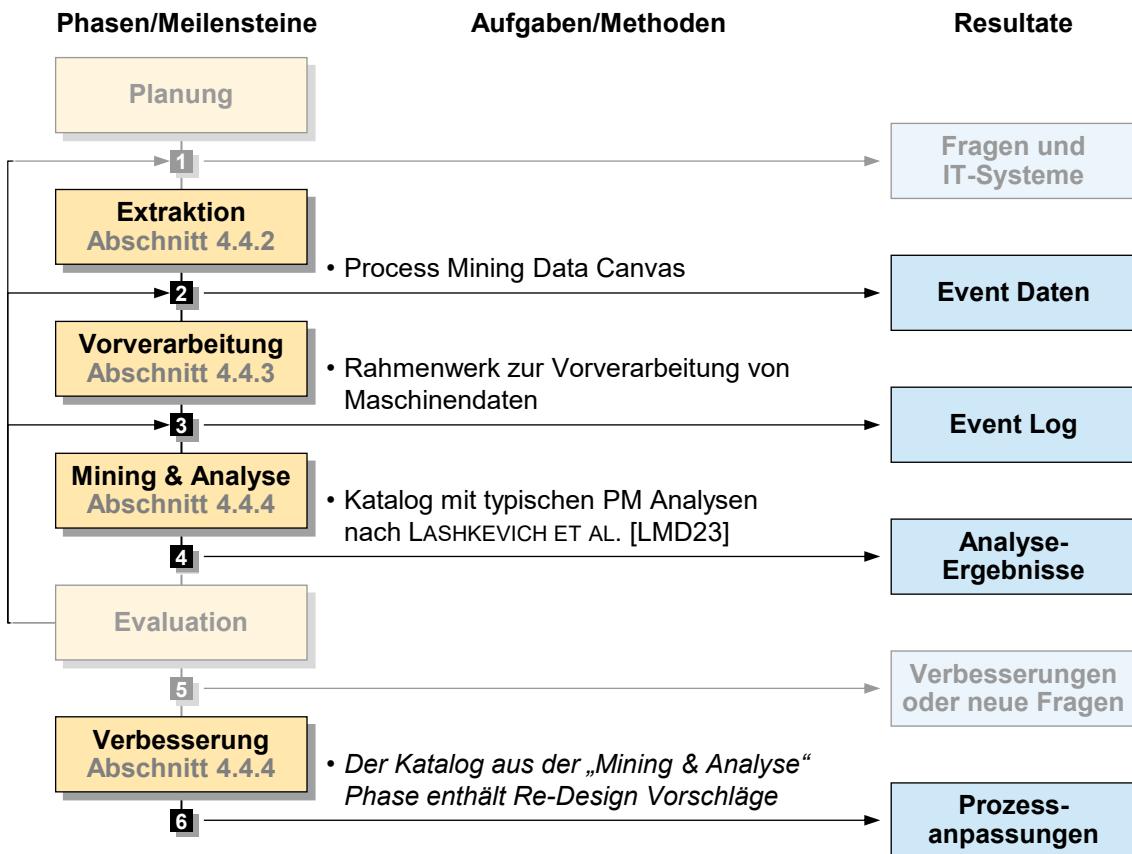


Bild 4-5: Hilfsmittel zur Unterstützung des Vorgehensmodells PM² in Anlehnung an [vLL+15]

Die **Planungsphase** wird durch die Hilfsmittel nicht unterstützt. Der zweite Bestandteil der Systematik deckt diesen Bereich teilweise ab (vgl. Abschnitt 4.3). Die restlichen Aktivitäten in dieser Phase (Team zusammenstellen, Ziele definieren etc.) sind fertigungsunspezifische Aufgaben eines Projektmanagements, für die vor dem Hintergrund der Anforderungen des zweiten Handlungsfelds (vgl. Abschnitt 2.6) keine Hilfestellung entwickelt werden muss.

Die (Daten-) **Extraktionsphase** wird durch die sogenannte PM Data Canvas (PMDC) unterstützt (vgl. Abschnitt 4.4.2). Die PMDC ist eine Workshopmethode, die PM- und Fertigungsexperten gezielt durch die frühen Phasen eines PM Projekts lenkt. Als Resultat entsteht ein Schema für einen zu extrahierenden Event Log.

Die (Daten-) **Vorverarbeitungsphase** wird vom Rahmenwerk zur Vorverarbeitung von Maschinendaten angeleitet (vgl. Abschnitt 4.4.3). Das Rahmenwerk ermöglicht die domänenorientierte Vorverarbeitung von Sensordaten in einen nutzbaren Event Log.

Die **Mining- & Analyse-** sowie die **Verbesserungsphase** werden durch einen Katalog an typischen Analysefragen nach LASHKEVICH ET AL. [LMD23] unterstützt (vgl. Abschnitt 4.4.4). Der Katalog bietet 21 typische Analysen im PM, die gängige Fragestellungen beantworten können. Zusätzlich werden zu jeder Analyse einige generische Optimierungsansätze zur Verfügung gestellt, welche das Ableiten von Re-Design-Optionen ermöglichen.

In der **Evaluationsphase** werden typischerweise die Analyseergebnisse zusammen mit den Stakeholdern vor dem Hintergrund der Projektzielsetzung besprochen. Dies ist eine klassische Projektmanagementaufgabe, für die vor dem Hintergrund der Anforderungen (vgl. Abschnitt 2.6) keine Hilfestellung entwickelt werden muss.

Prinzipiell sind die Hilfsmittel auch in anderen PM Vorgehensmodellen nutzbar. Auch müssen nicht zwangsläufig alle Hilfsmittel Verwendung finden. Sofern bspw. in einer Fertigung keine Sensordaten vorliegen, wird das Rahmenwerk zur Vorverarbeitung von Maschinendaten in der Vorverarbeitungsphase nicht benötigt.

4.4.2 Process Mining Data Canvas

Nach der Projektinitialisierung erfolgt die Datenextraktion (vgl. Abschnitt 4.4.1). Die PM Data Canvas (PMDC) ist eine Workshopmethode, welche diese Projektphase der Daten- und Wissensextraktion gezielt unterstützt. Sie wurde auf der *CIRP Design* als [BEK+23] veröffentlicht. Die PMDC wurde mithilfe der DSRM nach PEFFERS ET AL. [PTR+07] entwickelt. Diese Methode ist besonders geeignet für die Erforschung von anwendungsorientierten Artefakten unter Verwendung der existierenden Literatur. Für die Entwicklung wurden insgesamt drei Schleifen durchlaufen, in der die PMDC entsprechend der Anwendbarkeit in Workshops adaptiert wurde. Eine detaillierte Beschreibung der instanzierten Forschungsmethode findet sich im Anhang A3.2.2.

Die PMDC wird unter Moderation des PM Experten in Zusammenarbeit mit dem Prozess- und einem Fertigungsexperten ausgefüllt. Für das Ausfüllen wird ein dreistündiger Workshop benötigt. Als Ergebnis der PMDC kann eine Anforderung an den IT-Systemexperten hinsichtlich der zu extrahierenden Daten gestellt werden. Dafür werden die drei Ebenen der PMDC nacheinander ausgefüllt. Die Ebenen und der Ablauf des Ausfüllens sind in Bild 4-6 abgebildet. Für die ersten beiden Ebenen existiert eine Vorlage, die eine einheitliche und formalisierte Dokumentation gewährleistet. Die drei Ebenen sind:

- 1) **Allgemeine Informationen:** Diese Ebene sammelt grundlegende Informationen zum Projekt. Die Vorlage ist eine Tabelle mit den wichtigsten Aspekten, die einmalig beantwortet werden.

- 2) **Informationen zu Prozess- und Datensilos:** Diese Ebene sammelt Informationen zum Prozessverlauf und den möglichen Datenquellen. Die Vorlage leitet schrittweise durch verschiedene Aspekte und muss pro Silo einmal ausgefüllt werden.
- 3) **Informationen zur Aggregation der Prozess- und Dateninformationen:** Diese Ebene verbindet die zuvor identifizierten Silos miteinander. Dabei ist insbesondere die Identifikation einer geeigneten Case ID relevant.

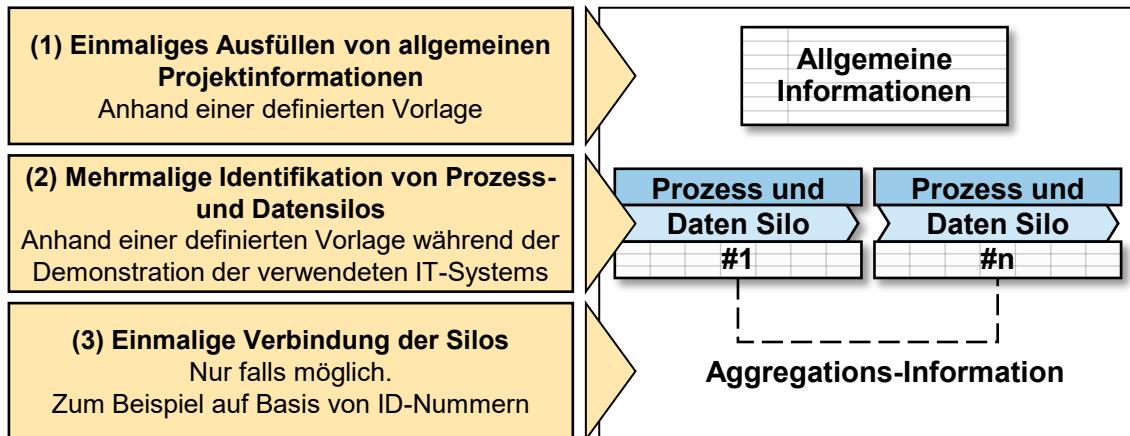


Bild 4-6: Vorgehensweise beim Ausfüllen der PM Data Canvas

1) Allgemeine Informationen

Für die **allgemeinen Informationen** sind sechs Aspekte zu beantworten. Die Aspekte sammeln generelle Punkte über das PM Projekt ein. Die Vorlage zum Ausfüllen ist in Bild 4-7 dargestellt.

| | | |
|-------------------------|--|--|
| Prozessname | | Wie lautet der Name des zu analysierenden Prozesses? |
| Region | | Welche Abteilung oder welcher Bereich wird analysiert? |
| Zeitraum | | Welcher Zeitraum wird analysiert? |
| Letzte Prozessanpassung | | Wann wurde der Prozess zuletzt angepasst? |
| Grund der Extraktion | | Wieso wird die Analyse durchgeführt? |
| Relevante KPI | | Welche KPI sind für den Prozess relevant? |

Bild 4-7: Vorlage für die allgemeinen Informationen

Nachdem der (a) Name des untersuchten Prozesses festgehalten wurde, müssen die (b) Region und der (c) Betrachtungszeitraum definiert werden. Insbesondere für größere Unternehmen mit zentralen Datenstrukturen ist es sehr wichtig, für welchen Standort oder welches Land der zu untersuchende Prozess betrachtet werden soll. Der Betrachtungszeitraum hält fest, für welchen Zeitraum der Prozess betrachtet werden sollte. Dafür ist ggf. der (d) letzte Zeitpunkt der Prozessanpassung zu betrachten, da sich mit jeder Prozessanpassung der Prozessablauf fundamental ändert und weniger vergleichbar ist. Die letzten beiden Fragen sind der (e) Grund für die Datenextraktion und für den Prozess (f)

relevante KPI. Dadurch kann geprüft werden, ob alle Workshopteilnehmer die Ziele und Funktionsweise des PM Projekts verstanden haben. Auch kann mit den KPI die spätere Analyse gestaltet werden.

Für das Ausfüllen können **Informationen** aus dem zweiten Bestandteil der Systematik (vgl. Abschnitt 4.3) **wiederverwendet** werden. Dies betrifft insbesondere den (a) Prozessnamen und den (e) Grund der Extraktion. Ersterer ist die oberste Ebene der Workshoptmethode zur Identifikation von PM Use Cases und letzteres ist die identifizierte Frage zu beantworten (vgl. Abschnitt 4.3.2).

2) Informationen zu Prozess- und Datensilos

Das Zentrum der PMDC sind die **Prozess- und Datensilos**. Kernidee dieser Ebene ist es, Bereiche zu identifizieren, in denen Informationen über einen Prozess in ähnlicher Form vorliegen. Beispielsweise werden in einem Fertigungsprozess Informationen über den Fertigungsfortschritt über Betriebsdatenerfassungsterminals und über Maschinendaten festgehalten. Die Datenquellen (vergleichbar mit den Datenquellen der Datenlandkarte in Abschnitt 3.3.2) für die Informationen sind unterschiedlich. Für jede Datenquelle ist eine Vorlage für Prozess- und Dateninformationen zu befüllen. Die Vorlage ist in Bild 4-8 dargestellt.

| Aktuelle Dokumentationen und Kommentare zu ihrer Relevanz | | | | |
|--|---|---|-------------------------------|--|
| Prozessmodelle Werksnormen Entity-Relationship Diagramme | | | | |
| IT-System | | | | |
| Physicaler Prozessstart | Prozess | Physisches Prozessende | Ggf. Anstoß weiterer Prozesse | |
| Digitaler Prozessstart | <i>Einordnung des erwarteten Prozesses in eine geläufige Abstraktionsart</i> | | | |
| Nutzeroberflächenname | <ul style="list-style-type: none"> • <i>Vervollständigung auf Basis einer Demonstration im IT-System</i> | | | |
| Beschreibung | <ul style="list-style-type: none"> • <i>Sammlung der Bezeichnungen und Darstellung in der Nutzeroberfläche</i> | | | |
| Datenerzeugungsqualität | | | | |
| Format und weitere Informationen | | | | |
| Notwendigkeit für Anonymisierung? | | | | |
| Logik | <input type="checkbox"/> Nur abgeschlossene Instanzen einbeziehen! | <input type="checkbox"/> Nur Instanzen einbeziehen, die ... | | |
| Zeit | Nur Instanzen betrachten, die... <input type="checkbox"/> Gestartet <input type="checkbox"/> Beendet <input type="checkbox"/> Schneiden <input type="checkbox"/> Umfasst <input type="checkbox"/> Abgeschlossen vor nach während | | | |

Bild 4-8: Vorlage für die Prozess- und Dateninformationen

In der obersten Swimlane werden Informationen zu **aktuellen Dokumentationen und Kommentare zu ihrer Relevanz** gesammelt. Ziel ist es, bestehende Dokumentationen zu dem untersuchten Bereich festzuhalten. Diese Dokumentationen können bezogen auf den Prozess, bspw. bestehende Prozessmodelle, Werksnormen oder inoffizielle Prozessschaubilder sein. Hinsichtlich der Daten sind vor allem Entity-Relationship (ER) Diagramme von Relevanz.

Anschließend können Informationen zum **Prozess** selbst gesammelt werden. Entscheidend für die Qualität eines Event Logs ist, dass die Zeitstempel den realen Zeitpunkten entsprechen, an denen die Prozesse gestartet oder beendet wurden. Daher wird zunächst sowohl der physische als auch der digitale Prozessstart festgehalten. Der digitale Prozessstart bezeichnet die erste bzw. die typische Aufzeichnung über den Prozess in den Daten. Hingegen ist der physische Prozessstart der tatsächliche Beginn eines Prozesses. Diese gezielte Unterscheidung fordert die Fertigungsexperten gezielt dazu auf, zu prüfen, ob ein Unterschied zwischen physischem und digitalem Prozessstart vorliegt. Danach wird in der Mitte des Prozessbereichs vermerkt, welcher Abstraktionsgrad der Aktivitäten für das PM relevant ist. Idealerweise werden dafür die Prozessschritte aus der Workshopmethode zur Identifikation von PM Use Cases (vgl. Abschnitt 4.3.2) wiederverwendet. Andernfalls kann sich an einer vorliegenden Dokumentation der Prozessarchitektur orientiert werden. Sollte keine Form von Prozessen vorliegen, können auch beispielhafte Aktivitätennamen gesammelt werden. Ziel ist, dem PM Experten eine grobe Vorstellung zu bieten, welche Prozessschritte zu erwarten sind. Analog zu dem physischen und digitalen Prozessstart, werden auch die entsprechenden Prozessenden festgehalten. Zusätzlich kann notiert werden, ob dieser Bereich einen anderen Prozess anstößt.

Im unteren Bereich der Vorlage werden Informationen zum **IT-System** gesammelt. Es empfiehlt sich, dass die Fachexperten einen beispielhaften Prozessdurchlauf im IT-System demonstrieren. Während der Demonstration kann der PM Experte die Tabelle ausfüllen. In den Spalten finden sich die mindestens notwendigen Attribute, um einen Event Log zu erstellen (vgl. Abschnitt 2.4.2). Es können beliebig viele weitere Attribute hinzugefügt werden, um für die Analyse relevante Informationen mit aufzunehmen. In den Zeilen werden unterschiedliche Informationen gesammelt. Zunächst wird der in der Benutzeroberfläche angezeigte Name für das gewünschte Attribut festgehalten. Eine kurze Beschreibung charakterisiert das Attribut. Die Datenerzeugungsqualität dokumentiert, wie das Attribut erzeugt wird, bspw. per manueller Eingabe oder per Auswahl aus einer Liste. Dadurch wird für den PM Experten deutlich, wie verlässlich das Attribut ist. Eine vom Menschen eingegebene Information ist bspw. weniger verlässlich als eine vom Computer generierte. In der nächsten Zeile wird über das Format und zusätzliche Informationen ein beispielhafter Datenpunkt aufgeschrieben. Dies kann bspw. bei der späteren Vorverarbeitung des Zeitstempels dabei unterstützen, die Reihenfolge des Datums richtig zu identifizieren. Abschließend wird festgehalten, ob eine zusätzliche Anonymisierung notwendig ist.

Abschließend wird für die Datenextraktion die **Logik** und die **Zeit** dokumentiert. Dafür wird der für die Analyse mindestens erreichte Fortschritt der Prozessinstanzen notiert. Die Zeit beschreibt die Kriterien der Prozessinstanz hinsichtlich des tangierten Zeitraums. Es kann festgehalten werden, inwiefern die Prozessinstanz innerhalb eines Zeitraums gestartet, abgeschlossen, oder enthalten sein muss. Diese Spezifizierung ist Grundlage für Abfragesprachen und muss daher möglichst präzise sein. Beispielsweise kann eine Prozessinstanz von Ende Januar bis Anfang Februar laufen. Ist der Betrachtungszeitraum als Februar definiert, gilt es an dieser Stelle für die PM Experten und die Fertigungsexperten zu definieren, ob nur Prozessinstanzen betrachtet werden sollen, die bspw. im Februar starten und auch enden oder ob bspw. die Beendigung im Februar schon ausreichend ist.

Der größte Vorteil des IT-System Abschnitts ist, dass nicht zwingenderweise ein IT-Experte im Workshop beteiligt sein muss. Durch die Demonstration der Nutzeroberfläche kann nach dem Workshop eine Dokumentation aufbereitet werden, in der alle benötigten Daten enthalten sind. Diese können an den IT Experten übermittelt werden, sodass die relevanten Daten extrahiert werden können.

3) Informationen zur Aggregation der Prozess- und Dateninformationen

Abschließend werden **Informationen zur Aggregation** der verschiedenen Prozess- und Dateninformationen gesammelt. Dazu können die Vorlagen der Prozess- und Dateninformationen, ähnlich wie bei ER-Diagrammen, miteinander verbunden und die Relationen beschrieben werden. Ziel ist es, die verschiedenen Case IDs der Datensilos in Beziehung zu setzen. Dies dient dem PM Experten dafür, später die verschiedenen extrahierten Daten zu einem gesamten Event Log zusammen zu führen.

4.4.3 Rahmenwerk zur Vorverarbeitung von Maschinendaten

Der dritte Schritt in einem typischen PM Projekt ist die Datenvorverarbeitung (vgl. Abschnitt 4.4.1). Das Rahmenwerk zur Vorverarbeitung von Maschinendaten (RVM) bietet einen domänenorientierten Ansatz, um Sensordaten von Maschinen in einen im PM nutzbaren Event Log zu transformieren. Das RVM wurde mithilfe des Action-Design-Researchs (ADR) nach SEIN ET AL. [SHP+11] erforscht. Diese Methode ist konzipiert für die Entwicklung von praktischen Lösungen für einen speziellen Anwendungsfall, welche anschließend generalisiert werden. An der insgesamt halbjährigen Erarbeitungszeit waren ein ADR-Team und verschiedene Abteilungen aus der Praxis beteiligt, wie die Digitale Transformation und die IT. Eine Beschreibung des genauen Forschungsvorgehens mit den Analyseiterationen und durchlaufenen Stufen findet sich im Anhang A3.2.4. Das RVM ist auf der CPSL als [BRE+23] veröffentlicht.

Das RVM dient als Anleitung für den PM Experten, um eine gegebene Menge an Sensordaten in einen nutzbaren Event Log zu überführen. Dafür muss insbesondere in den ersten beiden Phasen mit dem Prozessexperten Rücksprache gehalten werden. Der Zeitbedarf des RVMs ist von der Menge der Sensordaten und der Komplexität der Prozesse

abhängig und kann daher nicht mit Sicherheit generalisiert werden. Das RVM umfasst insgesamt sechs Phasen. Jede Phase hat zwei bis fünf Subschritte. Die Phasen und Subschritte sind in Bild 4-9 dargestellt. Sie werden nachfolgend kurz erklärt.

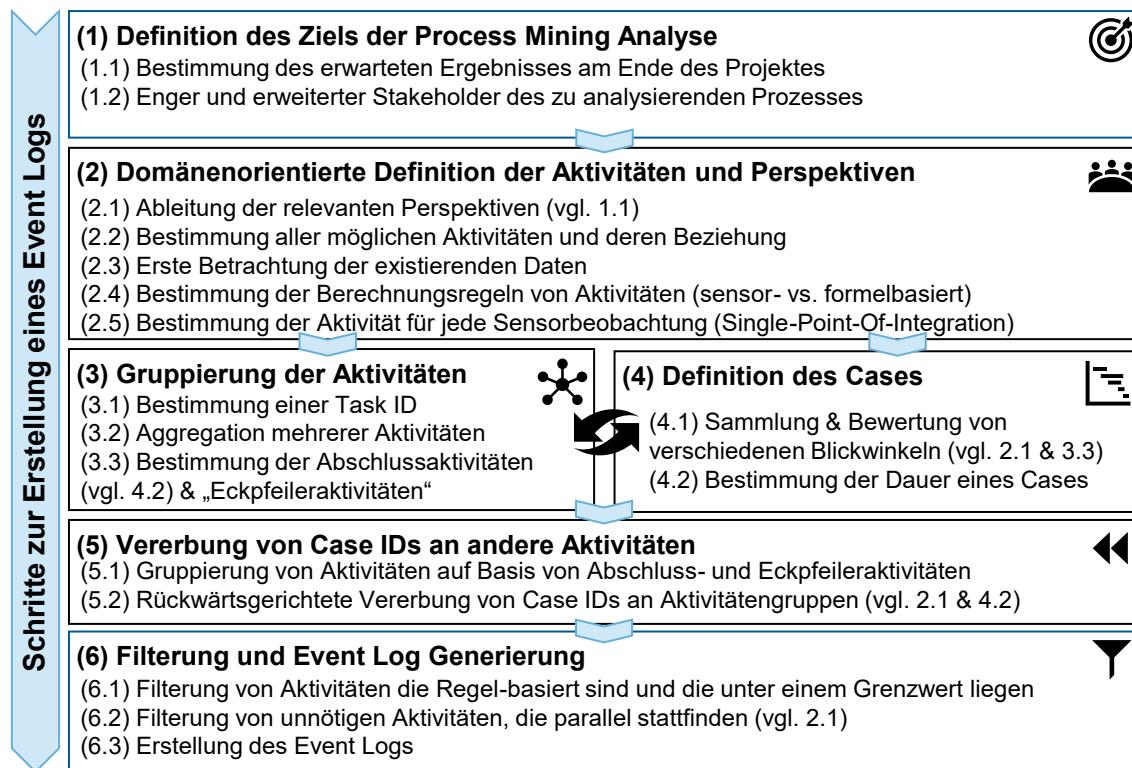


Bild 4-9: Rahmenwerk zur Vorverarbeitung von Maschinendaten

Die erste Phase **(1) Definition des Ziels der PM Analyse** umfasst das Beschreiben des erwarteten Ergebnisses sowie die Auflistung relevanter Stakeholder. Das Ergebnis beschreibt das Zielbild des Event Logs nach Anwendung des RVMs. Dieser Event Log muss ausreichen, um die allgemeinen PM Projektzielen zu erreichen.

Die zweite Phase **(2) Domänenorientierte Definition der Aktivitäten und Perspektiven** hat zum Ziel, jeder Sensorbeobachtung eine sogenannte Aktivitätenbeschriftung zuzuweisen. Dafür werden u. a. in Subschritt (2.4) Regeln zur Berechnung aufgestellt. Dieses Übersetzen von Domänenwissen zu Regeln hat zwei Gründe: zum einen können feingranularen Sensordaten nicht als Input im PM verwendet werden, zum anderen erlaubt die Domänenorientierung, ohne viel Vorwissen zu Clusteralgorithmen, eine Überführung der Sensordaten in für das PM nutzbare Daten. Es können zwei Arten von Regeln unterschieden werden: sensorbasierte und formelbasierte Regeln. Sensorbasierte Regeln sind Berechnungen, die auf Basis von Maschinendaten erfolgen, bspw. die Verbindungsinformation von Maschinen. Formelbasierte Regeln sind Berechnungen, die mithilfe von mathematischen Gleichungen erfolgen, bspw. die Steigung von Kurven.

Die dritte Phase **(3) Gruppierung der Aktivitäten** und die vierte Phase **(4) Definition des Cases** finden parallel statt. Ziel der dritten Phase ist die Erstellung eines einzelnen Datensatzes, der Informationen über Aktivitäten und deren Dauer enthält.

In der vierten Phase **(4) Definition des Cases** wird die Case ID definiert. In Kombination mit der Phase (3) wird der einzelne Datensatz hinsichtlich Start- und Endaktivitäten, sowie sogenannte Eckpfeileraktivitäten⁴⁰ markiert.

In der fünften Phase **(5) Vererbung von Case IDs an andere Aktivitäten** wird jeder Aktivität aus dem einzelnen Datensatz eine Case ID zugeordnet. Dafür wurde ein spezielles Vererbungssystem entwickelt, welches das Konzept der Start- und Endaktivitäten, sowie der Eckpfeileraktivitäten nutzt. Im Zentrum dieses Systems steht ein speziell für diesen Anwendungsfall entwickelter Algorithmus (vgl. Anhang A3.1.2), welcher über einen Datensatz iteriert und Aktivitäten schrittweise eine Case ID zuweist.

In der letzten Phase **(6) Filterung und Event Log Generierung** wird der finale Event Log erstellt. Dafür werden zu kurze oder ggf. redundante Aktivitäten herausgefiltert. Schlussendlich wird der Event Log in einem gängigen Dateiformat abgespeichert.

4.4.4 Katalog mit Analysevorlagen

Die Kernaufgabe von PM Projekten ist die Durchführung des Minings & der Analyse (vgl. Abschnitt 4.4.1). LASHKEVICH ET AL. [LMD23] präsentieren einen umfassenden Katalog mit 22 Analysevorlagen, welcher im Detail in Abschnitt 3.3.4 vorgestellt wurde. Der Katalog leitet den PM Experten an, den Event Log hinsichtlich typischer Prozessprobleme zu analysieren. Zusätzlich werden beispielhafte Optimierungsmöglichkeiten aufgezeigt, sodass nicht nur die Mining & Analyse-Phase unterstützt wird, sondern auch die eigentliche Prozessoptimierung. In Zusammenarbeit mit dem Prozessexperten können somit erste Maßnahmen zur Optimierung abgeleitet werden. Prinzipiell kann die Verwendung des Katalogs innerhalb weniger Minuten erfolgen. Es sollte jedoch beachtet werden, dass ggf. Iterationen in anderen Phasen notwendig werden oder sich mit Stakeholdern wie Process Owners abgestimmt werden muss. Eine Einschätzung der Dauer der Mining & Analyse-Phase ist daher nicht sicher möglich.

Der Katalog ist eine 79-Seiten umfassende Textanleitung. Für die vorliegende Arbeit wurde dieser Katalog zu einem 21-Seiten umfassenden Klick-Dokument⁴¹ zusammengefasst, neu strukturiert und ins Deutsche übersetzt. Der Aufbau des Klick-Dokuments ist in Bild 4-10 dargestellt. Die Bestandteile und Nutzungsart des Dokuments werden nachfolgend erklärt. Auszüge aus dem Katalog sind im Anhang A3.1.2 dargestellt.

Jeder der 21 Analysevorlagen ist auf einer Seite dargestellt. Jede Seite besteht aus fünf Bestandteilen. Im Kopf der Vorlage findet sich der **(1) Titel der Analysevorlage**. Unterhalb finden sich **(2) Key-Facts und Grundeinstellungen**. Die Key-Facts setzen sich aus einer kurzen Definition zusammen sowie dem benötigen Input und zu erwartenden

⁴⁰ Das Konzept von Eckpfeileraktivitäten findet sich in gängiger PM Literatur, bspw. im Anhang A2.4.1.

⁴¹ Eine Seite pro Analysevorlage. Zwei ähnliche Vorlagen werden zusammengefasst.

Output. Grundeinstellungen beziehen sich auf PM spezifische Perspektiven oder Konfigurationen in einem PM Tool. Beispielsweise wird angezeigt, ob Zeiten als Median oder im Durchschnitt berechnet werden sollten. Eine kurze **(3) Erläuterung** bietet einen Hintergrund, warum die Analyse relevant ist und inwiefern dies ein Verbesserungspotential für einen Prozess darstellt. Den größten Teil nimmt die **(4) Anleitung zur Durchführung der PM basierten Analyse** ein. Hier wird zum einen eine Schritt-für-Schritt-Anleitung gegeben, wie der Event Log manipuliert bzw. wonach gesucht werden muss, um die Optimierungspotentiale erkennen zu können. Zum anderen wird eine Darstellung im PM Tool Apromore⁴² geboten, die eine visuelle Unterstützung bei der Analyse und den durchzuführenden Schritten bietet. Wie in Abschnitt 2.4.2 dargelegt, verwenden die PM Tools alle ähnliche Formen der Prozessdarstellung, weshalb die Ergebnisse auch auf andere Tools übertragbar sind. Schlussendlich werden **(5) Optimierungsmöglichkeiten** bereitgestellt, die generische Ansätze bieten, wie das identifizierte Problem beseitigt werden könnte.

| Improvement Opportunity | | | (1) Titel der Analysevorlage | | |
|--|--|---|--------------------------------------|--------------------------------------|------------|
| Def | In | Out | (2) Key-Facts und Grundeinstellungen | | |
| Aktivitäten mit wenigen Abläufen und geringer Bearbeitungszeit. | Aktivitäten, Startzeitstempel, Endzeitstempel, Ressourcen. | Kleine Tätigkeiten, die von Mitarbeitern ausgeführt werden. | Visualization Settings | DFG | Activities |
| (3) Erläuterung | | (4) Anleitung zur Durchführung der PM-basierten Analyse | | (5) Optimierungsmöglichkeiten | |
| Hintergrund Kleine Aktivitäten dauern nicht lange in der Bearbeitung. Ablauf des Prozesses, bspw. durch Waitezeiten. | Durchführung 1. Durchschnittliche Bearbeitungsdauer der Prozessschritte anzeigen. 2. Identifizieren Sie die Aktivitäten mit den kürzesten Bearbeitungszeiten. 3. Achtung: Sofortige Aktivitäten bleiben unberücksichtigt, da sie evtl. automatische Abläufe sind. 4. Erstellen Sie eine Tabelle mit Aktivitäten, ausführender Ressourcen und Sie die maschinellen Abläufe heraus. | Visualisierung (Apromore) <i>Die eingekreisten Aktivitäten sind sehr kurz und werden von Menschen ausgeführt!</i> | | | |
| Redesign Optionen <ul style="list-style-type: none">Fassen Sie mehrere kleine Aufgaben zu einer zusammenhängenden Tätigkeit zusammen. | | | | | |
| (5) Optimierungsmöglichkeiten | | | | | |

Bild 4-10: Aufbau des Katalogs mit Analysevorlagen in Anlehnung an [LMD23]

Der Analysekatalog kann auf zwei Wegen genutzt werden. Zum einen können die Analysevorlagen gezielt hinsichtlich der zu beantwortenden Frage (vgl. Abschnitt 4.3) durchsucht werden. Sofern eine der Analysevorlagen die zu beantwortende Frage unterstützt, kann der Anleitung gefolgt werden und die Optimierungsmöglichkeiten geprüft werden. Zum anderen besteht die Möglichkeit, die Vorlagen erkundend zu nutzen und einen gegebenen Event Log auf beispielhafte Analysevorlagen zu prüfen, um explorativ Optimierungspotentiale festzustellen.

⁴² Die Screenshots sind aus dem Original von LASHKEVICH ET AL. übernommen. Der Co-Gründer von Apromore hat einen Lehrstuhl an der Universität Tartu, wo die Analysevorlagen entstanden sind.

4.5 Leistungssteigerung von Process Mining Initiativen in Organisationen

Dieser Abschnitt adressiert den vierten Bestandteil der *Systematik zur Leistungssteigerung von Fertigungsprozessen durch PM* (vgl. Abschnitt 4.1). Die Problemanalyse zeigt, dass für Organisationen vermeintlich viele Stellhebel existieren, um PM zu skalieren (vgl. Abschnitt 2.5). Jedoch mangelt es im Stand der Technik an Ansätzen zur gezielten Leistungssteigerung von PM Initiativen in Organisationen (vgl. Abschnitt 3.5). Dieser Bestandteil ermöglicht PM Initiativen deshalb eine durchgängige Leistungsbewertung und -steigerung ihrer PM Aktivitäten. Als Input sollte ein Use Case im Fertigungsumfeld realisiert worden sein (vgl. Abschnitt 4.4), um eine realistischere Einschätzung des Ist-Zustands zu ermöglichen. Das Ergebnis dieses Bestandteils ist eine Roadmap mit Maßnahmen zur Schließung der Lücke zwischen Ist- und Soll-Zustand. Anwender dieses Bestandteils ist der Head of PM, der zusammen mit seinem PM Team die PM Initiative nachhaltig entwickeln will. Die Leistungsbewertung und -steigerung kann als eintägiger Workshop durchgeführt werden.

In **Abschnitt 4.5.1** wird das übergeordnete Vorgehensmodell vorgestellt. Es strukturiert die darauffolgenden Hilfsmittel in sachlogischer Reihenfolge. **Abschnitt 4.5.2** stellt das PM Reifegradmodell vor, welches der Kern der Leistungsbewertung und -steigerung ist. In **Abschnitt 4.5.3** werden Reifegradprofile vorgestellt, die mit Hilfe von fortgeschrittenen Anwendungsszenarien die Bestimmung des Soll-Zustands ermöglichen. Abschließend werden in **Abschnitt 4.5.4** typische Handlungsmaßnahmen von Organisationen zur Steigerung der eigenen Reife präsentiert.

4.5.1 Vorgehensmodell zur Anwendung

In diesem Abschnitt wird das Vorgehensmodell zum vierten Bestandteil der Systematik erläutert (vgl. Abschnitt 4.1). Es beschreibt, wie Organisationen strukturiert eine Leistungsbewertung und -steigerung durchführen können. Das Vorgehensmodell orientiert sich an dem Vorgehen nach CHRISTIANSEN (vgl. Bild 2-4 in Abschnitt 2.3.2). In Bild 4-11 sind die Phasen, entwickelten Hilfsmittel und Ergebnisse des Vorgehensmodells dargestellt. Diese werden nachfolgend erläutert.

Der erste Schritt der **Zustandserfassung** wird mit einer Onlineumfrage durchgeführt. Der sogenannte Quick Check deckt die wesentlichen Aspekte des nachfolgend angewendeten PM Reifegradmodells ab. Durch das Ausfüllen kann ein erster Einblick über die Reife der ausfüllenden PM Initiative bzw. Organisation gewonnen werden. Da der Quick Check lediglich die zentralen Punkte des PM Reifegradmodells abfragt, wird der Aufbau und die Funktionsweise des Quick Checks im Anhang A3.1.4 erläutert.

Auf Basis dieses ersten Einblicks kann im zweiten Schritt im Rahmen der **Leistungsbewertung** das eigentliche PM Reifegradmodell eingesetzt werden (vgl. Abschnitt 4.5.2). Das PM Maturity Model (P3M) umfasst fünf Handlungsfelder mit insgesamt 23

Handlungselementen, die jeweils fünf Reifegradstufen besitzen. Anhand dieser Reifegradstufen können Organisationen den aktuellen Ist-Zustand ihrer PM Initiative bewerten.

Anschließend werden fünf Reifegradprofile vorgestellt, die eine Orientierung für die **Soll-Zustandsdefinition** bieten (vgl. Abschnitt 4.5.3). Zur Auswahl des angestrebten Reifegradprofils werden zusätzlich 18 fortgeschrittenen Anwendungsszenarien mitgeliefert. Über die Auswahl der zukünftig angestrebten Anwendungsszenarien kann somit die Lücke zwischen Ist- und Soll-Zustand identifiziert werden.

Um die Lücke zwischen Ist- und Soll-Zustand zu schließen, muss eine **Leistungssteigerung** erfolgen. Dafür wird zunächst der Handlungsbedarf hergeleitet. Zur Unterstützung dieser Aktivität werden typische Handlungsmaßnahmen von realen Organisationen zur Verfügung gestellt (vgl. Abschnitt 4.5.4). Die Handlungsmaßnahmen bieten Einblick über die Maßnahmen anderer Organisationen.

Die so identifizierten Maßnahmen werden für die **Maßnahmenumsetzung** im Stil einer Roadmap in Anlehnung an GAUSEMEIER UND PLASS [GP14, S. 166] festgehalten.

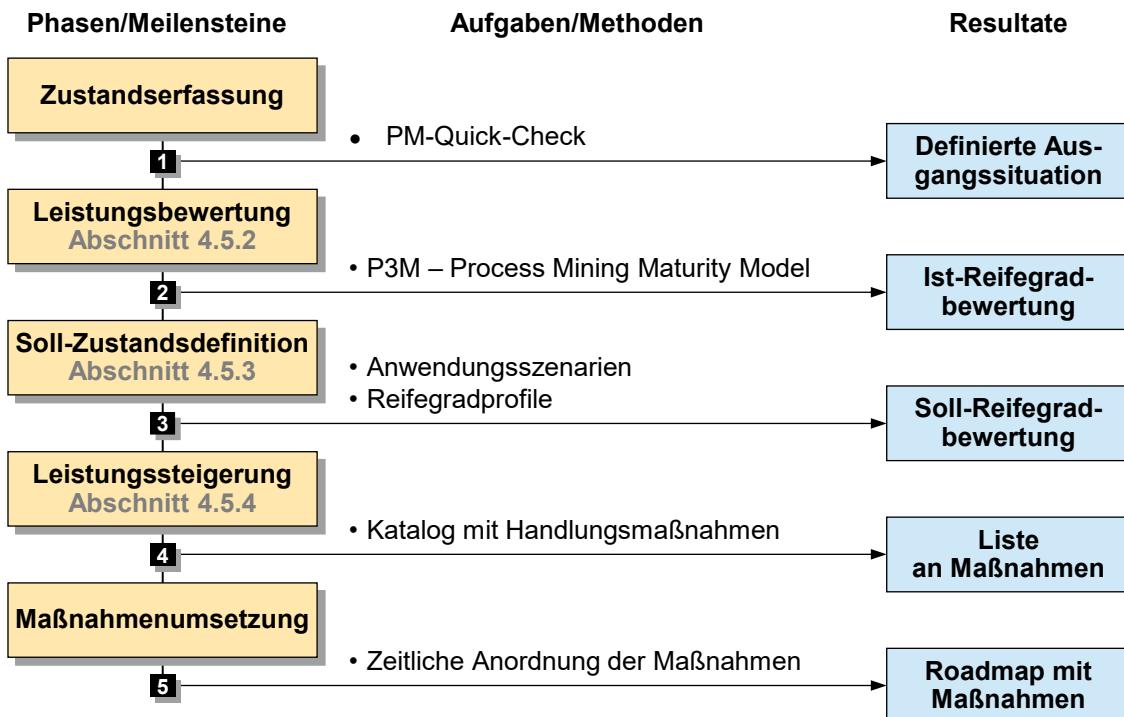


Bild 4-11: Vorgehen zur Leistungsbewertung und -steigerung von PM Initiativen in Organisationen in Anlehnung an [Chr09]

Dieser Bestandteil der Systematik adressiert die PM Initiative als Ganzes. Idealerweise wurde zuvor ein Use Case im Fertigungsumfeld durchgeführt. Dadurch können die praktischen Erfahrungswerte, bspw. über existierende Datenlücken, gezielt aufgearbeitet werden, wodurch spätere PM Projekte effizienter bearbeitet werden können. Prinzipiell kann jedoch jede Organisation die Leistungsbewertung und -steigerung durchführen. Dies

schließt auch Organisationen ohne dedizierte PM Initiativen oder sogar ohne Fertigungsprozesse ein.

4.5.2 P3M – Process Mining Maturity Model

Nach der Zustandserfassung erfolgt die Leistungsbewertung anhand eines Reifegradmodells (vgl. Abschnitt 4.5.1). Das P3M ist ein mehrschichtiges Reifegradmodell, welches fünf Handlungsfelder, 23 Handlungselemente mit je fünf dedizierten Reifegradstufen besitzt. Es ist auf der *ECIS* erstmalig als [BLB+23] veröffentlicht und im Rahmen der *BISE* als [BBL+24] überarbeitet worden. Das Reifegradmodell wurde entsprechend der gängigen Forschungsmethode zur Entwicklung von Reifegradmodellen nach BECKER ET AL. [BKP09] erarbeitet und mit Ansätzen aus KÜHN ET AL. ergänzt [KBG13]. Die Instanziierung und Beschreibung der durchgeführten Forschung findet sich im Anhang A3.2.2.

Aufbau des P3M

Die Handlungsfelder und -elemente des P3M sind in Bild 4-12 dargestellt und werden nachfolgend beschrieben.

| Organisation | Daten- ausgangslage | Wissen von Personen | Umfang der PM- Anwendung | Governance | | |
|--|---|---|--|---|---------------|------------------|
| Purpose  | Prozessorientierte IT-Systeme  | Umgang mit PM-Tools  | Discovery  | Methoden & Tools  | | |
| Center of Excellence für PM  | Zugänglichkeit der Daten  | Techn. Rahmenbedingungen  | Analyse  | Rollen & Verantwortlichkeit  | | |
| Prozessbewusstsein  | Umfang der Daten  | Datenvorverarbeitung  | Monitoring & Controlling  | Prozesse  | | |
| Data-Driven-Decision-Making  | | Klassisches Data Mining  | Fortgeschrittene Anwendung  | Daten  | | |
| Wandlungsfähigkeit  | | PM-Grundlagen  | | | | |
| Methoden der PM-Projektphasen  | | Fortgeschrittene Grundlagen  | | | | |
| Legende <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td style="background-color: #a6c9ff; color: white; text-align: center;">Handlungsfeld</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #a6c9ff; color: white; text-align: center;">Handlungselement</td> </tr> </table> | | | | | Handlungsfeld | Handlungselement |
| Handlungsfeld | | | | | | |
| Handlungselement | | | | | | |

Bild 4-12: Die Handlungsfelder und -elemente des P3M im Überblick

Das Handlungsfeld **Organisation** fasst Elemente zusammen, die beschreiben, wie gut eine Organisation für PM aufgestellt ist. Das Handlungsfeld umfasst sechs Elemente:

- Der **Purpose** beschreibt, inwiefern die Anwendung von PM in der Organisation schon klar ist. Dafür dienen bspw. vorhandene Use Cases und die langfristige Vision als Bewertungsgrundlage.
- Das **Center of Excellence für PM** betrachtet, wie PM in der Organisation aufgehangen ist. Dafür wird unter anderem bewertet, wie langfristig die Strukturen aufgebaut sind.

- Das **Prozessbewusstsein** bewertet, inwieweit die Organisation schon funktionsübergreifend im Sinne von Prozessen handelt.
- Das **Data-Drive-Decision-Making** gibt Aufschluss darüber, wie ausgeprägt das Treffen von datenbasierten Entscheidungen in der Organisation sind. Dafür wird betrachtet, wie umfangreich Daten im Entscheidungsprozess beachtet werden.
- Die **Wandlungsfähigkeit** betrachtet, inwieweit die Kultur einer Organisation aufgeschlossen an Veränderungen herantritt.
- Abschließend betrachtet das Handlungselement **Methoden der PM Projektphasen**, wie ausprägt der Einsatz von unterstützenden Methoden, Werkzeugen und Hilfsmitteln in PM Projekten ist.

Das zweite Handlungsfeld ist die **Datenausgangslage**. Im Gegensatz zu bspw. dem Reifegradmodell für Event Logs (vgl. Abschnitt 3.4.1) wird kein extrahierter Datensatz bewertet, sondern die allgemeine Ausgangssituation der IT-Infrastruktur für PM. Dafür werden die folgenden Handlungselemente unterschieden:

- Inwiefern werden schon **prozessorientierte IT-Systeme** zur Unterstützung der Geschäftsprozesse eingesetzt. Dies umfasst nicht nur die Ereignisse, sondern auch Aspekte der IT-Sicherheit und semantischer Verbindungen von unterschiedlichen Systemen.
- Die **Zugänglichkeit der Daten** beschreibt hingegen, wie schnell die benötigten Daten zur Verfügung gestellt werden können.
- Schlussendlich beschreibt der **Umfang der Daten**, in welchem Umfang neben den Ereignissen auch Kontextinformationen vorhanden sind, bspw. i. F. v. Metadaten.

Das Handlungsfeld **Wissen der Personen** betrachtet den Erfahrungsschatz von Mitarbeitenden für PM. Dies betrifft vor allem die Akteure, die direkt an PM Projekten beteiligt sind. Insgesamt existieren sechs Elemente, die sich an notwendigem Wissen über verschiedene Technologien orientieren:

- Grundlegend für den Erfolg von PM ist der **Umgang mit PM Tools**. Das umfasst nicht nur Wissen über die Funktionsweisen, sondern auch über die Limitation von eingesetzten Werkzeugen.
- Zusätzlich ist Wissen über **technische Rahmenbedingungen** fundamental für jede PM Initiative. Dazu zählen vor allem die Funktionsweise von Datenbanken, aber auch die Integration und Funktionsweise von Dashboards.
- Die **Datenvorverarbeitung** beschreibt, wie ausgeprägt die Fähigkeiten der Aufbereitung von Roh-Daten zu Event Logs sind. Dazu zählen auch die Prüfung von Datenqualitätsproblemen oder der Aufbau von Datenpipelines.

- Auch ist Wissen über **klassisches Data Mining** relevant. Dazu zählen gängige Ansätze der Clusteranalyse, aber auch fortgeschrittenere Ansätze des Machine Learnings.
- Das Handlungselement **PM Grundlagen** deckt ab, ob fundamentales Wissen für PM vorhanden ist. Dies deckt sowohl die drei Haupttechniken ab, aber auch die Funktionsweise und Möglichkeiten von Prozessmodellen, oder von PM Algorithmen.
- Schlussendlich werden im Element **fortgeschrittene Anwendungsfälle** alle über die drei Haupttechniken hinausgehenden PM Typen und Techniken subsumiert. Dies schließt bspw. präskriptive Ansätze ein.

Das Handlungsfeld **Umfang der PM Anwendung** betrachtet, welche Arten des PMs bereits in welchem Umfang Anwendung in der Organisation finden. Dafür unterteilen die Handlungselemente die Arten des PMs, während die Reifegradstufen den Umfang der Anwendung auf verschiedene Geschäftsprozesse beschreiben. Folgende Handlungselemente existieren:

- Das **Discovery** umfasst die erste Haupttechnik Process Discovery des PMs.
- Die **Analysis** umfasst die zweite und dritte Haupttechnik, das Conformance Checking und das Process Enhancement des PMs.
- **Monitoring und Controlling** betrachtet die Nutzung von PM auf Live-Daten aus der Organisation, um die Ausführung von Prozessen laufend zu überwachen und proaktiv Prozessverbesserungsprojekte starten zu können.
- Die **fortgeschrittene Anwendung** subsumiert alle weiteren PM Typen und Techniken.

Schlussendlich beschreibt das **Governance** die Reife der Richtlinien und Regularien in einer Organisation für das PM. Es werden vier Handlungselemente unterschieden:

- Das **Methoden und Tool Governance** umfasst den Umfang und die Reife der Richtlinien, die den Einsatz von neuen Methoden bzw. Werkzeugen festlegen.
- Die **Rollen und Verantwortlichkeiten** decken ab, inwiefern verschiedene Rollen in der PM Initiative existieren und ob deren Zuständigkeiten definiert sind.
- Das **Prozess-Governance** beschreibt die Richtlinien und Regeln, die das Durchführen von PM Projekten in Prozessen bestimmen. Dies stellt eine Schnittstelle zum klassischen BPM dar.
- Das **Data-Governance** beschreibt die Regularien, die den Zugriff auf (sensible) Datensätze aus IT-Systemen bestimmen.

Für jedes der zuvor genannten Handlungselemente existieren fünf dedizierte Reifegradstufen, die eine Organisation erreichen kann. Bei der Benennung der Reifegradstufen wird die Entwicklungsstrategie der Exaptation deutlich, da sich die Namen an den Reifegradstufen des CMMI (vgl. Abschnitt 3.4.3) orientieren. Um die Komplexität des Modells zu verringern, versucht das Reifegradmodell, einem Muster über alle Reifegradstufen der Elemente zu folgen:

- 1) **Initial:** Die erste Stufe wird für nicht vorhandene Fähigkeiten oder undokumentierte Richtlinien verwendet.
- 2) **Rudimentär:** Die zweite Stufe beschreibt oft einen ersten Kontakt durch externes Fachpersonal oder unerprobte Praxis.
- 3) **Eigenständig:** Die dritte Stufe umfasst in der Regel das erste Pilotprojekt der Organisation selbst.
- 4) **Systematisch:** Die vierte Stufe führt wiederholbare Strukturen sowie Mechanismen zur ständigen Bewertung und Verbesserung des Reifegrads ein.
- 5) **Optimierung:** In der fünften Stufe werden in der Regel langfristige Visionen und Organisationsstrukturen (z. B. eine Data-Governance-Abteilung) eingeführt, die ganz auf die Erhaltung, Verbesserung und strategische Weiterentwicklung des Reifegrads ausgerichtet sind.

Das vollständige Reifegradmodell ist im Anhang A3.1.5 dargestellt⁴³.

Nutzung des P3M

Da das P3M für jedes Handlungselement definierte Reifegradstufen besitzt, können sich die Anwender selbst in die entsprechenden Reifegradstufen einordnen. Dafür können schrittweise die Handlungselemente und die einzelnen Reifegradstufen besprochen und bewertet werden. Es empfiehlt sich, einen Moderator einzusetzen, der mit dem Reifegradmodell vertraut ist und Diskussionen lenken kann. Es muss nicht das Ziel einer Organisation sein, alle Handlungselemente auf die höchste Reifegradstufe zu bringen. Eine Organisation kann sich bspw. bewusst dazu entscheiden, dass keine fortgeschrittene Anwendung des PMs notwendig ist. Das Reifegradmodell dient der kritischen Selbstreflektion. Daher empfiehlt sich im Zweifel eine schlechtere Bewertung zu wählen, sofern die Bewertenden Handlungsbedarf im entsprechenden Handlungselement sehen. Des Weiteren sollte jede vorherige Reifegradstufe erfüllt sein, bevor die darauffolgende erreicht werden kann. Schlussendlich gibt es kein „One-Best-Way“ für die Reifegradentwicklung. Jede Organisation hat unterschiedliche Ziele, Ausgangs- und Rahmenbedingungen. Das

⁴³ Die aktuelle, englischsprachige Version des Reifegradmodells findet sich unter https://www.its-owl.de/fileadmin/PDF/Loesungsbausteine/20230309_BPMI40_ProcessMiningMaturityModel.pdf zuletzt aufgerufen am 03.04.2024.

Reifegradmodell ist am besten als Werkzeug eingesetzt, um eine gezielte Leistungssteigerung der PM Initiative zu erreichen.

4.5.3 Reifegradprofile und fortgeschrittene Anwendungsszenarien

Im Anschluss an die Leistungsbewertung muss mithilfe der Unternehmensziele die Definition des Soll-Zustands erfolgen, um gezielt Maßnahmen zum Schließen der Ist-/Soll-Lücken zu erreichen (vgl. Abschnitt 4.5.1). Nachfolgend werden Reifegradprofile vorgestellt, die Organisationen eine Hilfestellung bei der Entwicklung bieten. Zur besseren Operationalisierung werden Steckbriefe mit fortgeschrittenen Anwendungsszenarien mitgeliefert, die den Reifegradprofilen zugeordnet sind.

Reifegradprofile zur Nutzung im Rahmen der Soll-Zustandsdefinition

Insgesamt existieren fünf verschiedene Reifegradprofile. Sie dienen als Orientierung bei der Bestimmung des Soll-Zustands. Im Anhang A3.2.6 wird das durchgeführte Vorgehen zur Bildung der Reifegradprofile beschrieben. Die Reifegradprofile geben Aufschluss über die mindestens zu erreichenden Reifegradstufen in den Handlungselementen des P3Ms. Bild 4-13 zeigt beispielhaft das erste Reifegradprofil.

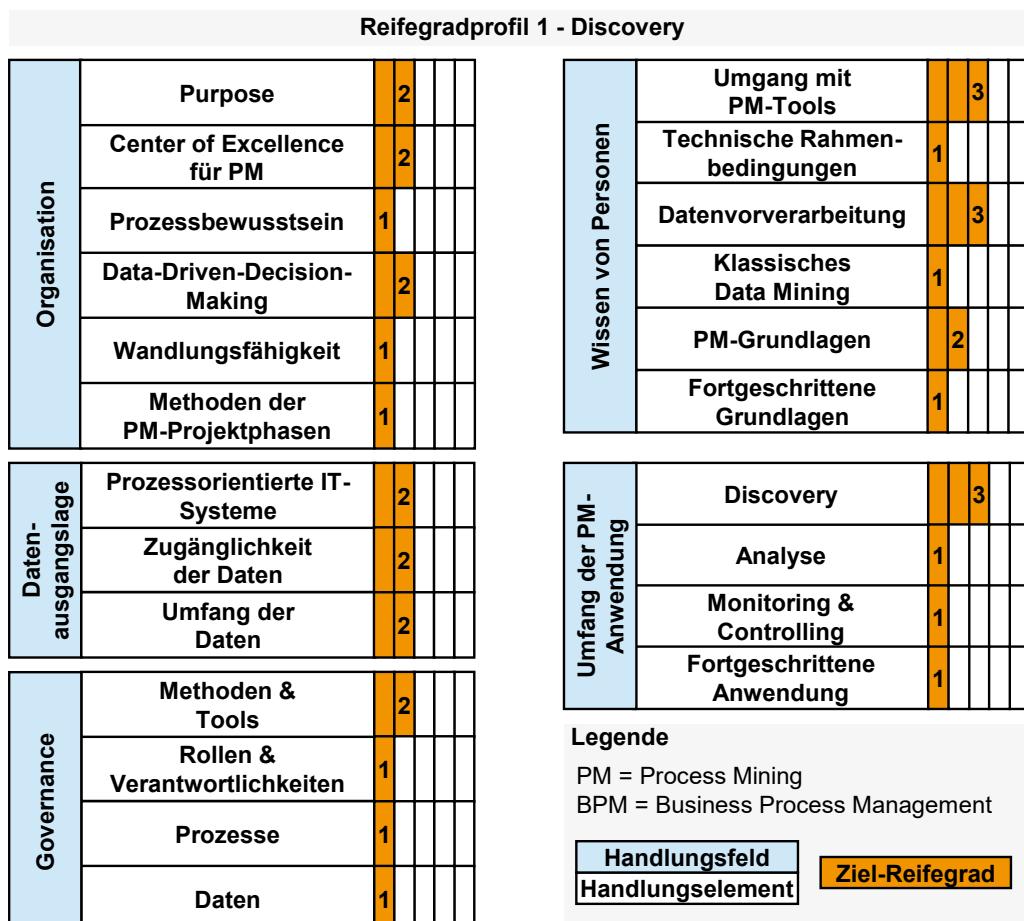


Bild 4-13: Detaillierte Ausprägung des Reifegradprofils 1 – „Discovery“ im P3M

Alle Reifegradprofile und deren zentrale Charakteristik sind in Tabelle 4-1 zusammengefasst. Die vollständigen Reifegradprofile sind im Anhang A3.1.6 aufgelistet. Das Reifegradprofil 1 charakterisiert bspw. Organisationen, die primär auf den Einsatz der ersten Haupttechnik des PMs (vgl. Abschnitt 2.4.2) im Rahmen der Prozessentdeckung und der Prozessanalyse im BPM Lebenszyklus (vgl. Abschnitt 2.3.3) zurückgreifen. Deshalb ist bspw. das Handlungselement „Discovery“ stark ausgeprägt. Weitere Handlungselemente, wie der Umgang mit PM Tools oder die Datenvorverarbeitung lassen sich auch direkt auf diese technische Komponente zurückführen. Da die Reifegradprofile über die technologische Grundlage gebildet sind, decken sie weniger technische Handlungselemente nicht voll ab. So besteht bspw. keine „technische“ Notwendigkeit, dass das Handlungselement Data-Driven-Decision-Making auf der zweiten Reifegradstufe sein muss. Da die Reifegradprofile tendenziell mit steigender Nummer aufwändigere Anwendungsszenarios abdecken, werden die nicht-technischen Handlungselemente dementsprechend auch erhöht. Da die Reifegradprofile lediglich als Referenz dienen und im jeweiligen Kontext und den Unternehmenszielen betrachtet werden sollen, ist diese Herangehensweise vertretbar.

Tabelle 4-1: Übersicht der Reifegradprofile mit deren zentralen Charakteristik

| Reifegradprofil | Beschreibung |
|-----------------|---|
| 1 – Discovery | Starker Fokus auf die prinzipielle Anwendung der ersten Haupttechnik von PM zur Entdeckung von Prozessen, daher insb. Handlungselement (HE) <i>Discovery</i> ausgeprägt. |
| 2 – Conformance | Starker Fokus auf die zweite Haupttechnik Conformance Checking, daher insb. HE <i>Analyse</i> ausgeprägt. |
| 3 – Performance | Starker Fokus auf die Analyse der Leistung von Prozessen, daher insb. HE <i>Data-Driven Decision Making</i> und <i>Analyse</i> ausgeprägt. |
| 4 – Compare | Starker Fokus auf das Vergleichen von Prozessen, daher insb. HE <i>Datenvorverarbeitung</i> (für die Vereinheitlichung von Daten) und <i>Controlling</i> ausgeprägt. |
| 5 – Forecast | Sammelprofil für alle komplexeren Anwendungsfälle. Starker Fokus auf die Integration von Machine Learning, daher HE wie <i>fortgeschrittene Grundlagen</i> oder <i>fortgeschrittene Anwendung</i> ausgeprägt. |

Steckbriefe mit fortgeschrittenen Anwendungsszenarien

Die 18 Steckbriefe mit fortgeschrittenen Anwendungsszenarien bieten Organisationen Hilfestellung bei der Ermittlung eines Soll-Reifegradzustands. Wie in Abschnitt 4.2 auf Basis der Definition und Strukturierung von PM Use Cases in Organisationen gezeigt wurde, sind Anwendungsszenarien nicht prozessspezifisch, sondern stellen eine Gruppe von möglichen PM Use Cases für Organisationen dar. Die Anwendungsszenarien sind

auf der *CIRP Design* als [BEK+24] veröffentlicht. Die Erforschung erfolgte in einem Brainstorming nach WILSON [Wil13]. Die Forschungsmethode eignet sich gut, in Zusammenarbeit mit realen Anwendern praxisorientierte Lösungen zu erarbeiten. Details zur Forschungsmethode finden sich im Anhang A3.2.1. Die ersten fünf Anwendungsszenarien sind in der nachfolgenden Tabelle 4-2 aufgelistet und erklärt. Für jede der 18 Anwendungsszenarien ist ein doppelseitiger Steckbrief entstanden. Die vollständige Liste der Anwendungsszenarien findet sich im Anhang A3.1.7.

Jedem Anwendungsszenario ist ein Reifegradprofil zugeordnet. Die Referenz der Anwendungsszenarios auf die Reifegradprofile ist in der letzten Spalte in Tabelle 4-2 angegeben. Sofern eine Organisation ein Anwendungsszenario als erstrebenswert erachtet, kann mit Hilfe des Reifegradprofils der Soll-Reifegradzustand bestimmt werden.

Tabelle 4-2: Die ersten fünf der identifizierten Anwendungsszenarien

| # | Anwendungsszenario | Kurze Beschreibung | Reife-grad-profil |
|---|---|--|-------------------|
| 1 | Identifikation von Prozessmodellen innerhalb von Subprozessen | Identifizierung typischer Teilprozessabläufe (z. B. innerhalb von Stage-Gate-Prozessen) | 1 |
| 2 | Typical-Practice-Identifikation in Prozessen | Ermittlung ähnlicher Prozessaufträge innerhalb verschiedener Projekte | 1 |
| 3 | Einhaltung des Vier-Augen Prinzips | Ermittlung der Häufigkeit, in der der Fortschritt des Prozesses von einer einzelnen Person genehmigt wurde | 2 |
| 4 | Allgemeine Prozess Performance analysieren | Analyse von Engpässen, Varianten und Durchlaufzeiten | 3 |
| 5 | Frühwarnsystem bei kritischen Punkten (Prozessverzögerung) | Vorhersage der nächsten Prozessschritte | 5 |

4.5.4 Typische Handlungsmaßnahmen zur Steigerung der Reife

Die typischen Handlungsmaßnahmen zur Steigerung der Reife sind ein Katalog mit insgesamt 30 Maßnahmen, die reale Unternehmen unternommen haben, um ihre PM Initiativen auszubauen. Die Handlungsmaßnahmen sind im Journal *BISE* als [BBL+24] veröffentlicht. Sie wurden durch elf semi-strukturierte, qualitative Interviews nach MYERS UND NEWMANN [MN07] hergeleitet. Da solche exemplarischen Maßnahmen auch von der gängigen Forschungsmethode zur Entwicklung von Reifegradmodellen gefordert werden,

wird über die Forschungsmethode im Detail im Zusammenhang mit dem Reifegradmodell im Anhang A3.2.2 berichtet.

Die identifizierten 30 Maßnahmen sind nach den fünf Handlungsfeldern des P3M strukturiert. In Tabelle 4-3 sind die Maßnahmen für das Handlungsfeld „Organisation“ zu sehen. Alle identifizierten Maßnahmen finden sich im Anhang A3.1.8.

Tabelle 4-3: Identifizierten Maßnahmen zur Steigerung der PM Reife im Handlungsfeld Organisation

| Handlungsfeld: Organisation | | |
|-----------------------------|--|---|
| # | Maßnahme | Erklärung |
| A-O1 | Bewusstsein schaffen mit Management-Workshops | Lassen Sie das Top-Management Erfahrungen mit PM machen, z. B. durch einen Workshop, in dem sie einen künstlichen Montageprozess analysieren. |
| A-O2 | Bewusstsein schaffen in Managementkreisen | Präsentation der Ergebnisse von Process-Mining-Projekten vor der Geschäftsleitung. |
| A-O3 | Initiative zentral verankern | Eine zentrale Initiative bündelt alle Process-Mining-Aktivitäten innerhalb einer Organisation. |
| A-O4 | Initiative dezentral verankern | Eine dezentrale Initiative, z. B. in der Unternehmenszentrale und mehrere zusätzliche Initiativen in Niederlassungen. |
| A-O5 | Kommunikationskampagne über Prozesse und Daten mit dem Menschen im Fokus durchführen | Hervorhebung der Bedeutung von Daten und Prozessen, z. B. durch Veröffentlichung von kurzen Videos über tägliche Routineabläufe im Intranet. |
| A-O6 | Frühzeitige Einbindung der IT | Frühzeitige Kommunikation mit der IT-Abteilung und Ermittlung der Vorteile für die IT-Abteilung. |
| A-O7 | Verbindung der Process-Mining-Initiative mit größeren Projekten zur digitalen Transformation | Nutzung größerer digitaler Transformationsinitiativen zur Validierung und Nutzung von PM in einer sicheren Umgebung. |

Jede Maßnahme hat eine **Abkürzung** (beginnend mit „A“ für die englische Übersetzung des deutschen Wortes Maßnahme, „action“), gefolgt von einem Kürzel für das Handlungsfeld, hier bspw. O und einer fortlaufenden Nummer. Anschließend folgen der **Name** und eine kurze **Erklärung**. Beispielsweise ist die erste Maßnahme zur Steigerung der Reife im Handlungsfeld Organisation „A-O1 Bewusstsein schaffen mit Management-Workshops“.

Da jede Organisation individuell ist, dienen die 30 identifizierten Maßnahmen lediglich als Orientierung und müssen vor der Verwendung kontextualisiert werden. Auch widersprechen sich manche Maßnahmen, bspw. A-O3 und A-O4, da eine Initiative nicht gleichzeitig zentral und dezentral verankert sein kann.

5 Demonstration und Evaluation

„I've found that if you like to do applied work [...] write something that practitioners might find useful, then you know you make their lives better [...].“ ~Tom Davenport [GJR+24, S. 4]

Der übergeordneten Forschungsmethode (vgl. Abschnitt 1.3) folgend, muss die Anwendung der erarbeiteten *Systematik zur Leistungssteigerung von Fertigungsprozessen durch PM* demonstriert und evaluiert werden.

In **Abschnitt 5.1** wird die Funktionsweise der Systematik daher anhand eines durchgängigen Anwendungsbeispiels dargestellt. In **Abschnitt 5.2** findet vor dem Hintergrund der Demonstrationen die Evaluation der entwickelten Systematik statt. **Abschnitt 5.3** diskutiert den Beitrag der vorliegenden Arbeit aus praktischer und theoretischer Perspektive.

5.1 Demonstration anhand eines durchgängigen Anwendungsbeispiels

Der übergeordneten Forschungsmethode (vgl. Abschnitt 1.3) folgend, muss die erarbeitete *Systematik zur Leistungssteigerung von Fertigungsprozessen durch PM* demonstriert werden. Die Demonstration der Systematik erfolgt am Beispiel eines Herstellers von Separatoren⁴⁴. Das Anwendungsspiel ist dabei Semi-Real⁴⁵. Das bedeutet, dass aus Gründen der Geheimhaltung Inhalte stark vereinfacht, verändert und unkenntlich gemacht wurden. Des Weiteren werden die Inhalte hier in der sachlogischen Reihenfolge präsentiert, wobei dies in der Realität nicht zwingenderweise der Fall gewesen sein muss. Der Separatorenhersteller hat einen klassischen Einzel- bzw. Kleinserienfertigung in einer Werkstattfertigung (vgl. Abschnitt 2.2.1), welcher in Bild 5-1 dargestellt ist.

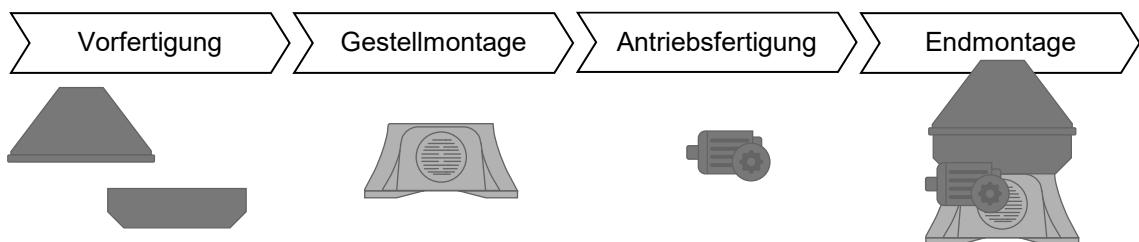


Bild 5-1: Vereinfachter Prozessablauf zur Herstellung eines Separators

In der **Vorfertigung** werden mechanische Bauteile gedreht und gefräst. Dies betreffen insbesondere die sogenannte Haube und die Trommel. Das **Gestell** wird für den

⁴⁴ Separatoren (vom lateinischen *separator* „Trenner“) sind Zentrifugen zur Trennung und Klärung von Gemischen aus Fest- und Flüssigstoffen [Sta04, S. 726].

⁴⁵ Lediglich der zweite Bestandteil der Systematik (vgl. Abschnitt 4.3) und das RVM (vgl. Abschnitt 4.4.3) wurden nicht bei dem Separatorenhersteller selbst angewendet, weil es sachlogisch in der Realität nicht notwendig war.

jeweiligen Auftrag individuell montiert. In einer automatisierten Fertigungsstraße wird der **Antrieb** entsprechend der Anforderungen des Auftrags hergestellt. In einer abschließenden **Endmontage** werden die verschiedenen Komponenten zusammengefügt. Die Werker melden über eine Betriebsdatenerfassung (BDE) den Fortschritt der Produktion zurück. Jeder Produktionsauftrag hat eine eindeutige Nummer. Die Organisation besitzt ein aktives Prozessmanagement, welches in Zusammenarbeit mit einem Tool-Anbieter sowie über Schulungen erste Erfahrung mit PM sammeln konnte.

Nachfolgend wird die Anwendung der Bestandteile zwei, drei und vier der Systematik (vgl. Abschnitt 4.1) nacheinander vorgestellt. Da der erste Bestandteil der Systematik eine Definition und Strukturierung des Begriffes PM Use Case ist, kann dieser nicht angewendet werden. In **Abschnitt 5.1.1** wird die Auswahl eines geeigneten PM Use Cases für die Separatorenfertigung beschrieben. Anschließend wird die Realisierung dieses Use Cases in **Abschnitt 5.1.2** vorgestellt. Abschließend berichtet **Abschnitt 5.1.3** über die reifegradbasierte Leistungssteigerung der PM Initiative des Separatorenherstellers.

5.1.1 Auswahl eines PM Use Cases für die Separatorenfertigung

Zu Beginn des Anwendungsbeispiels (vgl. Abschnitt 5.1) muss ein geeigneter PM Use Case in dem Fertigungsprozess in Form einer Frage ausgewählt werden. Dazu müssen zunächst mögliche Fragen an den Fertigungsprozess identifiziert und anschließend bewertet und ausgewählt werden (vgl. Abschnitt 4.3).

Phase 1: Fragengenerierung

Als erstes wird ein Workshop zur Identifikation von PM Use Cases in Form von Fragen durchgeführt (vgl. Abschnitt 4.3.2). An dem Workshop haben ein Lean Manager, ein Prozessmanager, der Head of BPM und ein PM Experte teilgenommen. Der halbtägige Workshop fand virtuell statt. Eine vereinfachte Darstellung des Ergebnisses des Workshops ist in Bild 5-2 dargestellt.

Im Workshop wird klar, dass neben der Separatorenfertigung auch der Schaltschrankbau und die Anlagenfertigung potenziell interessante **Geschäftsprozesse** sind. Die Separatorenfertigung wird in seine **Hauptprozesse** weiter runtergebrochen. Es zeigt sich, dass aus **strategischer Sicht** die Herstellung von Sonderanfertigung gewünscht wird. Sonderanfertigungen sind die Produkte, die unter Beteiligung der Konstruktion entworfen und gefertigt werden. Durch den Vergleich der Hauptprozesse und der strategischen Initiativen kann das **prozessbezogene Problem** identifiziert werden, dass die Sonderanfertigung einen anderen Ablauf in der Vorfertigung besitzt. Mithilfe des Handouts mit beispielhaften Fragen in Fertigungsprozessen (vgl. Abschnitt 4.3.2) werden abschließend verschiedene **Fragen** über den Prozess formuliert, zum Beispiel ob die Sonderanfertigungen länger benötigen.

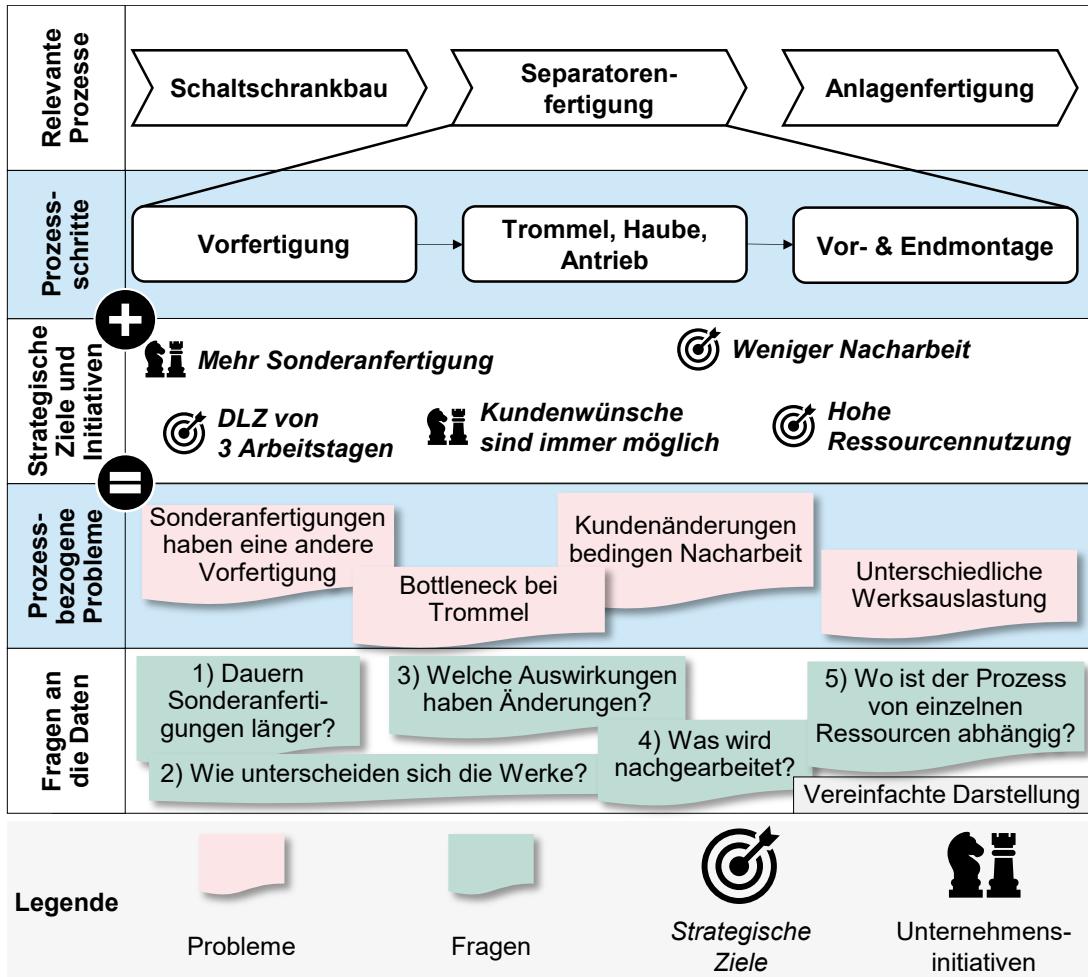


Bild 5-2: Ergebnis des Workshops zur Identifikation von geeigneten Use Cases in der Separatorenfertigung

Phase 2 und 3: Fragenbewertung und -auswahl

Die generierten Fragen werden anschließend bewertet und der attraktivste Use Case ausgewählt. Die Bewertung erfolgt auf Basis des Ansatzes zur Bewertung von PM Use Cases nach ROTT UND BÖHM [RB22] (vgl. Abschnitt 3.2.4). In Tabelle 5-1 ist die Bewertung dargestellt. In der oberen Hälfte der Tabelle 5-1 sind die Fragen hinsichtlich des Nutzens für das Unternehmen bewertet. Es werden auf einer Likert-Skala ein bis drei Punkte vergeben. Mehr Punkte bedeuten einen größeren Nutzen in den einzelnen Bewertungskriterien. In der unteren Hälfte wird die Erfolgswahrscheinlichkeit für das Unternehmen nach demselben Schema bewertet. Hierbei bedeutet eine hohe Bewertung, dass das Bewertungskriterium zu der Erfolgswahrscheinlichkeit beiträgt. Für die erste Frage („Dauern Sonderaufträge länger?“) beträgt die Summe des Nutzens und der Erfolgswahrscheinlichkeit 8 Punkte.

Tabelle 5-1: Bewertung der identifizierten Fragen mittels einer Likert-Skala von eins bis drei Punkten in Anlehnung an [RB22]

| Bewertungskriterium | Fragen | | | | |
|--|----------------------------------|--------------------------------------|--|-----------------------------|--|
| | 1) Dauern Sonderaufträge länger? | 2) Wie unterscheiden sich die Werke? | 3) Welche Auswirkungen haben Änderungen? | 4) Was wird nachgearbeitet? | 5) Wo ist der Prozess von einzelnen Ressourcen abhängig? |
| Bedeutung für das Unternehmen | 3 | 3 | 3 | 1 | 1 |
| Einfachheit | 3 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| Potential | 2 | 3 | 3 | 1 | 2 |
| Summe des Nutzens | 8 | 7 | 7 | 4 | 5 |
| Fähigkeiten | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 |
| Datenumfang | 3 | 1 | 2 | 3 | 2 |
| Unterstützung der Organisation | 3 | 1 | 3 | 2 | 1 |
| Summe der Erfolgswahrscheinlichkeit | 8 | 4 | 7 | 8 | 5 |

Eine Gegenüberstellung der Bewertungen des Nutzens und der Erfolgswahrscheinlichkeit in Bild 5-3 zeigt, dass die Untersuchung der Frage „Dauern Sonderaufträge länger?“ am attraktivsten für den Separatorenhersteller ist und als Use Case weiter verfolgt wird.

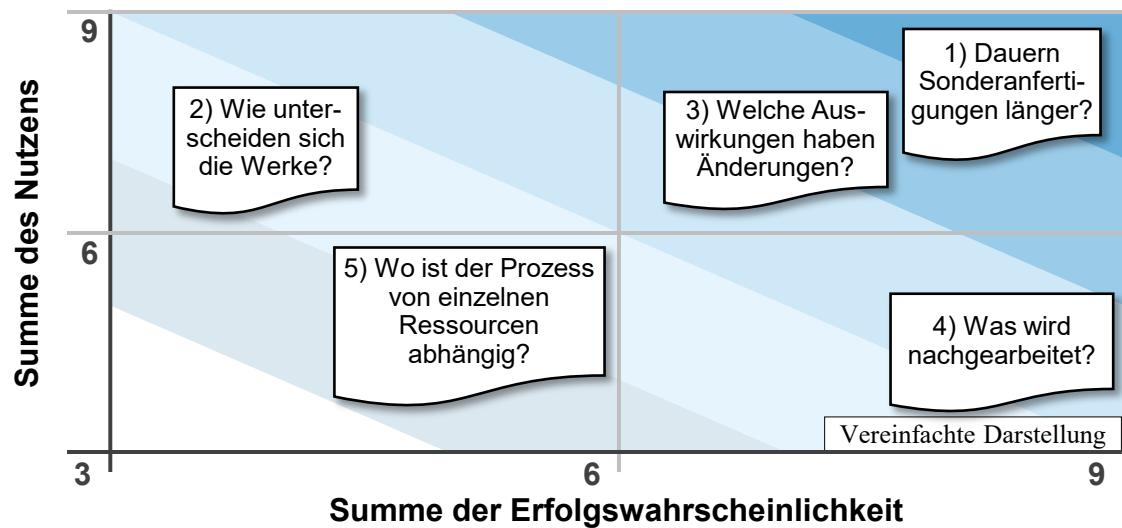


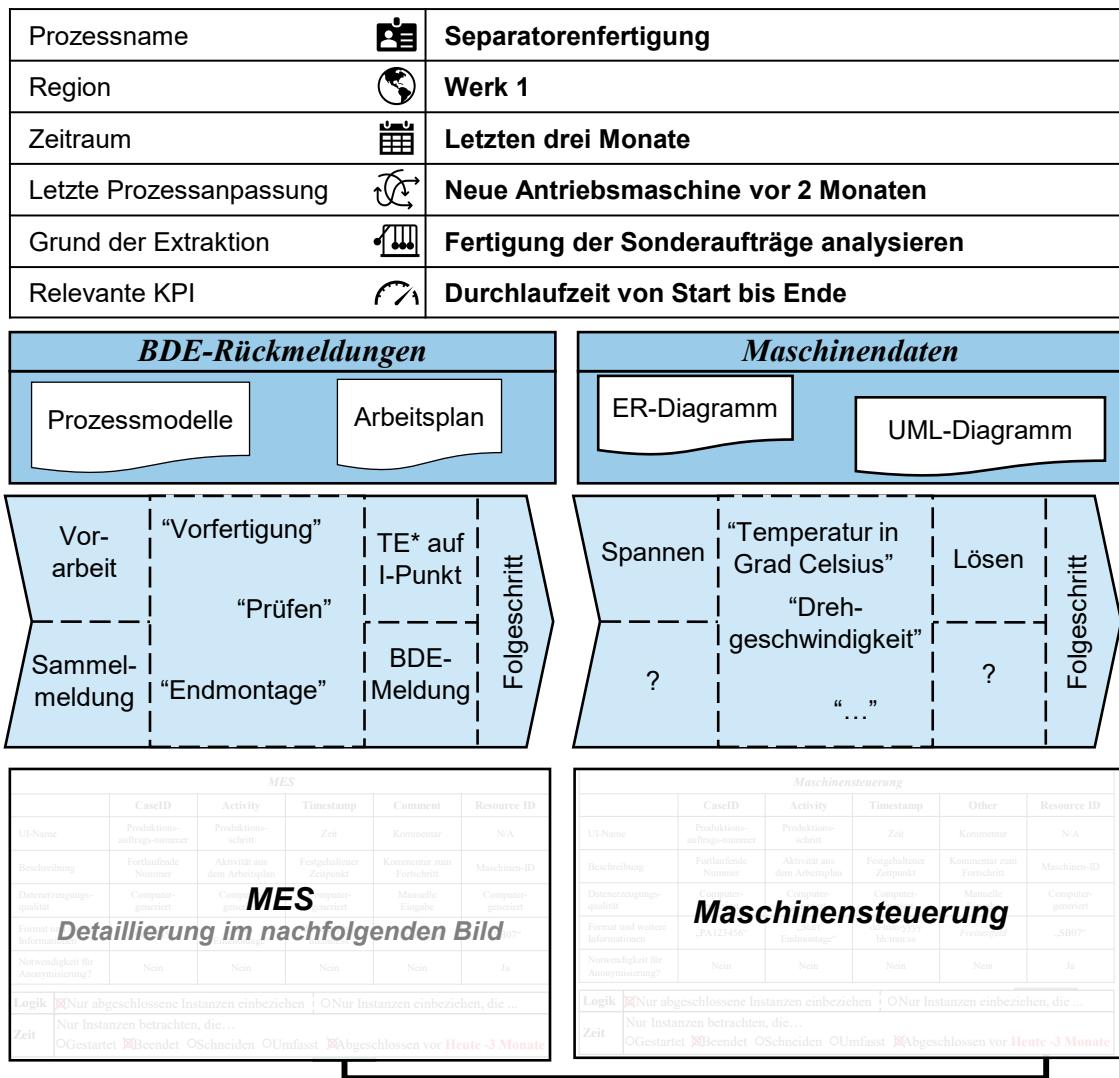
Bild 5-3: Platzierung der bewerteten Fragen in Anlehnung an [GDE+19, S. 198]

5.1.2 Durchführung eines PM Use Cases

Im Anschluss an die Auswahl eines geeigneten PM Use Cases wird dieser im Anwendungsbeispiel (vgl. Abschnitt 5.1) umgesetzt. Dem etablierten Vorgehensmodell für PM Projekte PM² folgend, müssen dazu zunächst relevantes Prozess- und Datenwissen identifiziert werden (vgl. Abschnitt 4.4).

Identifikation von Prozess- und Datenwissen

Zur Identifikation des Prozess- und Datenwissens wird ein Workshop auf Basis der PM Data Canvas durchgeführt (vgl. Abschnitt 4.4.2). An dem Workshop sind der Lean Manager, der Prozessmanager und der PM Experte beteiligt. Die von oben nach unten ausfüllte PMDC ist in Bild 5-4 dargestellt. Nachfolgend werden die wesentlichen Erkenntnisse der Canvas für das PM Projekt erläutert.



MES

Detaillierung im nachfolgenden Bild

| UI-Name | CaseID | Activity | Timestamp | Comment | Resource ID |
|-----------------------------------|-----------------------------|---------------------|--------------------------|---------------------------|--------------|
| Beschreibung | Produktions-auftrags-nummer | Produktions-schritt | Zeit | Kommentar | N/A |
| Datenerzeugungs-qualität | Computer-generiert | Computer-generiert | Festgehaltener Zeitpunkt | Kommentar zum Fortschritt | Maschinen-ID |
| Format und weitere Informationen | MES | | | | |
| Notwendigkeit für Anonymisierung? | Nein | Nein | Nein | Nein | Ja |

Logik: Nur abgeschlossene Instanzen einbeziehen | Nur Instanzen einbeziehen, die ...
 Zeit: Nur Instanzen betrachten, die...
 Gestartet Beendet Schneiden Umfasst Abgeschlossen vor Heute -3 Monate

Maschineneinstellung

Maschineneinstellung

| UI-Name | CaseID | Activity | Timestamp | Other | Resource ID |
|-----------------------------------|-----------------------------|---------------------|--------------------------|---------------------------|--------------|
| Beschreibung | Produktions-auftrags-nummer | Produktions-schritt | Zeit | Kommentar | N/A |
| Datenerzeugungs-qualität | Computer-generiert | Computer-generiert | Festgehaltener Zeitpunkt | Kommentar zum Fortschritt | Maschinen-ID |
| Format und weitere Informationen | Maschineneinstellung | | | | |
| Notwendigkeit für Anonymisierung? | Nein | Nein | Nein | Nein | Ja |

Logik: Nur abgeschlossene Instanzen einbeziehen | Nur Instanzen einbeziehen, die ...
 Zeit: Nur Instanzen betrachten, die...
 Gestartet Beendet Schneiden Umfasst Abgeschlossen vor Heute -3 Monate

*Transporteinheit

Über Produktions-ID verbinden

Bild 5-4: Ausgefüllte PMDC für das PM Projekt bei dem Separatorenhersteller

Durch das Ausfüllen der PMDC werden systematisch für das Projekt relevante Informationen erarbeitet. Im ersten, oberen Abschnitt der PMDC zu **allgemeinen Informationen** wird festgestellt, dass vor zwei Monaten eine neue Maschine für die Antriebsfertigung eingeführt wurde. Somit werden sich der Prozessverlauf und die erzeugten Daten in den letzten zwei Monaten verändert haben, was in der nachfolgenden Mining- & Analysephase beachtet werden sollte.

Im mittleren Teil der PMDC werden **Informationen zu Prozess- und Dateninformationen** gesammelt. Es zeigt sich, dass es zwei Datenarten in der Fertigung gibt: Die BDE-Rückmeldungen und die Maschinendaten in der Antriebsfertigung. Diese liegen in unterschiedlichen IT-Systemen: dem MES und der Maschinensteuerung. Hinsichtlich der Fallstricke wird für die BDE-Rückmeldungen identifiziert, dass die realen Prozessabläufe von den digitalen Meldungen abweichen. Der physische Prozessstart ist das Vorarbeiten der anstehenden Produktionsaufträge, bspw. durch Einfetten von Gewinden. Hingegen ist der digitale Prozessstart das gesammelte Anmelden der anstehenden Produktionsaufträge. Dies verfälscht den Start-Zeitstempel und muss in der Vorverarbeitung der Daten beachtet werden. Für beide Datenquellen wird auf Basis der Nutzerschnittstelle dokumentiert, welche Informationen für einen Event Log benötigt werden. Diese Dokumentation ist in Bild 5-5 für das MES dargestellt. Neben den Bezeichnungen werden auch beispielhafte Werteausprägung festgehalten. Dies erleichtert die anschließende Vorverarbeitung, da bspw. das Format des Datums nicht ermittelt werden muss. Es wird ferner festgestellt, dass es eine Möglichkeit für Ausschussmeldungen gibt. Der Werker muss hierfür aus einem Auswahl-Menü die entsprechenden Gründe auswählen. Dies ist ein weiterer potenzieller Fallstrick, da die Meldequalität geprüft werden sollte.

| MES | | | | | |
|-----------------------------------|---|-------------------------------|---|---------------------------|--------------------|
| | CaseID | Activity | Timestamp | Comment | Resource ID |
| UI-Name | Produktions-auftragsnummer | Produktions-schritt | Zeit | Kommentar | N/A |
| Beschreibung | Fortlaufende Nummer | Aktivität aus dem Arbeitsplan | Festgehaltener Zeitpunkt | Kommentar zum Fortschritt | Maschinen-ID |
| Datenerzeugungs-qualität | Computer-generiert | Computer-generiert | Computer-generiert | Manuelle Eingabe | Computer-generiert |
| Format und weitere Informationen | „PA123456“ | „Start Endmontage“ | dd-mm-yyyy hh:mm:ss | Freitextfeld | „SB07“ |
| Notwendigkeit für Anonymisierung? | Nein | Nein | Nein | Nein | Ja |
| Logik | <input checked="" type="checkbox"/> Nur abgeschlossene Instanzen einbeziehen! | | O Nur Instanzen einbeziehen, die ... | | |
| Zeit | O Nur Instanzen betrachten, die... | | <input type="checkbox"/> Letzten drei <input type="checkbox"/> Gestartet <input checked="" type="checkbox"/> Beendet <input type="checkbox"/> Schneiden <input type="checkbox"/> Umfasst <input checked="" type="checkbox"/> Abgeschlossen vor Monate bis heute | | |

Bild 5-5: Detaillierung der Prozess- und Dateninformationen für das MES

Schlussendlich wird dokumentiert, dass die Produktionsauftrags-ID in der Maschinensteuerung und dem MES vorhanden ist. Diese **Informationen zur Aggregation der Prozess- und Dateninformationen** werden am Ende der Canvas in Bild 5-4 festgehalten.

Die Informationen aus dem Workshop werden für den IT Experten aufbereitet. Auf Basis der Bezeichnungen der Daten auf Nutzerschnittstellenebene werden die Anforderungen an den zu erstellenden Datensatz definiert und an den IT Experten übergeben. Anschließend werden die Daten extrahiert und die Datenvorverarbeitung durchgeführt.

Vorverarbeitung der Maschinendaten

Auf Basis der PMDC werden die Daten anschließend von dem IT Experten extrahiert und durch den PM Experten vorverarbeitet. Die Vorverarbeitung der MES Daten ist eine Routineaufgabe für den PM Experten. Hingegen stellen die feingranularen Maschinendaten eine besondere Herausforderung dar. Daher wendet der PM Experte in Zusammenarbeit mit dem Lean Manager das RVM (vgl. Abschnitt 4.4.3) an.

Im Zuge der **ersten Phase** des RVMs wird definiert, dass der angestrebte Event Log das klassische Event Log Format (vgl. Abschnitt 2.4.2) haben muss. Wie in der PMDC identifiziert, soll die Produktionsauftragsnummer die Case ID bilden. Um die feine Granularität der Maschinendaten an die der MES Daten anzugeleichen, muss identifiziert werden, wann ein Werkstück in den Sicherheitsbereich der automatischen Antriebsfertigung ein- und ausgefahren ist.

Daraus lässt sich für die **zweite Phase** ableiten, dass die Perspektive für den Prozess die Bearbeitung des Produktes (der sogenannte Kontrollfluss, vgl. Abschnitt 2.3.1) sein muss. Die Anlage verfügt über mehrere Sensorinformationen, die in Bild 5-6 dargestellt sind und deren Verwendung nachfolgend erläutert wird.

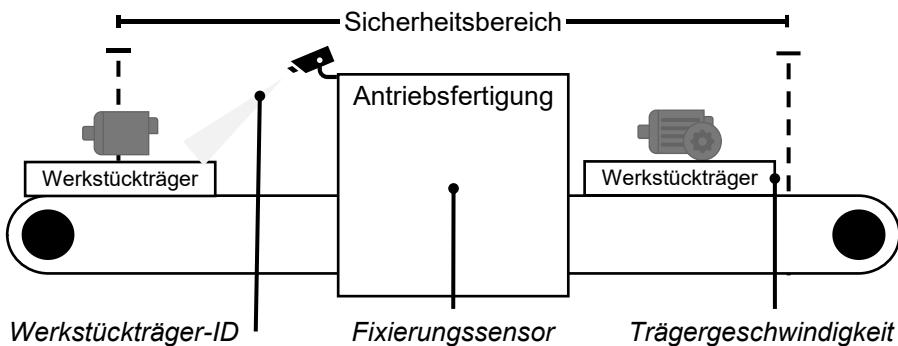


Bild 5-6: Ablauf der Antriebsfertigung und existierende Sensordaten

Die Antriebe werden mithilfe von Werkstückträgern über ein Fließband befördert. Am Eingang des Sicherheitsbereichs wird die Werkstückträger-ID ausgelesen und über eine Schnittstelle zum MES wird die Antriebsfertigung kalibriert. Innerhalb der Antriebsfertigung wird die Fixierung des Werkstücks überwacht. Ein weiterer Sensor nimmt die Bewegungsgeschwindigkeit des Werkstückträgers auf. Über die diesen Messwert und die

Fixierung kann somit genau berechnet werden, wie lange ein Werkstück bearbeitet wurde. Die drei Sensordaten werden in einem zentralen Datensatz zusammengeführt und dienen als Ausgangspunkt für die Aktivitäten.

In der **dritten Phase** des RVMs werden diese einzelnen Sensoraktivitäten gruppiert. Dafür wird der in Bild 5-7 oben dargestellte Datensatz erzeugt. Dieser zeigt bspw. in der Spalte „label“ die drei berechneten Aktivitäten aus Phase Zwei. In Schritt 3.1 wird zunächst definiert, wann ein Label wechselt und darauf basierend eine eindeutige ID für die Aktivität (engl. task) vergeben. Der in der oberen Hälfte dargestellte Datensatz in Bild 5-7 kann folgendermaßen interpretiert werden: In der ersten Zeile wird um 10:56 Uhr die ID 101 vom Werkstückträger ausgelesen. Dies ist eine neue Aktivität, weswegen die Spalte „is_new“ auf Wahr gesetzt wird. Zwischen 10:57 und 11:00 Uhr wird alle 30 Sekunden gemeldet, dass das Werkstück fixiert ist. Da sich das Label nicht ändert, ist die Task ID gleich. Anschließend können in Schritt 3.2 die Sensorwerte basierend auf der Task ID zusammengefasst werden. In Schritt 3.3 können Sonderaktivitäten, bspw. die Fixierung, als solche markiert werden. Dies dient der späteren Vererbung von Case IDs in Phase Fünf.

| Ausgangsdatensatz nach Schritt (3.1) | | | | | |
|--------------------------------------|------------|-------|-------|--------|---------|
| timestamp (ts) | belt_speed | order | label | is_new | task_id |
| 24-09-13 10:56 | | 101 | tag | True | T1 |
| 24-09-13 10:57:03 | 0 | - | fix | True | R1 |
| ... | ... | - | ... | ... | ... |
| 24-09-13 11:00 | 0 | - | fix | False | R1 |
| 24-09-13 11:01 | 9 | | drive | True | D1 |

3.2 Aggregation nach eindeutiger ID (hier: R1)
3.3 Definition von Sonderaktivitäten

| Zieldatensatz mit der Darstellung der notwendigen Aktivitäten | | | | | | |
|---|----------------|---------|----------|--------|----------|-------|
| start_ts | end_ts | Case ID | activity | bs_avg | is_final | is_cs |
| 24-09-13 10:56 | 24-09-13 10:56 | 101 | tag | - | False | True |
| 24-09-13 10:57 | 24-09-13 11:00 | - | fix | 0 | true | True |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |

Bild 5-7: Erstellung eines Event Logs bei der Separatoren GmbH mithilfe des RVMs

Die **vierte Phase** des RVMs findet keine Anwendung, da die Case ID in der Maschinensteuerung existiert.

Jedoch muss in der **fünften Phase** eine Vererbung der Case ID stattfinden. Wie in Bild 5-7 zu erkennen ist, verfügen zu Beginn von Phase Fünf nur die Aktivitäten mit dem Namen „tag“ über eine Case ID. Da es sich um eine lineare Fertigungsstraße handelt,

kann algorithmisch die ID an die nachfolgenden Aktivitäten mit dem Namen „fix“ und „drive“ vererbt werden.

In der **sechsten Phase** wird der finale Event Log um die Aktivitäten „tag“ und „drive“ bereinigt, da nur die Bearbeitungsschritte benötigt werden.

Durch die Aufbereitung der Maschinendaten liegt abschließend ein Event Log vor, welcher in der Mining- & Analysephase genutzt werden kann.

Auswahl einer geeigneten Analysevorlage

Im Anschluss an die Datenvorverarbeitung wird der Event Log untersucht, um die Analysefrage „*Dauern Sonderaufträge länger?*“ zu beantworten. Dafür nutzt der PM Experte den **Katalog mit Analysevorlagen**. Bei den zeitflussorientierten Analysevorlagen wird die Analysevorlagennummer 14 „Fälle mit den längsten Wartezeiten“ als hilfreich erachtet. Die Analysevorlage dient dazu, Gründe für eine erhöhte Bearbeitungsdauer gezielt zu identifizieren. Dazu stellt der PM Experte das PM Tool entsprechend der Vorgabe aus der Analysevorlage ein. Anschließend werden die zehn Durchläufe mit den längsten Durchlaufzeiten identifiziert und gezielt auf Auffälligkeiten wie Wiederholungen untersucht.

Bei der Betrachtung der **PM Analyseergebnisse** fällt auf, dass Sonderanfertigungen sieben der zehn längsten Durchläufe ausmachen. In Bild 5-8 ist deutlich zu erkennen, dass insbesondere die Nacharbeit nach der Endmontage eine Verzögerung verursacht. In einem DFG wird dies durch die Dicke der Kanten abgebildet, wobei dickere Kanten längere Wartezeiten bedeuten. Der Vergleich zeigt, dass bei den Fällen mit den längsten Durchlaufzeiten höhere Wartezeiten zwischen der Fertigstellung der Endmontage und dem Beginn der Nacharbeit existieren. Auch dauert die Aktivität „Sonstige Nacharbeit“ durchschnittlich mehr als doppelt so lange (1,92 vs. 4,97 Stunden). In der Analysevorlage wird die Re-Design Option „Befähigung von Mitarbeitenden eigenständig Entscheidungen zu treffen“ vorgeschlagen. Der PM Experte reichert die Erkenntnisse der PM Analyse mit einer detaillierten Auswertung der Mittelwerte, Mediane und Quartile der Warte- und Bearbeitungszeit an.

Der PM Experte stellt die **Ergebnisse** in zielgruppengerechter Form dem Projektteam, dem Head of PM und der Werksleitung vor. Die Stakeholder entschließen sich zu zwei Maßnahmen. Erstens soll der Re-Design-Empfehlung gefolgt werden. Die Stakeholder entschließen sich daher, die Sonderanfertigungen direkt nach der Produktion durch die Produktionsmitarbeiter prüfen zu lassen, um unnötige Schleifen nach der Endmontage zu vermeiden. Zweitens soll die durch das PM gewonnene Transparenz über die Prozesse ausgebaut werden. Dafür wird eine gezieltere Untersuchung der manuellen Eingriffe in die automatische Antriebsfertigung beschlossen, um Fehler in den automatisierten Prozessen besser im Prozesskontext verstehen zu können.

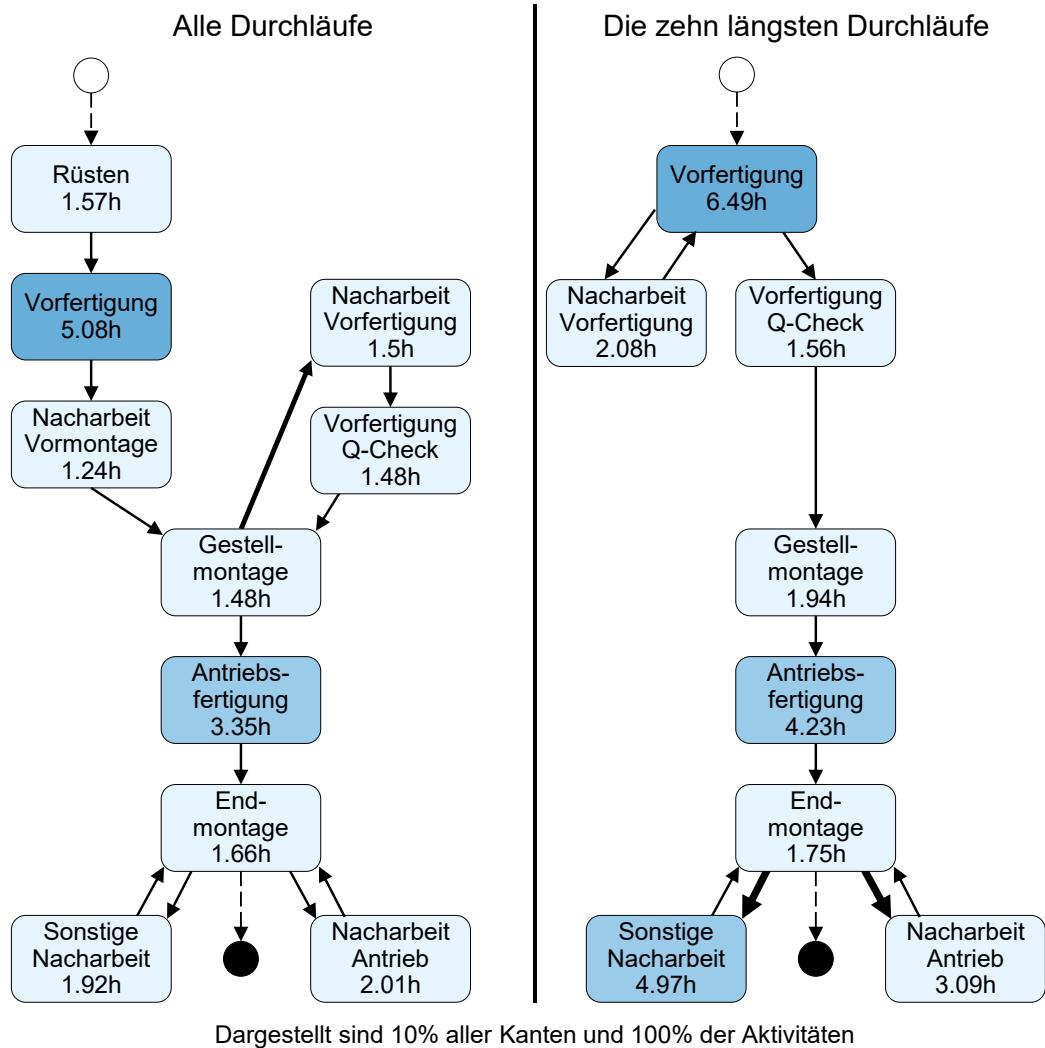


Bild 5-8: Vergleich mittels DFG aller Durchläufe mit den zehn längsten Durchläufen

5.1.3 Leistungsbewertung und -steigerung der PM Initiative des Separatorenherstellers

Auf Basis des in der Fertigung durchgeführte PM Projekts wird eine reifegradbasierte Leistungsbewertung und -steigerung durchgeführt (vgl. Abschnitt 5.1). Das Ziel ist, Handlungsfelder und -maßnahmen zu identifizieren, um zukünftige PM Projekte effizienter ablaufen zu lassen und die PM Initiative im Allgemeinen weiter zu stärken. Die Erfahrungswerte aus dem ersten realisierten PM Use Case in der Fertigung ermöglichen eine praxisnahe Reflektion. Die Leistungssteigerung folgt dem vorgestellten Vorgehen auf Basis von CHRISTIANSEN (vgl. Abschnitt 4.5).

Zustandserfassung

Zu Beginn füllt der Head of PM den PM Quick Check aus (vgl. Abschnitt A3.1.4). Die PM Initiative wird als High Potential eingestuft, da sie bereits einen Use Case realisiert habe und im Allgemeinen eine gute IT-Systemlandschaft haben. Als

Handlungsempfehlung wird das Ausfüllen des vollständigen P3M empfohlen. Zusätzlich sind in jeder automatisierten Auswertung weiterführende Links zu Informationen und Tools sowie auf gängige Literatur enthalten. Der Head of PM bekommt einen ersten Überblick über die relevanten Aspekte der Reifegradbewertung. Im Anschluss an die initiale Zustandserfassung wird ein Workshop zur Ist-Reifegradbewertung durchgeführt.

Leistungsbewertung

Mithilfe der initialen Zustandserfassung wird auf Basis des P3M eine Leistungsbewertung durchgeführt (vgl. Abschnitt 4.5.2). An dem Workshop sind der Head of PM, der PM Experte und der Prozessmanager beteiligt. Der PM Experte kennt das P3M gut, weshalb er als Moderator für den Workshop auftritt. Das Resultat der Bewertung ist in Bild 5-9 dargestellt.

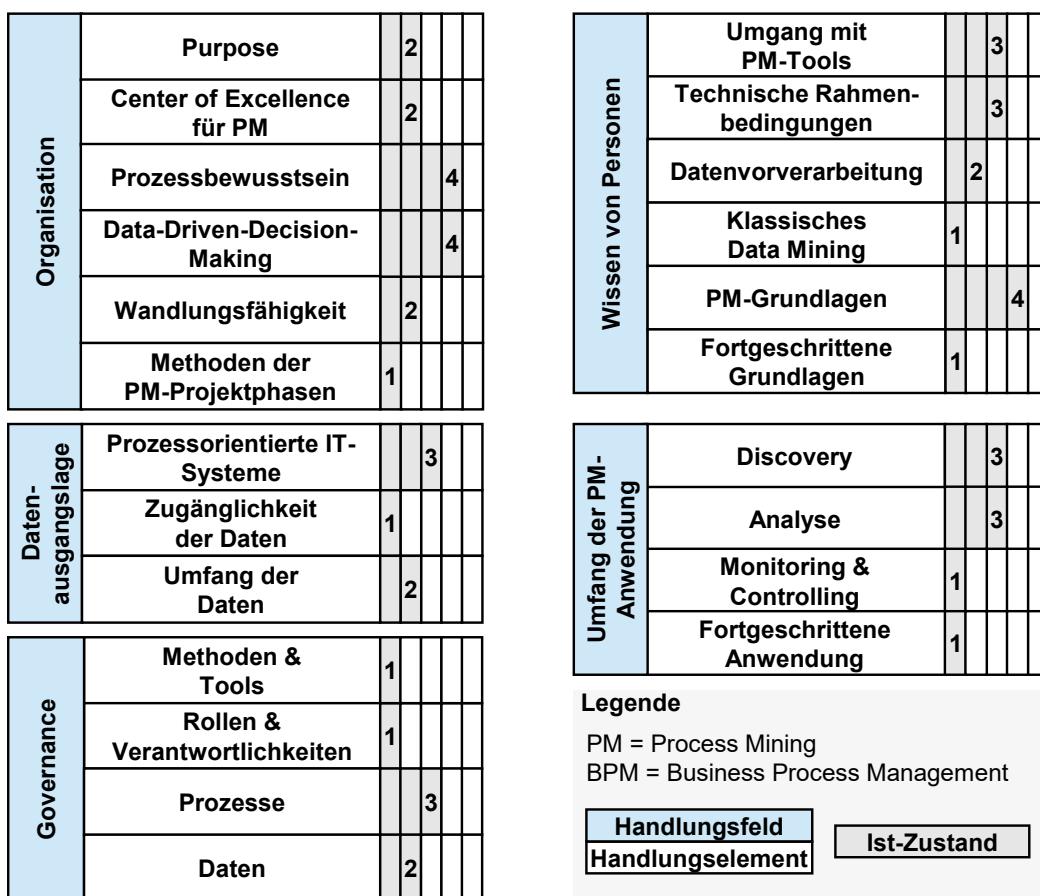


Bild 5-9: Leistungsbewertung mithilfe des P3M für den Separatorenhersteller

Im Handlungsfeld der **Organisation** zeigt sich, dass durch die jahrelangen Prozessmanagementaktivitäten ein starkes Prozessbewusstsein bei den Mitarbeitenden ausgeprägt ist. Jedoch findet die Arbeit der PM Initiative noch immer primär auf Projektbasis statt und die Zuweisung von Ressourcen zu den PM Projekten erfolgt unsystematisch nach freier Kapazität. Die PM Initiative ist durch die Hilfsmittel des dritten Bestandteils (vgl. Abschnitt 4.4) erstmalig mit Methoden für PM Projektphasen in Berührung gekommen.

Im Rahmen der **Datenausgangslage** hat das durchgeführte Projekt in der Fertigung gezeigt, dass die homogene IT-Systemlandschaft, bestehend aus MES und Maschinendaten, zu einem hohen Zeitaufwand bei der Datenextraktion führt. Kontextinformationen zu den Daten müssen manuell erfasst werden.

Das **Wissen von Personen** ist praxiserprobт in unterschiedlichen Bereichen des Unternehmens. Das Wissen fokussiert sich jedoch auf die Haupttechniken des PMs und komplexere Datenaufbereitungen, die bspw. für das RVM (vgl. Abschnitt 5.1.2) erforderlich sind, sind nur sehr zeitaufwändig eigenständig lösbar.

Der **Umfang der PM Anwendung** fokussiert sich auf die Discovery und die Analyse. Durch das Projekt in der Fertigung hat sich die Anwendung zwar auf mehr Prozesse ausgeweitet, jedoch wird PM noch immer nicht für alle Prozesse der Organisation genutzt. Ein Monitoring oder fortgeschrittene Anwendungen kommen nicht zum Einsatz.

Die Bewertung des **Governance** kann im Zusammenhang mit der ad-hoc Durchführung von Projekten gesehen werden. Es existieren noch keine Strukturen und Richtlinien für die Verwendung und Einführung von neuen PM Tools. Im Gegensatz zu den gut etablierten Rollen im Prozessmanagement existieren auch noch keine festen Rollen in PM Projekten. Während die Zuständigkeit für die Prozesse klar definiert ist, herrscht noch Unklarheit über die Zuständigkeit und Verantwortung bei der Verwendung der Prozessdaten.

Zusammenfassend lässt sich für die Leistungsbewertung festhalten, dass der Separatorenhersteller durch seine jahrelangen Prozessmanagementaktivitäten in den klassischen Bereichen über eine gute Ausgangslage verfügt. Jedoch zeigen sich bei den neuen Themen des PMs, insbesondere hinsichtlich der Datenausgangslage und der organisationalen Verankerung noch vergleichsweise niedrige Bewertungen.

Definition des Soll-Zustands und Soll / Ist Vergleich

Nach der Ist-Leistungsbewertung erfolgt das Finden eines idealen Soll-Zustands. Der Separatorenhersteller zieht neben der Abteilungsstrategie des Prozessmanagements auch die Steckbriefe mit typischen Anwendungsszenarien (vgl. Abschnitt 4.5.3) heran.

Aus der Abteilungsstrategie kristallisiert sich das Ziel heraus, die PM Initiative fester zu etablieren, um kontinuierlich und routinierter PM anwenden zu können. Zur Präzisierung dieser zukünftigen Anwendung werden die 18 typischen Anwendungsszenarien diskutiert. Auf Basis der Diskussion zwischen den verschiedenen Stakeholdern nach der erfolgreichen Realisierung des ersten PM Use Cases in der Fertigung (vgl. Abschnitt 5.1.2) wurde die Analyse von manuellen Eingriffen in die Fertigung als relevanter, zukünftiger Use Case festgehalten. Dies entspricht dem Anwendungsszenario 10 „*Interne Touchpoints identifizieren*“. Das zugehörige Reifegradprofil 1 wird als Soll-Zustand übernommen. Eine Diskussion der Handlungselemente vor dem Hintergrund der Abteilungsstrategie und des zukünftigen Anwendungsszenarios rundet die Soll-Zustandsbewertung ab. Der definierte Soll-Zustand ist in Bild 5-10 dargestellt.

| | | | | | | | | | | | |
|--|-------------------------------|---|---|---|--|--|-------------------------|-----------------------------------|---|---|--|
| Organisation | Purpose | 2 | 3 | | | | Wissen von Personen | Umgang mit PM-Tools | 3 | | |
| | Center of Excellence für PM | 2 | 3 | | | | | Technische Rahmenbedingungen | 3 | | |
| | Prozessbewusstsein | | | 4 | | | | Datenvorverarbeitung | 2 | 3 | |
| | Data-Driven-Decision-Making | | | 4 | | | | Klassisches Data Mining | 1 | 3 | |
| | Wandlungsfähigkeit | 2 | | | | | | PM-Grundlagen | | 4 | |
| | Methoden der PM-Projektphasen | 1 | 3 | | | | | Fortgeschrittene Grundlagen | 1 | | |
| Daten-ausgangslage | Prozessorientierte IT-Systeme | | 3 | | | | Umfang der PM-Anwendung | Discovery | 3 | | |
| | Zugänglichkeit der Daten | 1 | 2 | | | | | Analyse | 3 | | |
| | Umfang der Daten | 2 | | | | | | Monitoring & Controlling | 1 | | |
| Governance | Methoden & Tools | 1 | | | | | | Fortgeschrittene Anwendung | 1 | | |
| | Rollen & Verantwortlichkeiten | 1 | | | | | Legende | | | | |
| | Prozesse | | 3 | | | | | PM = Process Mining | | | |
| | Daten | 2 | 3 | | | | | BPM = Business Process Management | | | |
| Handlungsfeld Ist-Zustand Handlungselement Soll-Zustand Soll-Zustand aus Reifegradprofil | | | | | | | | | | | |

Bild 5-10: Festlegung des Soll-Zustands auf Basis der Abteilungsstrategie und des Reifegradprofils 1

Zunächst vergleicht der Separatorenhersteller das Reifegradprofil mit dem aktuellen Ist-Zustand. Da das Reifegradprofil einfache Anwendungsszenarien des PM Discoveries zusammenfasst, erfüllt die PM Initiative bereits viele Minimalanforderungen. Jedoch erfordert das Reifegradprofil bei den Handlungselementen der *Zugänglichkeit der Daten*, der *Datenmanipulation* und der *Data Governance* eine höhere Reifegradstufe als aktuell vorliegt. Diese Vorgabe kann als Soll-Zustand übernommen werden, wie in Bild 5-10 dargestellt. Auf Basis der Abteilungsstrategie werden weitere Soll-Zustände abgeleitet. Zum einen erkennt die PM Initiative, dass für den strategischen Erfolg der PM Initiative die Handlungselemente *Purpose* und *Center of Excellence* gestärkt werden müssen. Zum anderen hat das Pilotprojekt in der Fertigung (vgl. Abschnitt 5.1.2) gezeigt, dass operativ noch Nachholbedarf im Bereich der Handlungselemente *Methoden der PM Projektphasen* und des *klassischen Data Minings* besteht. Die Soll-Zustände werden dementsprechend angepasst.

Der Separatorenhersteller hat mithilfe der Anwendungsszenarien und der dahinterliegenden Reifegradprofile die Phase des Ist-/ Soll-Vergleichs erfolgreich abgeschlossen. Es zeigt sich, dass für die zukünftigen Anwendungsszenarien einige Lücken im technischen Bereich sowie für die Abteilungsstrategie insbesondere im organisatorischen Bereich zu

schließen sind. Zur Leistungssteigerung müssen Handlungsmaßnahmen identifiziert und geordnet werden, um die Lücke zwischen Ist- und Soll-Zustand zu schließen.

Leistungssteigerung und Roadmapping

Um die identifizierte Lücke zwischen Ist- und Soll-Zustand zu schließen, müssen Maßnahmen zur Leistungssteigerung abgeleitet werden. Die typischen Handlungsmaßnahmen zur Steigerung der Reife (vgl. Abschnitt 4.5.4) und die Ziel-Reifegradstufen dienen dem Separatorenhersteller dafür als Hilfestellung. Zusammengetragen und zeitlich sortiert entsteht die in Bild 5-11 dargestellte Roadmap der nächsten Schritte.

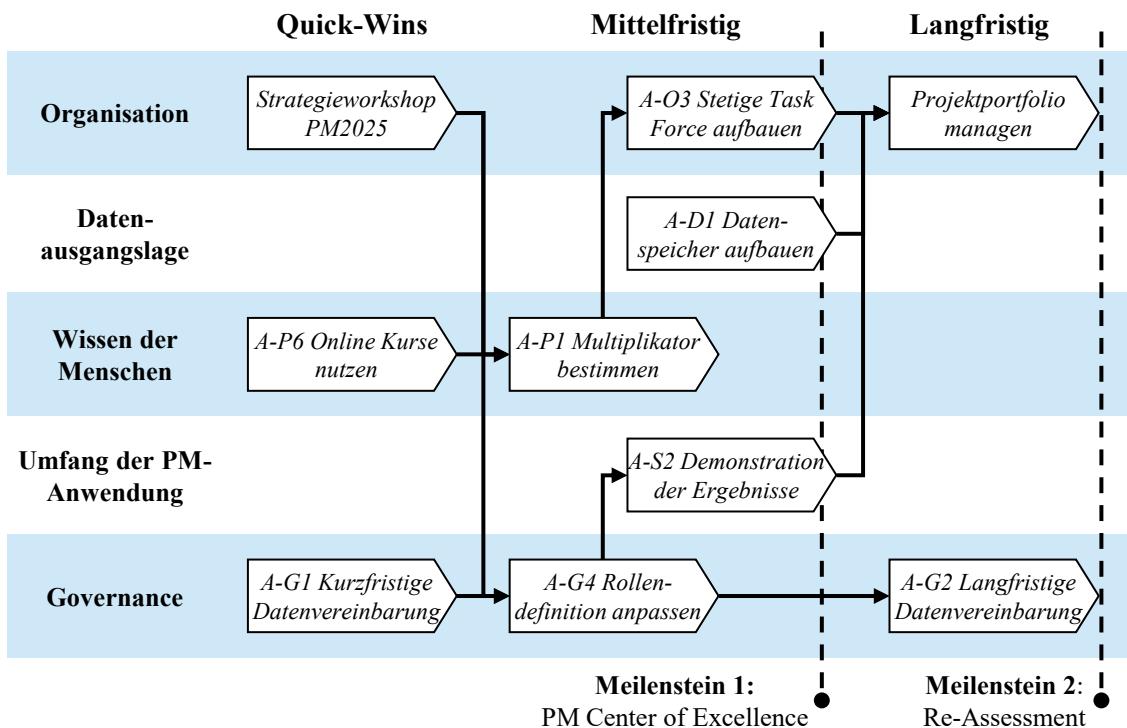


Bild 5-11: Roadmap zur Maßnahmenumsetzung

Zunächst identifiziert der Separatorenhersteller drei **Quick-Wins** für sich. Diese umfassen die beiden mit einem Kürzel gekennzeichneten Aktionen, die den typischen Handlungsmaßnahmen entnommen sind. Sie umfassen eine gezielte Wissenssteigerung der Mitarbeitenden durch Onlinekurse und den Abschluss einer kurzfristigen Datennutzungsvereinbarung. Zusätzlich plant die Prozessmanagementabteilung einen Strategieworkshop, um die Aufhängung der Initiative und die relevanten Rollen zu definieren.

Auf Basis dieses Workshops wird **mittelfristig** angestrebt, neue Rollen für PM Projekte zu definieren und einen internen Multiplikator aufzubauen. Die Aufgabe des Multiplikators ist das Sammeln von Wissen und die interne Schulung von neuen Mitarbeitenden in der PM Initiative. Auch ist durch das Pilotprojekt in der Fertigung klar geworden, dass die Zugänglichkeit der Daten erhöht werden muss. Daher muss ein zentraler Datenspeicher aufgebaut werden, welcher verschiedene Datenquellen integriert. Mittelfristiges

Hauptziel ist jedoch die PM Initiativen zentral zu verankern und ein dediziertes, interdisziplinäres PM Kompetenzzentrum zu bilden. Dies ist der **1. Meilenstein** in der Roadmap. Über das Demonstrieren von PM Ergebnissen in verschiedenen Steuerkreisen werden Fachabteilungen dazu angeregt, sich mit spannenden Fragestellungen an das neue PM Kompetenzzentrum zu wenden.

Dadurch werden **langfristig** Ideen an das aufzubauende PM Projekt Portfoliomanagement geliefert. Gestützt von einer langfristigen Datennutzungsvereinbarung ermöglicht dies den routinierten Einsatz von PM.

Die Roadmap mit den umzusetzenden Maßnahmen ist das wesentliche Ergebnis des vierten Bestandteils der *Systematik zur Leistungssteigerung von Fertigungsprozessen durch PM*. Nach erfolgreicher Realisierung der Maßnahmen kann im Rahmen des **2. Meilensteins** eine erneute Leistungsbewertung und -steigerung stattfinden, um die nächsten Ziele zu bestimmen, wofür der vierte Bestandteil der Systematik erneut durchlaufen wird.

Gesamtfazit der Demonstration: Durch Anwendung der *Systematik zur Leistungssteigerung von Fertigungsprozessen durch PM* konnte die PM Initiative des Separatorenherstellers erfolgreich einen relevanten PM Use Case identifizieren und umsetzen. Im Rahmen der Systematik sind Prozessanpassungen entstanden, die den Prozess optimieren werden. Mithilfe dieser neuen Erfahrungen hat die PM Initiative im Rahmen der Leistungsbewertung und -steigerung Maßnahmen abgeleitet werden, welche die Entwicklung der PM Initiative langfristig strukturieren. Es wurde somit demonstriert, dass die Systematik in der Praxis anwendbar ist. Da keine notwendigen Anpassungen im Rahmen der Demonstration identifiziert werden konnten, wird der übergeordneten Forschungsmethode (vgl. Abschnitt 1.3) folgend mit der Evaluation der Lösung fortgefahren.

5.2 Evaluation

Der übergeordneten Forschungsmethode (vgl. Abschnitt 1.3) folgend, muss die erarbeitete *Systematik zur Leistungssteigerung von Fertigungsprozessen durch PM* abschließend evaluiert werden. Die Evaluierung der Arbeit erfolgt auf drei Wegen. In Abschnitt 5.1 wurde bereits durch die Demonstration die Anwendbarkeit der Systematik in der Praxis festgestellt. In **Abschnitt 5.2.1** wird ein Vergleich der Anforderungen mit der Funktionsweise der Systematik durchgeführt. Anschließend wird in **Abschnitt 5.2.2** über qualitative Aussagen aus einer Interviewstudie über die Systematik berichtet. Abschließend werden in **Abschnitt 5.2.3** weitere Evaluationskriterien nach PRAT ET AL. [PCA14] vor dem Hintergrund der Bewertung der Interviewteilnehmer thematisiert.

5.2.1 Evaluation 1: Vergleich der Anforderungen mit der Funktionsweise der Systematik

PEFFERS ET AL. fordern für die Evaluation mindestens eine Überprüfung der Anforderungen (vgl. Abschnitt 2.6) mit der Funktionalität der erarbeiteten Lösung [PTR+07]. Bild

5-12 stellt den geforderten Bezug zwischen den Teillösungen und den Anforderungen her. Dies wird nachfolgend erläutert.

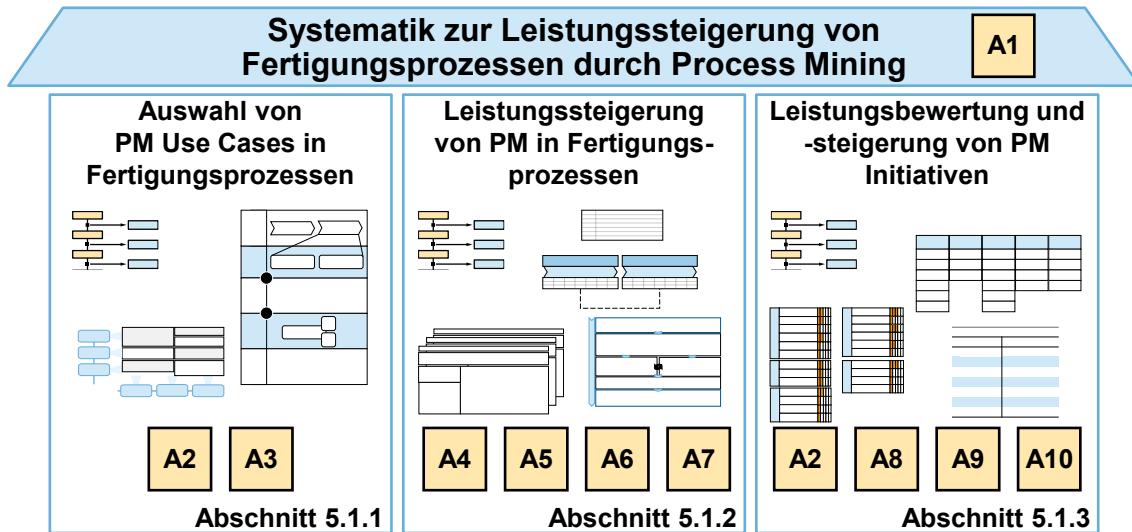


Bild 5-12: Erfüllung der Anforderung der Systematik

Übergeordnete Anforderung:

A1) Beachtung der Besonderheiten von Fertigungsprozessen:

Das Fertigungsumfeld stellt eine besondere Herausforderung für PM Projekte dar, da durch die lange Prozessmanagementtradition besondere Ansätze existieren (vgl. Abschnitt 2.3.2) und die heterogene IT-Landschaft eine aufwändigeren Datenextraktion mit sich zieht (vgl. Abschnitt 2.4.5). Die entwickelte Systematik adressiert die Besonderheiten an mehreren Stellen. Im zweiten Bestandteil der Systematik basiert das Handout mit beispielhaften Fragen über Fertigungsprozesse (vgl. Abschnitt 4.3.2) auf etablierten Konzepten in Lean Management und Six Sigma. Der dritte Bestandteil ist mit der PMDC (vgl. Abschnitt 4.4.2) und dem RVM (vgl. Abschnitt 4.4.3) gezielt auf Fertigungsprozesse ausgelegt. Im vierten Bestandteil ist das P3M mit einem Maschinenbauunternehmen entwickelt und einem weiteren fertigenden Unternehmen validiert worden (vgl. Abschnitt 4.5.2). Die gesamte Systematik erfüllt somit Anforderung A1.

Handlungsfeld 1: Identifikation von PM Use Cases in Fertigungsprozessen

A2) Systematische Identifikation von PM Use Cases:

PM ist eine Kombination aus der Prozess- und der Datenwissenschaft und bietet ein breites Spektrum an technologischen Möglichkeiten an (vgl. Abschnitt 2.4.1 und 2.4.2). Organisationen stehen somit vor der Herausforderung, einen geeigneten PM Use Case zu identifizieren (vgl. Abschnitt 2.4.4). Die Workshopmethode zur Identifikation von PM Use Cases (vgl. Abschnitt 4.3.2) unterstützt Organisationen bei dieser Aufgabe, indem Fragen an den Fertigungsprozess formuliert werden. Da nicht immer eine Vorerfahrung zu PM vorausgesetzt werden kann, wird zusätzlich ein Handout mit beispielhaften

Fertigungsprozessfragen (vgl. Abschnitt 4.3.2) zur Verfügung gestellt. Auch erlauben die 18 fortgeschrittenen Anwendungsszenarien (vgl. Abschnitt 4.5.3) die Identifikation von fortgeschritteneren PM Anwendungsszenarien. Die Anforderung A2 wird somit von dem zweiten und vierten Bestandteil der Systematik ganz erfüllt.

A3) Systematische Bewertung von PM Use Cases:

Bei der Untersuchung des Stands der Technik (vgl. Abschnitt 3.5) wurde bereits festgestellt, dass die Literatur über ein breites Repertoire an Ansätzen zur Bewertung von PM Use Cases verfügt. Die entwickelte Systematik greift daher auf den Ansatz nach ROTT UND BÖHM (vgl. Abschnitt 3.2.4) zur Bewertung von PM Use Cases zurück. Dieser wird mit etablierten Ansätzen zur Darstellung des Nutzens und der Erfolgswahrscheinlichkeit kombiniert, um eine Bewertung und Auswahl von PM Use Cases zu ermöglichen. Der zweite Bestandteil (vgl. Abschnitt 4.3) erfüllt somit die Anforderung A3 voll.

Handlungsfeld 2: Leistungssteigerung von PM Projekten in Fertigungsprozessen

A4) Einordnung in bestehende (PM Projekt) Vorgehensmodelle:

In der Literatur existieren eine Vielzahl von PM Vorgehensmodellen (vgl. Abschnitt 2.4.3 und 3.1.1). Um die Konsistenz mit der Wissensbasis zu wahren und das Verständnis für die entwickelten Hilfsmittel zu erhöhen, müssen diese in existierende PM Vorgehensmodelle eingeordnet werden. Die erarbeiteten Hilfsmittel werden in das etablierte PM² Vorgehensmodell integriert (vgl. Abschnitt 3.1.1 und 4.4.1). Ferner ordnet sich der zweite Bestandteil der Systematik in das etablierte Vorgehen für Ideation Events (vgl. Abschnitt 4.3.1) und der vierte Bestandteil in das Vorgehen zur Leistungsbewertung und -steigerung (vgl. Abschnitt 2.3.2 und 4.5.1) ein. Die Anforderung A4 wird somit voll erfüllt.

A5) Strukturierte Identifikation von Prozess- und Datenwissen:

Eine zentrale Herausforderung von PM in Fertigungsprozessen ist das Wissen zu den Prozessen und den Daten (-quellen) zu verbinden (vgl. Abschnitt 2.4.5). Die PMDC (vgl. Abschnitt 4.4.2) kombiniert etablierte Vorgehen im PM (Abschnitt 3.4.6) und der Fertigung (vgl. Abschnitt 3.3.2), um die zeitaufwändige Datenidentifikation und -extraktion zu unterstützen. Die Canvas ist dafür ausgelegt, Prozesse entlang heterogener Datenquellen zu katalogisieren. Dafür unterstützt sie durch das gezielte Abfragen von typischen Problemen von PM in der Fertigung die strukturierte Identifikation von Prozess- und Datenwissen. Die Anforderung A5 wird daher vollständig erfüllt.

A6) Unterstützung bei der Vorverarbeitung von Sensordaten:

Die Fertigung unterscheidet sich durch das Vorkommen von Sensordaten in den Prozessen von vielen anderen Domänen, zum Beispiel der Produktentwicklung (vgl. Abschnitt 2.4.5). Das RVM (vgl. Abschnitt 4.4.3) ist ein domänenorientierter Ansatz, der es Organisationen ermöglicht aus unterschiedlichen Sensordatenquellen einen einheitlichen Event Log zur Nutzung in PM Projekten zu erstellen. Im Vergleich zu existierenden

Ansätzen (vgl. Abschnitt 3.3.3) ist dafür kein besonderes Wissen im Bereich des Data Minings zur Clusterung von Daten notwendig. Die Anforderung A6 ist voll erfüllt.

A7) Hilfestellung für das PM und die Analyse:

Auch bei der Durchführung des eigentlichen PMs und der Analyse des Event Logs benötigen PM Projekte und Initiativen Unterstützung (vgl. Abschnitt 2.4.4). Dafür wurden im Rahmen dieser Arbeit die von LASHKEVICH ET AL. [LMD23] (vgl. Abschnitt 3.3.4) vorgestellten Analysevorlagen aggregiert, ins Deutsche übersetzt und in einer anwenderfreundlichen Klick-Dokumentation zur Verfügung gestellt (vgl. Abschnitt 4.4.4). Die Anforderung A7 wird somit vollständig erfüllt.

Handlungsfeld 3: Leistungssteigerung von PM Initiativen in Organisationen

A8) Bereitstellung eines Reifegradmodells für PM Aktivitäten in Organisationen:

Wenngleich Reifegradmodelle ein etabliertes Mittel zur Leistungssteigerung von Organisationen sind (vgl. Abschnitt 2.3.2 und 3.4.3), existierte für das PM noch kein Reifegradmodell (vgl. Abschnitt 2.4.4, 2.4.5 und Abschnitt 3.4). Das P3M (vgl. Abschnitt 4.5.2) ist das erste mehrschichtige Reifegradmodell im PM. Es setzt sich aus fünf Handlungsfeldern mit insgesamt 23 Handlungselementen zusammen. Jedes Handlungselement ermöglicht durch fünf dedizierte Reifegradstufen eine Ist-Zustandsbewertung für Organisationen. Die Anforderung A8 wird daher voll erfüllt.

A9) Berücksichtigung von unterschiedlichen Zuständen der Soll-Reife:

Essenzieller Bestandteil der Leistungssteigerung ist die Bestimmung eines geeigneten Soll-Zustands (vgl. Abschnitt 2.3.2). Zur Unterstützung der Zielzustandsbestimmung stellt die Systematik verschiedene Reifegradprofile bereit (vgl. Abschnitt 4.5.3). Zusätzlich werden fortgeschrittene Anwendungsszenarien bereitgestellt, die mit einem entsprechenden Reifegradprofil verbunden sind. Dies erleichtert die Bestimmung der Soll-Reife. Die Anforderung A9 ist daher ganz erfüllt.

A10) Vorgabe möglicher Handlungsmaßnahmen zur Leistungssteigerung:

Organisationen müssen Maßnahmen zur Erreichung des Soll-Zustands definieren (vgl. Abschnitt 2.3.2). Um diesen Prozess zu unterstützen, stellt die Systematik 30 typische Handlungsmaßnahmen zur Steigerung der Reife zur Verfügung (vgl. Abschnitt 4.5.4). Diese basieren auf den Aktivitäten realer Unternehmen. Die Anforderung A10 ist somit ganz erfüllt.

Fazit: Die Systematik zur Leistungssteigerung von Fertigungsprozessen durch PM erfüllt alle an sie gestellten Anforderungen vollständig. Die Systematik ermöglicht dem Head of PM die gezielte Realisierung eines relevanten PM Use Cases in der Fertigung sowie die langfristige Entwicklung der PM Initiative mithilfe des P3Ms.

5.2.2 Evaluation 2: Qualitative Aussagen zur Systematik

Ein weiterer gängiger Ansatz zur Evaluation von Artefakten ist das Sammeln von qualitativen Aussagen über die erarbeitete Lösung [Sv12, PTR+07]. In insgesamt acht Interviews mit Akteuren aus Praxis und Forschung wurden daher positive und negative Aussagen zur *Systematik zur Leistungssteigerung von Fertigungsprozessen durch PM* sowie der Bedarf nach zukünftiger Forschung in Interviews nach MYERS UND NEWMAN [MN07] besprochen. Details zum Forschungsdesign finden sich im Anhang A3.2.7. Ein zusammenfassender Ausschnitt wesentlicher Aussagen ist in Tabelle 5-2 gegeben. Der Code hinter den Aussagen ist ein Verweis auf das tatsächliche Zitat, aus dem die Aussage abgeleitet wurde (vgl. Tabelle A-20 im Anhang A3.2.7).

Tabelle 5-2: Qualitative Aussagen zu der entwickelten Systematik

| Positive Aussagen | Negative Aussagen |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ✓ Adressierung aktueller und relevanter Fragestellungen in der Praxis (I4-3, I5-1, I8-1) ✓ Standardisiertes Vorgehen gibt Sicherheit bei der Durchführung (I2-1, I3-3, I6-1) ✓ Wiederverwendung von allgemeinen Vorgehensweisen und Konzepten (I1-5, I4-4) ✓ Modularer Aufbau in Bestandteilen erlaubt unternehmensspezifische Adaption (I3-4) ✓ Adressierung von Projekt- und Organisationsebene (I8-1) | <ul style="list-style-type: none"> - Rollenzuordnung in den einzelnen Bestandteilen ist nicht klar (I1-2, I4-6) - Fehlende Standard-Tool Unterstützung (I3-1) - Fehlende Mechanismen zur Sicherstellung der korrekten Durchführung (I1-7, I7-1) - Vielschichtige Inhalte müssen erstmal kommuniziert und verstanden werden (I2-2, I8-3) - Fehlendes Referenz-Kennzahlensystem (I7-2) - Fehlende Evaluation der Datenqualität (I5-3, I6-4) |

Die **positiven Aussagen** beziehen sich insbesondere auf die übergeordnete Funktionsweise der Systematik. Von den Interviewpartnern wird dabei vor allem die hohe Relevanz für die Praxis und das standardisierte Vorgehen als Hilfestellung gelobt. Die Wiederverwendung von etablierten Ansätzen (bspw. das Vorgehensmodell im dritten Bestandteil, vgl. Abschnitt 4.4.1) des Projektmanagements und des PMs erfreut sich einer großen Beliebtheit. Der modulare Aufbau der Systematik wird von einem Interviewpartner gelobt, da er eine Adaption auf den unternehmensspezifischen Kontext erlaubt. Auch wird der zeitliche Anknüpfungspunkt der Systematik als positiv hervorgehoben:

„Das Problem [...] ist ja: In den ersten zwei Use Cases funktioniert PM immer super, weil das die Standardprozesse sind. [...] Aber viele hören dann auch wieder auf, weil sie danach nicht mehr weitermachen. Und genau da steigst du ja ein.“ ~I4-1

Die **negativen Aussagen** beziehen sich auf verschiedene Aspekte. Insbesondere das Verständnis für die involvierten Rollen und die damit einhergehenden Herausforderungen der Kommunikation werden als kritisch gesehen. Es wird jedoch auch bemängelt, dass keine gängigen Tools definiert werden, mit denen die erarbeiteten Ergebnisse dokumentiert und in Verbindung gesetzt werden können. Auch wird von mehreren Interviewpartnern die Datenqualität als zentrale Herausforderung von PM in der Organisation hervorgehoben. Häufig wird daher der Wunsch geäußert, mehr Hilfsmittel oder Unterstützung, bspw. auch bei der Bestimmung der Datenqualität, zu erhalten.

Fazit: Die geführten Interviews zeigen, dass die Funktionsweise der gesamten Systematik, insbesondere hinsichtlich des modularen Aufbaus, der Wiederverwendung von bekannten Vorgehensmodellen und dem allgemeinen Zweck der Systematik positiv aufgenommen werden. Die negativen Punkte sind insbesondere auf die Komplexität bei der Anwendung und die unternehmensindividuellen Herausforderungen zu sehen. Beispielsweise äußern I5 und I6, dass eine Bewertung der Datenqualität fehlt und I7 vermisst ein Referenz-Kennzahlensystem. I3 fasst die negativen Punkte daher treffend folgendermaßen zusammen:

“Ich glaube gewisse Adaptionen sind unternehmensspezifisch ganz normal, dann streicht man was raus oder passt das an, weil man einen anderen Schwerpunkt hat“ ~I3-4

Hinsichtlich der positiven und negativen Äußerungen erfüllt die Systematik den Bedarf der Praxis daher vollständig. In Zukunft sollte sich mit weiteren, unternehmens- bzw. branchenspezifischeren Herausforderungen auseinandergesetzt werden und die Hilfsmittel dementsprechend ergänzt werden.

5.2.3 Evaluation 3: Überprüfung weiterer Evaluationskriterien

Nach PRAT ET AL. [PCA14] lassen sich Artefakte ferner vor dem Hintergrund **von verschiedenen Kriterien evaluieren**. Im Rahmen der semi-strukturierten Interviews in Abschnitt 5.2.2 wurden die Interviewteilnehmer nach einer Bewertung von vier weiteren Evaluationskriterien gefragt. Diese sind in Anlehnung an PRAT ET AL.:

- **Verständlichkeit** (engl. understandability): Die zielgruppengerechte Vermittlung der Inhalte.
- **Fit zum Unternehmensalltag** (engl. fit with organization): Die Übereinstimmung des Artefakts mit dem organisatorischen Umfeld.

- **Vollständigkeit** (engl. completeness): Die Abdeckung der Anforderungen und die Vollständigkeit der notwendigen Funktionen.
- **Minimalismus** (engl. simplicity): Die Komplexität, mit der die Lösung geschaffen ist.

Eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Bewertungen findet sich im Anhang A3.2.7. Die Interviewteilnehmer mussten die vier Kriterien mit 1 bis 4 Punkten bewerten, wobei 4 Punkte gut und 1 Punkt schlecht sind. Durch das Fehlen einer punktgenauen Mitte sind die Interviewteilnehmer aufgefordert, eine eher positive oder negative Tendenz für die Bewertungskriterien abzugeben. Die abgegebenen Bewertungen je Kriterium sind in Bild 5-13 zusammenfassend dargestellt.

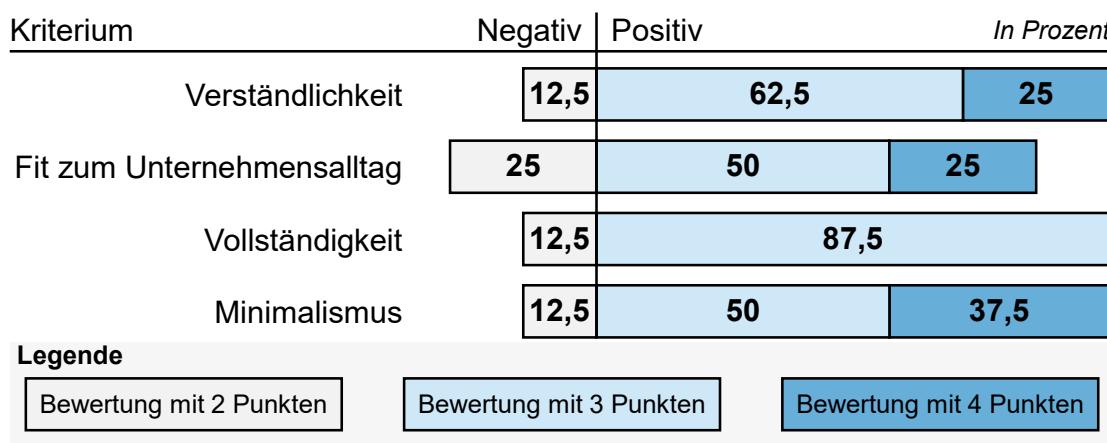


Bild 5-13: Bewertung der Systematik durch Interviewteilnehmer

Bei acht Interviewteilnehmern entspricht eine Stimme 12,5 % der Gesamtstimmen. Das Kriterium Verständlichkeit wurde somit bspw. von einem Interviewteilnehmer mit 2 Punkten bewertet. Insgesamt wurde über alle Kategorien und von allen Interviewteilnehmern niemals nur 1 Punkt vergeben, jedoch sieben mal 4 Punkte.

Fazit: Vor dem Hintergrund der Bewertung durch die Interviewteilnehmer kann die Systematik als praxistauglich und evaluiert betrachtet werden, da alle Kategorien häufiger positiv als negativ bewertet wurden. Es wurde niemals nur 1 Punkt vergeben und mehr als 20 % (7 von 32 abgegebenen Bewertungen) sind 4 Punkte Bewertungen.

Die gesamte Evaluation zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die *Systematik zur Leistungssteigerung von Fertigungsprozessen durch PM* erfolgreich bei einem Separatorenhersteller angewendet wurde. Die Systematik erfüllt alle an sie gestellte Anforderungen vollumfänglich. Die dafür benötigten Teillösungen wurden in Vorveröffentlichungen mit adäquaten Forschungsmethoden mit verschiedenen Unternehmen entwickelt und validiert. Zusätzlich wurden im Rahmen von qualitativen Interviews sowohl positive als auch negative Kommentare zur Lösung gesammelt und vier weitere Evaluationskriterien mithilfe einer Likert-Skala bewertet. Es zeigt sich, dass die entwickelte Systematik im

Ganzen positiv von den Interviewteilnehmern aufgenommen wurde, jedoch verschiedene unternehmensspezifische Herausforderungen weiter bestehen.

5.3 Diskussion

Die vorgestellte *Systematik zur Leistungssteigerung von Fertigungsprozessen durch PM* adressiert die Praxis und die Forschung auf unterschiedliche Weise. Nachfolgend wird in **Abschnitt 5.3.1** zunächst der Beitrag zusammenfassend eingeordnet. Anschließend werden die Implikationen für Unternehmen in **Abschnitt 5.3.2** und für die Forschung in **Abschnitt 5.3.3** diskutiert.

5.3.1 Beitrag der Systematik

Die vorgestellte Systematik (vgl. Abschnitt 4) kombiniert inkrementell entwickelte Teillösungen zu einem Gesamtartefakt. Die Teillösungen besitzen eine unterschiedliche Wertschöpfungstiefe und werden nachfolgend entlang der vier Bestandteile der Systematik kurz erläutert und eingeordnet. Anschließend erfolgt eine Diskussion des Beitrags der gesamten Systematik zur Leistungssteigerung von Fertigungsprozessen.

Beitrag der verschiedenen Bestandteile

Der erste Bestandteil der Systematik bietet eine Definition und Strukturierung von PM Use Cases in Organisationen (vgl. Abschnitt 4.2). Durch die drei Ebenen der Nutzungs-szenarien, Anwendungsszenarien und PM Use Cases werden in der Literatur vorherr-schende Konzepte verbunden. Die Nutzungsszenarien können im Kontext des Angebots-charakters von PM verstanden werden (vgl. BADAHKSHAN ET AL. [BWG+22] im Anhang A1.4) und sind über die fortgeschrittenen Anwendungsszenarien (vgl. Abschnitt 4.5.3) mit den Ansätzen zur Bewertung von PM Use Cases verbunden (vgl. Abschnitt 3.2).

Im zweiten Bestandteil wird eine Methode zur Identifikation von PM Use Cases in Ferti-gungsprozessen und ein zugehöriges Handout mit exemplarischen Fragen vorgestellt (vgl. Abschnitt 4.3.2). Die Methode und das Handout erleichtern das regelmäßig in der Literatur vorkommende Konzept der Formulierung von Fragen an Prozesse (vgl. Ab-schnitt 3.1.1, 3.2.1 oder 3.2.2). Im Vergleich zum Stand der Technik (vgl. Abschnitt 3.2) bietet die entwickelte Lösung erstmalig die Möglichkeit, solche PM Fragen an die Ferti-gung zu identifizieren.

Im dritten Bestandteil adressiert die PMDC (vgl. Abschnitt 4.4.2) konkrete Forderungen von EMAMJOME ET AL. [EAt19] und MARTIN ET AL. [MFK+21] (vgl. Abschnitt 2.4.4) nach mehr Methodenunterstützung in PM Projekten. Das RVM (vgl. Abschnitt 4.4.3) er-öffnet für Organisationen neue Wege der Datenvorverarbeitung. Bestehende Ansätze be-achten oft keine Sensordaten [vML+21], oder sind für Produktnutzungsdaten entwickelt worden [vSv16] (vgl. Abschnitt 3.3.3). Das RVM hingegen bietet einen domänenorien-tierten Ansatz, der wenig Vorwissen zu Cluster-Algorithmen benötigt. Schlussendlich

wird die existierende Wissensbasis adaptiert, indem der Katalog mit Analysevorlagen (vgl. Abschnitt 4.4.4) von LASHKEVICH ET AL. [LMD23] (vgl. Abschnitt 3.3.4) aggregiert, übersetzt und in eine nutzerfreundliche Klick-Dokumentation überführt worden ist.

Im vierten Bestandteil wird das P3M als PM Reifegradmodell (vgl. Abschnitt 4.5.2) in die Wissensbasis hinzugefügt (vgl. Abschnitt 3.4). Es stellt eine Exaptation von etablierten Ansätzen (bspw. KERPEDZHIEV ET AL. [KKR+21] in Abschnitt 3.4.4 oder IEEE TASK FORCE ON PM [AAM+12] in Abschnitt 3.4.1) dar, weshalb es viele Anknüpfungspunkte für die Prozess- und Datenwissenschaft bietet. Das P3M kommt dem Forschungsauftrag zur Entwicklung eines Reifegradmodells für PM von MARTIN ET AL. [MFK+21] (vgl. Abschnitt 2.4.4) und DUNZER ET AL. [DZM+21] (vgl. Abschnitt 2.4.5) nach.

Die vorliegende Arbeit trägt jedoch vor allem durch die Zusammenführung der zuvor genannten Teilergebnisse zu einer homogen anwendbaren Systematik bei. Die sachlogische Verbindung der einzelnen Artefakte erzeugt somit ein holistisches Gesamtartefakt im Sinne von SEIN ET AL. [SHP+11]. Dies erlaubt der Praxis gezielt eine *Leistungssteigerung der Fertigungsprozesse durch PM* zu erzielen. Der Forschung wird eine ganzheitliche Diskussion und Einordnung des Gesamtartefakts ermöglicht.

Beitrag der Systematik zur Leistungssteigerung von Fertigungsprozessen

Schlussendlich bleibt zu diskutieren, inwiefern die präsentierte Systematik die **Leistungssteigerung im Sinne der Prozesseistungsfähigkeit von Fertigungsprozessen unterstützt**. Es ist empirisch belegt, dass die Reife des Prozessmanagements in einer Organisation positiv mit der Prozessleistung korreliert [MOR23]. Auch im Bereich Fertigung ist gut erforscht, dass die Prinzipien des Lean Managements einen positiven Effekt auf die Leistungsfähigkeit der Unternehmen besitzen [Bha11, PJR+18, MGK20]. Ferner suggerieren erste Studien, dass das PM einen positiven Effekt auf das Prozessmanagement hat und es dies gut unterstützen kann, bspw. durch eine schnellere und evidenzbasierte Prozessmodellierung [MFK+21, GMO+21]. Semi-wissenschaftliche Veröffentlichungen und Umfragen unterstreichen diese Erkenntnis [GW21, HSF+21, IDG21, For22, MvW+23]. Weniger empirisch belegt ist, inwiefern Reifegradmodelle einen positiven Effekt auf Organisationen haben [RPB12, TTR16]. Diese Arbeit vertritt den Standpunkt, dass das P3M einen positiven Effekt auf PM Initiativen in Organisationen hat, da es ein Werkzeug zur Selbstreflektion darstellt. Es dient dabei nicht der stark kritisierten Präskription eines vorbestimmten, evolutionären Reifeentwicklungsprozesses [RPB12].

Im Rahmen der Evaluationsinterviews (vgl. Abschnitt 5.2.2 und 5.2.3) wurden die Interviewteilnehmer gefragt, inwieweit die Systematik zu einer Leistungssteigerung der Fertigungsprozesse beiträgt. Die Aussagen der Interviewteilnehmer (vgl. Tabelle A-20 im Anhang A3.2.7) lassen darauf schließen, dass die in diesem Abschnitt aufgeführte Argumentationskette den Anwendern klar ist. Interviewteilnehmer I2 fasst zusammen:

"Schlussendlich hilft einem PM ja nicht eine Leistungssteigerung zu bewirken, sondern man muss die Ergebnisse dann immer noch in einen

Kontext setzen, interpretieren und dann Maßnahmen ableiten. Also ich denke, es [die Systematik] ist mehr so ein Schritt in die Richtung, dass man mit PM diese Maßnahmen ableiten kann" ~I2-4

Zusammenfassend lässt sich somit sagen, dass die Organisationen leistungsfähiger sind, die sich mit ihren Fertigungsprozessen auseinandersetzen. PM ermöglicht eine effizientere und datenbasierte Auseinandersetzung mit Prozessen. Durch den zweiten und dritten Bestandteil werden Organisationen in die Lage versetzt, zum einen die richtigen PM Projekte in Fertigungsprozessen durchzuführen und zum anderen die Herausforderungen des Fertigungsumfelds abzuschwächen. Dadurch wird die Leistungssteigerung von Fertigungsprozessen erreicht. Durch den vierten Bestandteil der Leistungsbewertung und -steigerung wird zusätzlich die Möglichkeit geboten, das Management von PM Initiativen und das regelmäßige Durchführen von PM Projekten nachhaltig und langfristig zu verbessern. Dadurch werden die PM Projekte effizienter und effektiver, was wiederum zu einer weiteren Leistungssteigerung von Fertigungsprozessen beiträgt.

Fazit: Die *Systematik zur Leistungssteigerung von Fertigungsprozessen durch PM* trägt vier Bestandteile zur Wissensbasis bei und adressiert aktuelle Aufforderungen für mehr Forschungsbedarf. Zusätzlich stellt die Systematik ein Gesamtartefakt dar, das die Verwendung und Diskussion aller vier Bestandteile ermöglicht. Es wird mittels einer logischen Schlussfolgerung gezeigt, dass dieses Gesamtartefakt zur Leistungssteigerung von Fertigungsprozessen beiträgt.

5.3.2 Implikationen für anwendende Unternehmen

In diesem Abschnitt werden die Implikationen der drei Anwendungsbestandteile (vgl. Abschnitt 4.3, 4.4 und 4.5) der *Systematik zur Leistungssteigerung von Fertigungsprozessen durch PM* für Unternehmen diskutiert. Zunächst werden die einzelnen Bestandteile kritisch reflektiert. Anschließend wird die Anwendungsweise von verschiedenen Zielgruppen erörtert.

Kritische Reflexion

Der **zweite Bestandteil der Systematik** (vgl. Abschnitt 4.3) ist für die Anwendung ohne großes PM Vorwissen entwickelt, sodass die Adaption durch Unternehmen ohne großen Aufwand möglich ist. Auch ist der Bestandteil als Halbtagesworkshop durchführbar. Aufgrund dieser Einfachheit lassen sich jedoch für den praktischen Nutzen kritische Punkte vermerken. Zum einen sollten Organisationen prüfen, ob die Bewertung des Nutzens und der Erfolgswahrscheinlichkeit in jedem Anwendungsfall relevant ist. Je nach der Menge der identifizierten Fragen genügt eine abschließende Diskussion und Auswahl, ohne eine tabellarische Bewertung durchführen zu müssen. Zum anderen besteht das Risiko, dass Stakeholder die Beantwortung aller Fragen einfordern könnten. Dies hat jedoch weitreichende Implikationen für die Datenextraktion (bspw. von wie vielen Standorten Daten benötigt werden) und für das Ableiten von Prozessverbesserungsmaßnahmen. Die

Forschung muss sich in Zukunft verstkt mit der Systematisierung des PM Projektportfoliomanagements auseinandersetzen und bspw. an der Arbeit von FISCHER (vgl. Abschnitt 3.1.4) anknüpfen.

Der **dritte Bestandteil der Systematik** (vgl. Abschnitt 4.4) bietet mit der PMDC, dem RVM und dem Katalog an Analysevorlagen verschiedene Hilfsmittel für die Durchfrung von PM Projekten. Der Aufwand für den Einsatz der Hilfsmittel ist begrenzt, da sie Tätigkeiten unterstützen, die sowieso in PM Projekten durchzuführen sind. Jedoch sind die Hilfsmittel in der Anwendung weniger trivial als im zweiten Bestandteil. Insbesondere die PMDC und das RVM benötigen eine Einarbeitungszeit, bis die Hilfsmittel vollständig verwendet werden können. Auch funktionieren die Hilfsmittel in unterschiedlichen Umgebungen unterschiedlich gut. Bei der PMDC konnten bereits Limitationen für komplexe Prozessen mit vielen Datenquellen und ohne das Existieren einer einheitlichen Case ID festgestellt werden. Bei dem RVM hingegen wird vorausgesetzt, dass Daten bereits existieren und prinzipiell extrahierbar sind. Das RVM kann dann als eine Anleitung für das Zusammenführen der verschiedenen Sensordaten genutzt werden. Im Gegensatz dazu bietet der Katalog mit Analysevorlagen eine praxistaugliche Hilfestellung für das Durchführen des PMs und der Analyse an. Der Katalog lässt sich dem Forschungsbereich der automatisierten Proessoptimierung zuordnen, der stark ausgeprägt ist (vgl. Abschnitt 3.5) und dessen Entwicklung in Zukunft genaustens beobachtet werden sollte. Hinsichtlich der Datenextraktion und -vorverarbeitung ist zu verfolgen, inwiefern PM Tool Anbieter technische Lösungen zur Verfügung stellen. Erste Unternehmen bieten bereits Lösungen für die Vereinfachung dieser Schritte an⁴⁶.

Der **vierte Bestandteil der Systematik** (vgl. Abschnitt 4.5) ist eine PM Managementaufgabe. Daher wechselt die Zuständigkeit im Vergleich zu den vorherigen Bestandteilen vom PM Experten zum Head of PM. Durch die Auslegung des Workshops auf einen Tag eignet sich der Ansatz bspw. gut für Strategietage. Ziel der Leistungsbewertung und -steigerung ist die kritische Selbstreflektion. Daher ist fraglich, inwiefern der Head of PM sowohl der zentrale Stakeholder als auch der Moderator dieses Workshoptags sein kann. In der bisherigen praktischen Anwendung hat sich daher der Einsatz eines unbeteiligten PM Experten bewährt, der mit dem Aufbau bspw. des P3Ms vertraut ist und durch den Workshoptag moderieren kann. Im Allgemeinen setzen alle Hilfsmittel des vierten Bestandteils ein hohes Maß an Eigeninterpretation voraus. Zum Beispiel dienen die exemplarischen Handlungsmaßnahmen lediglich als Ausgangspunkt, um unternehmensspezifische Handlungen abzuleiten und zu priorisieren. Es gilt zukünftig die Entwicklung des Einsatzes von PM in Organisationen eng zu verfolgen und archetypische Nutzungsweisen von PM durch Organisationen weiter herauszuarbeiten.

⁴⁶ Beispielhaft ist hier Konekti zu nennen, ein niederländisches Unternehmen, das ein PM Werkzeug für Datenquellen und Vorverarbeitungsschritte bietet. <https://getkonekti.io/> zuletzt besucht am 13.10.2024.

Anwendung durch verschiedene Zielgruppen

Die *Systematik zur Leistungssteigerung von Fertigungsprozessen durch PM* ist für Unternehmen entwickelt, welche bereits Erfahrung mit PM haben, jedoch PM noch nicht in der Fertigung angewendet haben (vgl. Abschnitt 1.2). In diesem Szenario kann die Systematik ihr volles Potential entfalten, wie die Demonstration in Abschnitt 5.1 verdeutlicht. Ohne viel Vorwissen zu benötigen, können Unternehmen Use Cases für sich identifizieren (vgl. Abschnitt 4.3). Auch schwächen die Hilfsmittel zur Leistungssteigerung in Projekten die Herausforderungen des Fertigungsumfelds ab (vgl. Abschnitt 4.4). Schlussendlich erlaubt die Leistungsbewertung und -steigerung eine kritische Reflektion der PM Initiative und des durchgeführten Projektes (vgl. Abschnitt 4.5).

Für Organisationen besteht auch die Möglichkeit, die vorliegende **Systematik nicht in sachlogischer Reihenfolge zu verwenden**. Die drei Bestandteile zur Anwendung (vgl. Abschnitt 4.1) sind bewusst getrennt gehalten. So ist bspw. denkbar, dass Organisationen mit viel Erfahrung von PM Projekten in Fertigungsprozessen den zweiten Bestandteil der Use Case Auswahl nicht benötigen, da sie schon eine Mechanik der Ideengenerierung im Projektportfoliomanagement besitzen (vgl. Abschnitt 3.1.4). Diese Unternehmen können sich gezielt den Hilfsmitteln des dritten Bestandteils bedienen. Eine anschließende Reifegradbewertung im Rahmen des vierten Bestandteils eröffnet ggf. neue Perspektiven auf die etablierte PM Initiative (vgl. Abschnitt 4.5). Auch ist es denkbar, dass Fertigungsexperten eigenständig ohne die Unterstützung einer übergeordneten PM Initiative Use Cases auswählen und mit den Hilfsmitteln umsetzen wollen. Diese Fertigungsexperten benötigen folglich den vierten Bestandteil nicht. Da diese Szenarien nicht alle Lösungsbausteine der Systematik abdecken würde, wird dies in der vorliegenden Arbeit nicht demonstriert.

Fazit: Die Bestandteile der Systematik sind mit unterschiedlichem Aufwand durch die anwendenden Organisationen nutzbar. Insbesondere für den vierten Bestandteil der Leistungsbewertung und -steigerung empfiehlt sich der Einsatz eines Moderators. Auch stellt die Systematik für unterschiedliche Zielgruppen das Potential dar, in unterschiedlicher Reihenfolge verwendet zu werden oder ganze Bestandteile auszulassen. Dies ist insbesondere der Fall, wenn schon Erfahrung mit PM im Fertigungsumfeld vorliegt.

5.3.3 Implikationen für die Forschung

In diesem Abschnitt wird die Implikation für die Forschung in den Bereichen des PMs und des Advanced Systems Engineerings dargelegt.

Implikationen für die PM Disziplin

PM ist eine vergleichbar junge Forschungsrichtung, welche sich rasant entwickelt. Während in den letzten 20 Jahren der Fokus stark auf der Entwicklung von Algorithmen lag (vgl. Abschnitt 2.4.1), werden Forschungsaufrufe nach Hilfestellungen für Anwender und Organisationen frequenter [EA19, MFK+21, DZM+21, SLv+24]. BRENNIG ET AL. [BLB+24] präsentieren vier Richtlinien zur **Maximierung der Erkenntnisse zu**

Forschungsergebnissen im PM. Die erste Richtlinie empfiehlt, relevante Use Cases in Unternehmen zu adressieren. Die vorliegende Arbeit beachtet diese Richtlinie im Rahmen der Evaluation, indem ein relevanter Use Case im Rahmen der Demonstration identifiziert wird. Die zweite Richtlinie fordert dazu auf, die Anforderungen und Design Entscheidungen klar zu berichten. Durch die Anforderungen an die Systematik (vgl. Abschnitt 2.6) und den umfangreichen Anhang A3.2 zu den verwendeten Forschungsmethoden ist dies erfolgt. Die dritte Richtlinie verlangt neue Algorithmen mit realen Daten zu validieren. Die Erforschung des RVMs in Kollaboration mit einem Lebensmittelhersteller verdeutlicht die Anwendbarkeit des RVMs auf realen Daten (vgl. BROCK ET AL. [BRE+23] bzw. Abschnitt 1.3). Schlussendlich erfüllt diese Diskussion die vierte Richtlinie, für die eine Einordnung der Nutzungsweise und des praktischen Mehrwerts der erarbeiteten Lösung stattfinden muss.

Die vorliegende Systematik ordnet sich sehr gut in die **aktuelle Wissensbasis** ein. Die Definition und Strukturierung von PM Use Cases in Organisationen verbindet in der Literatur vorherrschende Definitionen miteinander. Während Autoren wie EGGERS ET AL. [EHZ+23] PM Use Cases als die Anwendung von PM auf konkrete Prozesse verstehen, theoretisieren Autoren wie BADAHKSHAN ET AL. [BWG+22] über den prinzipiellen Angebotscharakter von PM für Organisationen. Das vorgestellte Konzept der Anwendungsszenarien verbindet diese Betrachtungsweisen und ermöglicht für eine geordnete Diskussion. In der praktischen Anwendung existieren in der Literatur viele komplementierende Anknüpfungspunkte. Für die Entscheidung des Aufgreifens einer Initiative bietet VAN DER LINDEN [vdL21] (vgl. Abschnitt 3.4.6) einen praxisnahen Ansatz, um das Potential des PMs für ein Unternehmen zu bewerten. Auch GIELSTRA (vgl. Anhang A2.2.2) bietet aus einer monetären Perspektive einen Ansatz für diese Frage. Des Weiteren stehen in der Literatur mit DRAKOULOGKONAS UND APOSTOLOU [DA21] Ansätze zur Auswahl von PM Tools bereit. Mit anderen Ansätzen können die Ergebnisse der Systematik aufgegriffen werden. So stellt FISCHER bspw. eine PM Projektpfotoliotechnik (vgl. Abschnitt 3.1.4) vor, in welche die identifizierten PM Use Cases überführt werden können.

Vor dem Hintergrund der Forschung lässt sich festhalten, dass die Arbeit sich gut in die aktuellen Bestrebungen nach mehr Praxisrelevanz und einer Auseinandersetzung des PMs auf Organisationsebene einordnet. Die Arbeit schließt mehrere Lücken in der Wissensbasis und beweist in der praktischen Demonstration seine Relevanz für Anwender.

Implikationen für das Advanced Systems Engineering

Advanced Systems (AS) sind sowohl Produkte als auch die zugehörigen Produktionssysteme [Alb23, S. 11ff.]. Advanced Systems Engineering (ASE) beschreibt einen Lösungsansatz zur Beschreibung solcher immer komplexer werdenden AS [Alb23, S. 5]. An vielen Stellen behält die Arbeit typische Design-Prämissen des ASEs bei. So folgt bspw. der zweite Bestandteil dem Ansatz des 4-Ebenen-Modells nach GAUSEMEIER UND PLASS [GP14, S. 38] (vgl. Abschnitt 2.3.1), indem es Strategien und Prozesse kombiniert. Bestehende Ansätze, wie die Datenlandkarte von JOPPEN ET AL. [JEK+19] (vgl. Abschnitt

3.3.2), wurden als Ausgangslage genutzt und für die neue Technologie des PMs in Form der PMDC angepasst. Für den vierten Bestandteil der Systematik wird dem Vorgehen nach CHRISTIANSEN [Chr09] (vgl. Abschnitt 2.3.2) gefolgt. Viele Elemente des ASEs, wie das Prozessmanagement [Fah95, GP14, S. 272–315, JEA+19], das Reifegradmanagement [Chr09, GP14, S. 315–331, KBG13, Ben13, Wes17], oder die industrielle Datenanalyse [RKD17, WRE+23, Mey24, EWB+24], werden durch die Systematik aufgegriffen und weiterentwickelt. Die vorliegende Arbeit profitiert zudem von den Digitalisierungsaktivitäten von Organisationen, da ohne eine digitalisierte Fertigung kein PM möglich ist. Bestehende Ansätze für die Entwicklung von Digitalisierungsstrategien [Lip21], zur Bewertung von Industrie 4.0 Lösungen [Jop21] oder zur Planung von cyber-physischen Systemen [Wes17] leisten somit wertvolle Grundlagen für die Anwendung der entwickelten Systematik.

Vor diesem Hintergrund der thematischen Einordnung und der existierenden Einflüsse werden **drei Trends das PM für Advanced Systems in Zukunft noch weiter befeuern**: erstens ist zu erwarten, dass die Komplexität in der Fertigung weiter zunehmen wird (vgl. Abschnitt 2.2.2). BAUERNHANSL äußert daher die Sorge, dass die Produktion zu komplex wird, um einen Überblick behalten zu können [Bau17, S. 9]. Zweitens ist der Markt der PM Anbieter derzeit hochdynamisch. Der Branchenverband Bitkom ordnet PM als eine Technologie ein, welche sich in Zukunft zu einem Standardwerkzeug für Unternehmen avancieren wird [BBF+21, S. 24]. Die Übernahme des PM Anbieters „MINIT“ im Jahr 2022 durch Microsoft und die darauf folgende Bereitstellung der PM Technologien im Rahmen der Power-Plattform sind die markanteste Ausprägung dessen [Gra22-ol, Cha23-ol]. Drittens ist auch die Interaktion mit intelligenten Produkten ein Prozess. VAN ECK [Eck22] zeigt bspw. wie PM für solche intelligenten Produkte genutzt werden kann.

Fazit: Die *Systematik zur Leistungssteigerung von Fertigungsprozessen durch PM* ordnet sich gut in die existierende Wissensbasis ein. Existierende Ansätze zum Portfoliomanagement, zur Auswahl von PM Tools oder zur Entscheidung für das Starten einer PM Initiative komplementieren die erarbeiteten Lösungen. Ferner zeigt die Arbeit eine große Überschneidung zum Forschungsgebiet des ASEs, in dem Prozessmanagement und Digitalisierung der Fertigung eine zentrale Rolle spielen. In Zukunft sollte PM weiterverfolgt werden und bspw. für intelligente technische Systeme aufgegriffen werden.

Die gesamte Diskussion zusammenfassend ermöglicht die vorliegende Arbeit den Anwendern die Leistungssteigerung ihrer Fertigungsprozesse. Dafür schließt die Systematik aktuelle Lücken in der Forschung und ordnet sich sehr gut in bestehende Ansätze ein. Die Arbeit liefert einen Beitrag dazu, die in den letzten 20 Jahren entwickelten technischen Möglichkeiten des PMs in der Praxis anwendbar zu machen und adressiert daher primär die Projekt- und Organisationsebene von PM Initiativen. Hinsichtlich des ASEs ist zu erwarten, dass PM eine Schlüsseltechnologie darstellen wird, jedoch auch, dass eine verstärkte Auseinandersetzung mit dem Thema notwendig ist.

6 Zusammenfassung und Ausblick

“Es ist nicht genug zu wissen - man muss auch anwenden. Es ist nicht genug zu wollen - man muss auch tun.” ~Goethe

Die Fertigung ist ein wesentlicher Motor für den wirtschaftlichen Erfolg eines Unternehmens. Traditionell legen Industriebetriebe daher große Aufmerksamkeit auf dessen Leistungssteigerung. Durch Komplexitätstreiber wie kundenindividuelle Produkte wird die Prozessoptimierung heute stärker denn je benötigt. Gleichzeitig produziert die Fertigung nicht mehr nur Produkte, sondern auch eine große Menge an Daten. PM stellt einen viel-versprechenden Ansatz dar, Prozesse mithilfe von Daten zu analysieren. Die Technologie kommt dafür mit einem breiten Repertoire an Techniken, Algorithmen und dedizierten Tools daher. Industriebetriebe stehen jedoch vor einer großen Herausforderung, wenn sie diese Technologie in ihrer Fertigung einsetzen wollen. Diese Arbeit folgt der DSRM nach PEFFERS ET AL. (vgl. Abschnitt 1.3), um eine *Systematik zur Leistungssteigerung von Fertigungsprozessen durch PM* zu entwerfen.

Zunächst wurden in Kapitel 2 aus der **Problemanalyse** drei Herausforderungen identifiziert und atomisiert. Erstens erschwert die Fülle an technischen Möglichkeiten es Unternehmen, adäquate PM Use Cases in ihrer Fertigung zu identifizieren. Zweitens erschweren die Gegebenheiten der Fertigung das Durchführen von PM Projekten. Zu diesen Gegebenheiten zählen insbesondere die heterogene IT-Systemlandschaft und das notwendige Domänenwissen. Drittens ist PM kein einmaliges Projekt, sondern eine fortlaufende Aktivität von Organisationen. Dementsprechend stehen PM Initiativen vor der Herausforderung, sich systematisch weiterzuentwickeln, um Skaleneffekte besser zu nutzen und PM Projekte effizienter abzuarbeiten. Aus diesen Herausforderungen wurden zehn Anforderungen abgeleitet, die die zu entwickelnde Systematik erfüllen muss.

Anschließend wurde der **Stand der Technik** in Kapitel 3 mit diesen Anforderungen verglichen. Dafür wurden zunächst übergeordnete Ansätze betrachtet, die mehrere Herausforderungen adressieren, bevor individuelle Lösungen für die einzelnen Herausforderungen herausgearbeitet wurden. Von den übergeordneten Ansätzen präsentierte FISCHER einen umfassenden Ansatz zum Management von PM Projektportfolios, der Verbesserung der Datenqualität und der automatisierten Verbesserung von Prozessen. Hin-sichtlich der individuellen Lösungen für die erste Herausforderung hat sich gezeigt, dass mit EGGER ET AL. und ROTT UND BÖHM zwar Ansätze zur Bewertung von PM Use Cases existieren, jedoch kein Ansatz die Identifikation und Bewertung von der Idee bis zum Use Case unterstützt. Ähnlich verhält es sich auch mit der zweiten Herausforderung, bei der Ansätze entweder für die Fertigung zugeschnitten sind oder die Besonderheiten des PMs beachten. LASHKEVICH ET AL. präsentieren jedoch einen umfassenden Katalog mit Analysefragen, der auch Elemente des Lean Managements aufgreift. Für die letzte Herausforderung lassen sich die meisten Mängel in der Wissensbasis feststellen. So konnte bspw. kein Reifegradmodell für PM in Organisationen identifiziert werden. Zusammenfassend hat keiner der untersuchten Ansätze alle Anforderungen erfüllt. Vor diesem

Hintergrund konnte ein **Handlungsbedarf** zur Entwicklung einer Systematik abgeleitet werden.

Daher präsentiert Kapitel 4 die **Systematik zur Leistungssteigerung von Fertigungsprozessen durch PM**. Die Systematik stellt ein Gesamtartefakt dar, welches zuvor veröffentlichte Teilergebnisse mit dem untersuchten Stand der Technik kombiniert. Die Systematik besteht aus vier Bestandteilen:

- Die **Strukturierung und Definition des Begriffes PM Use Case in Organisationen**. Diese verbindet über drei Ebenen die Begriffe Nutzungsszenario, Anwendungsszenario und PM Use Case.
- Einem Ansatz zur **Auswahl von PM Use Cases in Fertigungsprozessen**. Der zentrale Forschungsbeitrag ist eine Workshopmethode zur Identifikation von PM Use Cases in Form von Fragen zu Fertigungsprozessen.
- Einem Ansatz zur **Leistungssteigerung von PM Projekten in Fertigungsprozessen**. Der zentrale Forschungsbeitrag ist die PM Data Canvas und das Rahmenwerk zur Vorverarbeitung von Maschinendaten.
- Einem Ansatz zur **Leistungsbewertung und -steigerung von PM Initiativen in Organisationen**. Der zentrale Forschungsbeitrag ist das PM Reifegradmodell P3M sowie typische Handlungsmaßnahmen von Organisationen zur Reifegradsteigerung.

Die **Demonstration und Evaluation** der Systematik findet in Kapitel 5 am Beispiel eines Separatorenherstellers statt. Die Evaluierung erfolgt auf drei Wegen: erstens zeigt der Vergleich der Anforderungen mit der Funktionalität, dass die Systematik alle an sie gestellten Anforderungen erfüllt. Zweitens wurden in acht Interviews positive und negative Impressionen zur Systematik gesammelt. Die Interviewteilnehmer heben neben der modularen und strukturierten Vorgehensweise die Ermöglichung von PM für die Fertigung als positiv hervor. Drittens zeigt die Bewertung von verschiedenen Kriterien mit einer Likert-Skala, dass die Systematik überwiegend positiv von Anwendern und Akademikern aufgenommen wird. Abgerundet wird die Evaluation durch eine Diskussion, welche den Beitrag und die Implikationen für die Anwender und Forschung einordnet.

Naturgemäß obliegt die Arbeit **Limitationen**. Aufgrund des Umfangs des Gesamtartefakts wurde es zusammenhängend nur einmalig angewendet. Zusätzlich sind viele Ergebnisse im Innovationsprojekt BPM I4.0 entstanden, bei dem über einen längeren Zeitraum dieselben Partner kollaboriert haben. Ferner wurden für die Evaluationsinterviews primär Vertreter von deutschen Unternehmen befragt, die innerhalb eines einstündigen Interviews eine Einschätzung zu der Systematik abgeben mussten.

Zukünftige Forschung muss sich weiter mit den persistenten Herausforderungen von PM in der Fertigung auseinandersetzen. Die Diskussion und kritische Reflektion der Ergebnisse hat bereits erste zukünftige Aktivitäten identifiziert. Diese umfassen insbesondere das ganzheitliche Identifizieren von Nutzungs- und Anwendungsszenarien, das automatisierte Identifizieren von Prozessoptimierungen und die Erarbeitung von archetypischen Nutzungsweisen des PMs in Organisationen. Wie die Evaluationsinterviews gezeigt

haben, sind aber insbesondere auch Herausforderungen bezüglich der Datenquellen und der Integration von Prozess- und Domänenwissen beständig. Hier sollte die zukünftige Forschung das Potential der sogenannte Large-Language-Models (LLM), mithilfe derer menschliche Texte oder Bilder verarbeitet werden können, genauer betrachten. Es ist zu erforschen, inwiefern diese für die Transformation von unstrukturierte Datenquellen in das Datenschema des PMs genutzt werden können oder ob LLMs ermöglichen, Kontextwissen in Prozessmodelle zu überführen.

Die Forschung am FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR ENTWURFSTECHNIK MECHATRONIK muss sich mit den Möglichkeiten und Implikationen des PMs für das ASE beschäftigen. Es gilt zu erforschen, wie Organisationen PM für ihre intelligenten Produkte und ihre wissensintensiven Produktentstehungsprozesse nutzen können. Ferner besteht durch das PM die Möglichkeit, den Prozesstransparenz- und Effizienz-Gedanken der Prozessoptimierung auf die Nachhaltigkeitsbestrebungen von Organisationen zu übertragen. Vorstellbar wäre die Erforschung der datenbasierten Erstellung und Optimierung eines Process-Carbon-Footprints.

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|----------|--|
| ADR | Action Design Research |
| AMICS | Americas Conference on Information Systems |
| AS | Advanced System |
| ASE | Advanced Systems Engineering |
| BDE | Betriebsdatenerfassung |
| BEC | Business Excellence Capability |
| BI | Business Intelligence |
| BISE | Business & Information Systems Engineering |
| BPM | Business Process Management |
| BPM I4.0 | Process Mining zur Analyse und Präskription industrieller Kernprozesse |
| BPMN | Business Process Model and Notation |
| BPR | Business Process Reengineering |
| CMM | Capability Maturity Model |
| CMMI | Capability Maturity Model Integration |
| COE | Center of Excellence |
| CPSL | Conference on Production Systems and Logistics |
| DFG | Directly-Follows-Graph (dt. Direktfolgegraph) |
| DMAIC | Define, Measure, Analyze, Improve, Control |
| DSR | Design Science Research |
| DSRM | Design Science Research Methodology |
| EAM | Enterprise Architecture Management |
| ECIS | European Conference on Information Systems |
| EDOC | Enterprise Design, Operations, and Computing |
| ER | Entity Relationship |
| ERP | Enterprise Resource Planning |
| HE | Handlungselement |
| HF | Handlungsfeld |
| HMI | Human-Machine-Interfaces |
| ICME | Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering |
| ID | Identifikation (engl. Identification) |
| IEEE | Institute of Electrical and Electronics Engineers |
| IIoT | Industrial Internet of Things |
| IO | Improvement Opportunity |
| IoT | Internet of Things |
| it's OWL | Intelligente Technische Systeme Ostwestfalen-Lippe |
| KPI | Key-Performance-Indicators |
| LLM | Large-Language-Model |
| MES | Manufacturing Execution System |
| MTO | Mensch, Technik, Organisation |

| | |
|-----------------|---|
| OMEGA | Objektorientierte Methode zur Geschäftsprozessmodellierung und -analyse |
| P3M | Process Mining Maturity Model (dt. Process Mining Reifegradmodell) |
| PDCA | Plan, Do, Check, Act |
| PE | Produktentwicklung |
| PLM | Product Lifecycle Management |
| PM | Process Mining |
| PM ² | Process Mining Project Methodology |
| PM4Opt | Validierung von Process Mining zur kontinuierlichen Optimierung von verfahrenstechnischen Prozessen |
| PMDC | Process Mining Data Canvas |
| PPS | Produktionsplanung und -steuerung |
| PraeclarusPDQ | Praeclarus Process Data Quality |
| RCIS | Research Challenges in Information Sciences |
| RPA | Robotic Process Automation |
| RVM | Rahmenwerk zur Vorverarbeitung von Maschinendaten |
| RWTH | Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule |
| SCADA | Supervisory Control and Data Acquisition |
| SCOR | Supply-Chain-Operations-Reference Model |
| Spez. | Spezifisch |
| SPS | Speicherprogrammierbare Steuerung |
| TPS | Toyota-Produktionssystem |
| TU | Technische Universität |
| UML | Unified Modelling Language |

Literaturverzeichnis

[AAM+12] VAN DER AALST ET AL., W.: Process Mining Manifesto. In: Daniel, F.; Barkaoui, K.; Dustdar, S. (Eds.): Business Process Management Workshops – BPM 2011 International Workshops, Clermont-Ferrand, France, August 29, 2011; revised selected papers. Lecture Notes in Business Information Processing, 99, Springer, Berlin, 2012, pp. 169–194

[ACD+18] AUGUSTO, A.; CONFORTI, R.; DUMAS, M.; LA ROSA, M.; MAGGI, F. M.; MARRELLA, A.; MECELLA, M.; SOO, A.: Automated Discovery of Process Models from Event Logs: Review and Benchmark. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, (31)4, 2018, S. 686–705

[AL22] ACCORSI, R.; LEBHERZ, J.: A Practitioner’s View on Process Mining Adoption, Event Log Engineering and Data Challenges. In: van der Aalst, W. M. P.; Carmona, J. (Hrsg.): PROCESS MINING – First summer school, pmss 2022, aachen, germany. Lecture Notes in Business Information Processing, Springer, [S.1.], 2022, S. 212–240

[Alb23] ALBERS, A.: Engineering neu denken und gestalten. acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, 2023

[APS17] AGUIRRE, S.; PARRA, C.; SEPÚLVEDA, M.: Methodological proposal for process mining projects. *International Journal of Business Process Integration and Management*, (8)2, 2017, S. 102

[AR23] AL-ABSI, M. A.; R’BIGUI, H.: Process Discovery Techniques Recommendation Framework. *Electronics*, (12)14, 2023, S. 3108

[ARE+12] AILENEI, I.; ROZINAT, A.; ECKERT, A.; VAN DER AALST, W. M. P.: Definition and Validation of Process Mining Use Cases. In: Daniel, F.; Barkaoui, K.; Dustdar, S. (Eds.): Business Process Management Workshops – BPM 2011 International Workshops, Clermont-Ferrand, France, August 29, 2011; revised selected papers. Lecture Notes in Business Information Processing, 99, Springer, Berlin, 2012, pp. 75–86

[ASC24] AKHRAMOVICH, K.; SERRAL, E.; CETINA, C.: A systematic literature review on the application of process mining to Industry 4.0. *Knowledge and Information Systems*, 2024, S. 1–48

[AWA06] A. WEIJTERS; WIL M.P. VAN DER AALST; A. K. A. D. MEDEIROS: Process mining with the HeuristicsMiner algorithm, 2006

[Bau17] BAUERNHANSL, T.: Die Vierte Industrielle Revolution – Der Weg in ein wertschaffendes Produktionsparadigma. In: Vogel-Heuser, B. (Hrsg.): *Handbuch Industrie 4.0*. 2. Auflage, Springer Reference Technik, Springer Vieweg, Heidelberg, 2017, S. 1–31

[BBB+21] BEVERUNGEN, D.; BUIJS, JOOS C. A. M.; BECKER, J.; DI CICCIO, C.; VAN DER AALST, W. M. P.; BARTELHEIMER, C.; VOM BROCKE, J.; COMUZZI, M.; KRAUME, K.; LEOPOLD, H.; MATZNER, M.; MENDLING, J.; OGONEK,

N.; POST, T.; RESINAS, M.; REVOREDO, K.; DEL-RÍO-ORTEGA, A.; LA ROSA, M.; SANTORO, F. M.; SOLTI, A.; SONG, M.; STEIN, A.; STIERLE, M.; WOLF, V.: Seven Paradoxes of Business Process Management in a Hyper-Connected World. *Business & Information Systems Engineering*, (63)2, 2021, S. 145–156

[BBF+21] BECKER, T.; BINGLER, DIRK, GODE, ANDRE; FINKLER, M.; JUNGK, H.; KRÜGER, J.; MEHRER, H.; NAUJOKS, F.; SCHMIDT, S.; SCHRÖER, T.; SONTOW, K.; ZAPPE, M.: *ERP Trend-Check 2021*, 2021

[BBL+24] BROCK, J.; BRENNIG, K.; LÖHR, B.; BARTELHEIMER, C.; ENZBERG, S. VON; DUMITRESCU, R.: Improving Process Mining Maturity – From Intentions to Actions. *Business & Information Systems Engineering*, 2024, S. 1–21

[BBS+16] BEHESHTI, S.-M.-R.; BENATALLAH, B.; SAKR, S.; GRIGORI, D.; MOTA-HARI-NEZHAD, H. R.; BARUKH, M. C.; GATER, A.; RYU, S. H.: *Process Analytics*. Springer International Publishing, Cham, 2016

[BDR+23] BEEREPOOT, I.; DI CICCIO, C.; REIJERS, H. A.; RINDERLE-MA, S.; BANDARA, W.; BURATTIN, A.; CALVANESE, D.; CHEN, T.; COHEN, I.; DEPAIRE, B.; DI FEDERICO, G.; DUMAS, M.; VAN DUN, C.; FEHRER, T.; FISCHER, D. A.; GAL, A.; INDULSKA, M.; ISAHAGIAN, V.; KLINKMÜLLER, C.; KRATSCH, W.; LEOPOLD, H.; VAN LOOY, A.; LOPEZ, H.; LUKUMBUZYA, S.; MENDLING, J.; MEYERS, L.; MODER, L.; MONTALI, M.; MUTHUSAMY, V.; REICHERT, M.; RIZK, Y.; ROSEMAN, M.; RÖGLINGER, M.; SADIQ, S.; SEIGER, R.; SLAATS, T.; SIMKUS, M.; SOMEH, I. A.; WEBER, B.; WEBER, I.; WESKE, M.; ZERBATO, F.: The biggest business process management problems to solve before we die. *Computers in Industry*, (146), 2023, S. 103837

[BEK+23] BROCK, J.; ENZBERG, S. VON; KÜHN, A.; DUMITRESCU, R.: Process Mining Data Canvas: A method to identify data and process knowledge for data collection and preparation in process mining projects. *Procedia CIRP*, (119), 2023, S. 602–607

[BEK+24] BROCK, J.; ENZBERG, S. VON; KÜHN, A.; DUMITRESCU, R.: Towards business use cases of process mining in product development and manufacturing: Deriving and classifying 18 application scenarios in industry. *Procedia CIRP*, (128), 2024, S. 268–273

[Ben13] BENSIEK, T.: Systematik zur reifegradbasierten Leistungsbewertung und -steigerung von Geschäftsprozessen im Mittelstand – Heinz Nixdorf Institut (HNI), Veröffentlichungen der Universität

[Ber11] BERGSMANN, S.: *End-to-End-Geschäftsprozessmanagement – Organisationslement - Integrationsinstrument - Managementansatz*. 2012. Auflage, Springer Vienna, Vienna, 2011

[BGv09] BOZKAYA, M.; GABRIELS, J.; VAN DER WERF, J. M.: *Process Diagnostics: A Method Based on Process Mining: Information, Process, and*

Knowledge Management, 2009. eKNOW '09. International Conference on. 2009 International Conference on Information, Process, and Knowledge Management. eKNOW 2009, 2/1/2009 - 2/7/2009, Cancun, IEEE / Institute of Electrical and Electronics Engineers Incorporated, 2009, S. 22–27

[Bha11] BHASIN, S.: Performance of organisations treating lean as an ideology. *Business Process Management Journal*, (17)6, 2011, S. 986–1011

[BHC+18] BOYES, H.; HALLAQ, B.; CUNNINGHAM, J.; WATSON, T.: The industrial internet of things (IIoT): An analysis framework. *Computers in Industry*, (101), 2018, S. 1–12

[BKD24] BROCK, J.; KÜHN, A.; DUMITRESCU, R.: Method For The Identification Of Process Mining Use Cases In Manufacturing. Hannover publish-Ing, 2024

[BKP09] BECKER, J.; KNACKSTEDT, R.; PÖPPELBUß, J.: Developing Maturity Models for IT Management. *Business & Information Systems Engineering*, (1)3, 2009, S. 213–222

[BLB+23] BROCK, J.; LÖHR, B.; BRENNIG, K.; SEGER, T.; BARTELHEIMER, C.; ENZBERG, S. VON; KÜHN, A.; DUMITRESCU, R.: A process mining maturity model: Enabling organizations to assess and improve their process mining activities. *ECIS 2023 Research Papers*, 2023

[BLB+24] BRENNIG, K.; LÖHR, B.; BROCK, J.; REINEKE, M.; BARTELHEIMER, C.: Maximizing the Impact of Process Mining Research: Four Strategic Guidelines. *AMCIS 2024 Proceedings*, 2024

[BR07] BRUIN, T. DE; ROSEMANN, M.: Using the Delphi technique to identify BPM capability areas, 2007

[BRE+23] BROCK, J.; REMPE, N.; ENZBERG, S. VON; KÜHN, A.; DUMITRESCU, R.: A Framework For The Domain-Driven Utilization Of Manufacturing Sensor Data In Process Mining: An Action Design Approach. Hannover publish-Ing, 2023

[BS23] BARENKAMP, M.; SCHNIER, T.: Künstliche Intelligenz im Process Mining – Anwendung und Potenziale. *Wirtschaftsinformatik & Management*, (15)2, 2023, S. 134–140

[BWD+21] BIRK, A.; WILHELM, Y.; DREHER, S.; FLACK, C.; REIMANN, P.; GRÖGER, C.: A Real-World Application of Process Mining for Data-Driven Analysis of Multi-Level Interlinked Manufacturing Processes. *Procedia CIRP*, (104), 2021, S. 417–422

[BWG+22] BADAHKSHAN, P.; WURM, B.; GRISOLD, T.; GEYER-KLINGEBERG, J.; MENDLING, J.; VOM BROCKE, J.: Creating business value with process mining. *The Journal of Strategic Information Systems*, (31)4, 2022, S. 101745

[Cao18] CAO, L.: Data Science: A Comprehensive Overview. *ACM Computing Surveys*, (50)3, 2018, S. 1–42

[Cha23-ol] CHAUDHRY, A.: Microsoft Power Automate Process Mining is generally available. Unter: <https://www.microsoft.com/en-us/power-platform/blog/power-automate/microsoft-power-automate-process-mining-is-generally-available/>, Aufgerufen am 24. Juni 2024

[Chr09] CHRISTIANSEN, S.-K.: Methode zur Klassifikation und Entwicklung reifegradbasierter Leistungsbewertungs- und Leistungssteigerungsmodelle. Zugl.: Paderborn, Univ., Diss., 2009. HNI-Verlagsschriftenreihe Bd. 264, Heinz-Nixdorf-Inst, Paderborn, 2009

[CP13] CLAES, J.; POELS, G.: Process Mining and the ProM Framework: An Exploratory Survey. *International Conference on Business Process Management*, Springer, Berlin, Heidelberg, 2013, pp. 187–198

[Cro79] CROSBY, P. B.: *Quality is free – The art of making quality certain*. McGraw-Hill, New York, 1979

[CVM+20] CÉSPEDES-GONZÁLEZ, Y.; VALDES, J. J.; MOLERO-CASTILLO, G.; ARIETA-MELGAREJO, P.: Design of an Analysis Guide for User-Centered Process Mining Projects. *Future of Information and Communication Conference*, Springer, Cham, 2020, pp. 667–682

[CvW22] CARMONA, J.; VAN DONGEN, B.; WEIDLICH, M.: Conformance Checking: Foundations, Milestones and Challenges. In: van der Aalst, W. M. P.; Carmona, J. (Hrsg.): *PROCESS MINING – First summer school, pmss 2022, aachen, germany*. Lecture Notes in Business Information Processing, Springer, [S.l.], 2022, S. 155–190

[DA21] DRAKOULOGKONAS, P.; APOSTOLOU, D.: On the Selection of Process Mining Tools. *Electronics*, (10)4, 2021, S. 451

[Del20] DELOITTE: *deloitte-nl-risk-process-xray-factsheet*

[DGK+15] DUMITRESCU, R.; GAUSEMEIER, J.; KÜHN, A.; LUCKEY, M.; PLASS, C.; SCHNEIDER, M.; WESTERMANN, T.: *Auf dem Weg zu Industrie 4.0 – Erfolgsfaktor Referenzarchitektur*. it's OWL Clustermanagement GmbH, 2015

[DLM+18] DUMAS, M.; LA ROSA, M.; MENDLING, J.; REIJERS, H. A.: *Fundamentals of business process management*. Springer, Berlin, Germany, 2018

[DRG21] DREHER, S.; REIMANN, P.; GRÖGER, C.: Application Fields and Research Gaps of Process Mining in Manufacturing Companies – 28. September - 2. Oktober 2020 Karlsruhe, Deutschland. Kölle, Vol. 307 Bonn, 2021

[DS90] DAVENPORT, T. H.; SHORT, J. E.: *The new industrial engineering: information technology and business process redesign*, 1990

[Dum10] DUMITRESCU, R.: *Entwicklungssystematik zur Integration kognitiver Funktionen in fortgeschrittene mechatronische Systeme*, 2010

[DZM+21] DUNZER, S.; ZILKER, S.; MARX, E.; GRUNDLER, V.; MATZNER, M.: The Status Quo of Process Mining in the Industrial Sector. In: Ahlemann, F.; Schütte, R.; Stieglitz, S. (Eds.): Innovation Through Information Systems – Volume III: A Collection of Latest Research on Management Issues. Springer eBook Collection, 48, Springer International Publishing; Imprint Springer, Cham, 2021, pp. 629–644

[EAt19] EMAMJOME, F.; ANDREWS, R.; TER HOFSTEDE, A. H. M.: A Case Study Lens on Process Mining in Practice. In: Panetto; Birukou (Hrsg.): On the Move to Meaningful Internet Systems – OTM 2019 Conferences. Lecture Notes in Computer Science, Springer International Publishing, [Place of publication not identified], 2019, S. 127–145

[Eck22] VAN ECK, M. L.: Process Mining for Smart Product Design. Phd Thesis 1 (Research TU/e / Graduation TU/e), Mathematics and Computer Science, 2022

[EHZ+23] EGGLERS, J.; HÄGE, M.-C.; ZIMMERMANN, S.; GEWALD, H.: Assessing Process Mining Use Cases: A Taxonomy of Antecedents and Value Potentials of Process Mining, 2023

[ES96] EVERSHAIM, W.; SCHUH, G. (Hrsg.): Produktion und Management. Betriebshütte. – Teil 2. 7. Auflage, VDI-Buch, Springer, Berlin, 1996

[EWB+24] ENZBERG, S. VON; WELLER, J.; BROCK, J.; MERKELBACH, S.; PANZNER, M.; LICK, J.; KÜHN, A.; DUMITRESCU, R.: On the Current State of Industrial Data Science: Challenges, Best Practices, and Future Directions. PLATZHALTER, 2024

[Fah95] FAHRWINKEL, U.: Methode zur Modellierung und Analyse von Geschäftsprozessen zur Unterstützung des Business process reengineering. Zugl.: Paderborn, Univ.-GH, Diss., 1995. HNI-Verlagsschriftenreihe Bd. 1, HNI, Paderborn, 1995

[FIJ+20] FISCHER, M.; IMGRUND, F.; JANIESCH, C.; WINKELMANN, A.: Strategy archetypes for digital transformation: Defining meta objectives using business process management. Information & Management, (57)5, 2020, S. 103262

[Fis23] FISCHER, D. A.: Advancing Process Mining from the Core Managing Process Mining Project Portfolios from Data Processing to Process Improvement, University of Bayreuth, 2023

[For22] FORRESTER RESEARCH INC.: Trends In Process Improvement And Data Execution. How Organizations Are Improving Processes And Turning Process Data Into Real-Time Action, 2022

[Gad17] GADATSCH, A.: Grundkurs Geschäftsprozess-Management – Analyse, Modellierung, Optimierung und Controlling von Prozessen. 8. Auflage, Lehrbuch, Springer Vieweg, Wiesbaden, 2017

[GCW+13] GAUSEMEIER, J.; CZAJA, A.; WIEDERKEHR, O.; DUMITRESCU, R.; TSCHIRNER, C.; STEFFEN, D.: *Systems Engineering in der industriellen Praxis*, 2013

[GDE+19] GAUSEMEIER, J.; DUMITRESCU, R.; ECHTERFELD, J.; PFÄNDER, T.; STEFFEN, D.; THIELEMANN, F.: *Innovationen für die Märkte von morgen – Strategische Planung von Produkten, Dienstleistungen und Geschäftsmodellen*. Hanser, München, 2019

[GH13] GREGOR, S.; HEVNER, A. R.: Positioning and Presenting Design Science Research for Maximum Impact. *MIS Quarterly*, (37)2, 2013, S. 337–355

[Gie16] GIELSTRA, E.: The Design of a Methodology for the Justification and Implementation of Process Mining, 2016

[GJR+24] GRISOLD, T.; JANIESCH, C.; RÖGLINGER, M.; WYNN, M. T.: “BPM is Dead, Long Live BPM!” – An Interview with Tom Davenport. *Business & Information Systems Engineering*, 2024

[GMO+21] GRISOLD, T.; MENDLING, J.; OTTO, M.; VOM BROCKE, J.: Adoption, use and management of process mining in practice. *Business Process Management Journal*, (27)2, 2021, S. 369–387

[GP14] GAUSEMEIER, J.; PLASS, C.: *Zukunftsorientierte Unternehmensgestaltung – Strategien, Geschäftsprozesse und IT-Systeme für die Produktion von morgen*. 2. Auflage, Hanser, München, 2014

[Gra22-ol] GRAHAM, J.: Microsoft acquires Minit to strengthen process mining capabilities. Unter: <https://blogs.microsoft.com/blog/2022/03/31/microsoft-acquires-minit-to-strengthen-process-mining-capabilities/>, Aufgerufen am 24. Juni 2024

[GTP+21] GRAAFMANS, T.; TURETKEN, O.; POPPELAARS, H.; FAHLAND, D.: Process Mining for Six Sigma. *Business & Information Systems Engineering*, (63)3, 2021, S. 277–300

[GW21] GALIC, G.; WOLF, M.: Delivering Value with Process Analytics. Process Mining adoption and success factors, 2021

[Ham07] HAMMER, M.: The process audit, 2007

[Ham15] HAMMER, M.: What is Business Process Management? In: vom Brocke, J.; Rosemann, M. (Hrsg.): *Handbook on Business Process Management* 1. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2015, S. 3–16

[Har15] HARMON, P.: The Scope and Evolution of Business Process Management. In: vom Brocke, J.; Rosemann, M. (Hrsg.): *Handbook on Business Process Management* 1. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2015, S. 37–80

[HBS+23] HARDJOSUWITO, D.; BRAUCKS, F. L.; SCHRÖER, T.; SCHWANEN, C.; VAN DER AALST, W. M.: The Process Mining Use Case Canvas: A Framework for Developing and Specifying Use Cases. Hannover publish-Ing, 2023

[HC93] HAMMER, M.; CHAMPY, J.: *Reengineering the corporation – A manifesto for business revolution*. HarperBusiness, New York, NY, 1993

[HFS21] HÄNGGI, R.; FIMPEL, A.; SIEGENTHALER, R.: *Lean Production - einfach und umfassend – Ein praxisorientierter Leitfaden zu schlanken Prozessen mit Bildern erklärt*. Springer Vieweg, 2021

[HMP+04] HEVNER; MARCH; PARK; RAM: Design Science in Information Systems Research. *MIS Quarterly*, (28)1, 2004, S. 75

[HSF+21] HÖHNE, M.; SCHNÄGELBERGER, S.; FAHR, P.; FEDDERN, U.; SCHABICKI, T.; BERNSTORF, J.; VARNHOLT, S.; SCHRODT, S.; PORST, J.; HUU, L. N.; KINZEL, T.; HINZMANN, M.; SYSAVANH, M.: *PROZESSE EFFIZIENT MANAGEN UND NACHHALTIG VERBESSERN*. Process Management & Analytics Studie, 2021

[IDG21] IDG RESEARCH SERVICES: *Studie Process Mining & RPA 2019, 2021*

[ITK19] ISMAIL, A.; TRUONG, H.-L.; KASTNER, W.: Manufacturing process data analysis pipelines: a requirements analysis and survey. *Journal of Big Data*, (6)1, 2019, S. 1–26

[Jan17] JANS, M.: From relational database to valuable event logs for process mining purposes: a procedure, 2017

[JEA+19] JOPPEN, R.; ENZBERG, S. VON; ARNO KÜHN, D.-I.; ROMAN DUMITRESCU, D.-I.: A practical Framework for the Optimization of Production Management Processes. *Procedia Manufacturing*, (33), 2019, S. 406–413

[JEK+19] JOPPEN, R.; ENZBERG, S.; KÜHN, A.; DUMITRESCU, R.: Data map – method for the specification of data flows within production. *Procedia CIRP*, (79), 2019, S. 461–465

[JMH+20] JACOBI, C.; MEIER, M.; HERBORN, L.; FURMANS, K.: Maturity Model for Applying Process Mining in Supply Chains: Literature Overview and Practical Implications. *Logistics Journal Proceedings*, (2020)12, 2020

[Jop21] JOPPEN, R.: *Systematik zur Bewertung von Industrie 4.0 Anwendungen in der Produktion*. Universität Paderborn, 2021

[KBF+24] KRAJČOVIČ, M.; BASTIUCHENKO, V.; FURMANNOVÁ, B.; BOTKA, M.; KOMAČKA, D.: New Approach to the Analysis of Manufacturing Processes with the Support of Data Science. *Processes*, (12)3, 2024, S. 449

[KBG13] KÜHN, A.; BENSIEK, T.; GAUSEMEIER, J.: Framework for the development of maturity based self-assessments for process improvement, 2013

[KDF+22] KIPPING, G.; DJURICA, D.; FRANZOI, S.; GRISOLD, T.; MARCUS, L.; SCHMID, S.; VOM BROCKE, J.; MENDLING, J.; RÖGLINGER, M.: How to Leverage Process Mining in Organizations - Towards Process Mining Capabilities. In: Di Ciccio, C.; Dijkman, R.; Del Río Ortega, A.; Rinderle-Ma, S. (Eds.): *Business Process Management – 20th International Conference, BPM 2022, Münster, Germany, September 11–16, 2022*,

Proceedings. Lecture Notes in Computer Science, 13420, Springer International Publishing; Imprint Springer, Cham, 2022, pp. 40–46

[KIS+23] KERREMANS, M.; IIJIMA, K.; SACHELARESCU, A.; DUFFY, N.; SUGDEN, D.: Magic Quadrant for Process Mining Tools

[KJM20] KOSCHMIDER, A.; JANSSEN, D.; MANNHARDT, F.: Framework for Process Discovery from Sensor Data: EMISA, 2020, S. 32–38

[KJR+18] KÜHN, A.; JOPPEN, R.; REINHART, F.; RÖLTGEN, D.; ENZBERG, S. VON; DUMITRESCU, R.: Analytics Canvas – A Framework for the Design and Specification of Data Analytics Projects. Procedia CIRP, (70), 2018, S. 162–167

[KKR+21] KERPEDZHIEV, G. D.; KÖNIG, U. M.; RÖGLINGER, M.; ROSEMANN, M.: An Exploration into Future Business Process Management Capabilities in View of Digitalization. Business & Information Systems Engineering, (63)2, 2021, S. 83–96

[Kno21] KNOLL, D.: Value Stream Mapping for Internal Logistics Using Process Mining, 2021

[Kor10] KOREN, Y.: The global manufacturing revolution – Product-process-business integration and reconfigurable systems. Wiley, Hoboken, N.J., 2010

[KSS+20] KERREMANS, M.; SEARLE, S.; SRIVASTAVA, T.; IIJIMA, K.: Market guide for process mining, 2020

[Law17] LAWRENCE, N. D.: Data Readiness Levels, 2017

[LBB+22] LÖHR, B.; BRENNIG, K.; BARTELHEIMER, C.; BEVERUNGEN, D.; MÜLLER, O.: Process Mining of Knowledge-Intensive Processes: An Action Design Research Study in Manufacturing. International Conference on Business Process Management, Springer, Cham, 2022, pp. 251–267

[Lec20] LECHNER, P.: BMW: Process Mining @ Production. In: Reinkemeyer, L. (Ed.): Process mining in action – Principles, use cases and outlook. Springer, Cham, 2020, pp. 65–73

[LFC11] LINDEN, M.; FELDEN, C.; CHAMONI, P.: Dimensions of Business Process Intelligence. International Conference on Business Process Management, Springer, Berlin, Heidelberg, 2011, pp. 208–213

[Lip21] LIPSMEIER, A.: Systematik zur Entwicklung von Digitalisierungsstrategien für Industrieunternehmen. Universität Paderborn, 2021

[LMD23] LASHKEVICH, K.; MILANI, F.; DANYLYSHYN, N.: Analysis templates for identifying improvement opportunities with process mining, 2023

[LPW19] LEEMANS, S. J. J.; POPPE, E.; WYNN, M. T.: Directly follows-based process mining: Exploration & a case study. In: IEEE (Hrsg.): 2019 International Conference on Process Mining (ICPM), 2019, S. 25–32

[LSS+21] LORENZ, R.; SENONER, J.; SIHN, W.; NETLAND, T.: Using process mining to improve productivity in make-to-stock manufacturing. *International Journal of Production Research*, (59)16, 2021, S. 4869–4880

[Mas11] MAST, J. DE: The tactical use of constraints and structure in diagnostic problem solving. *Omega*, (39)6, 2011, S. 702–709

[MBB20] MERTENS, K.; BERNERSTÄTTER, R.; BIEDERMANN, H.: *Value Stream Mapping and Process Mining: A Lean Method Supported by Data Analytics*. Hannover publish-Ing, 2020

[MBW+22] MAMUDU, A.; BANDARA, W.; WYNN, M. T.; LEEMANS, S. J. J.: A Process Mining Success Factors Model. In: Di Ciccio, C.; Dijkman, R.; Del Río Ortega, A.; Rinderle-Ma, S. (Eds.): *Business Process Management – 20th International Conference, BPM 2022, Münster, Germany, September 11–16, 2022, Proceedings*. Lecture Notes in Computer Science, 13420, Springer International Publishing; Imprint Springer, Cham, 2022, pp. 143–160

[MBW+24] MAMUDU, A.; BANDARA, W.; WYNN, M. T.; LEEMANS, S. J. J.: Process Mining Success Factors and Their Interrelationships. *Business & Information Systems Engineering*, 2024

[Mey24] MEYER, M.: *Systematik zur Planung und Verwertung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung*. Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn, 2024

[MFB+19] MOURTZIS, D.; FOTIA, S.; BOLI, N.; VLACHOU, E.: Modelling and quantification of industry 4.0 manufacturing complexity based on information theory: a robotics case study. *International Journal of Production Research*, (57)22, 2019, S. 6908–6921

[MFK+21] MARTIN, N.; FISCHER, D. A.; KERPEDZHIEV, G. D.; GOEL, K.; LEEMANS, S. J. J.; RÖGLINGER, M.; VAN DER AALST, W. M. P.; DUMAS, M.; LA ROSA, M.; WYNN, M. T.: Opportunities and Challenges for Process Mining in Organizations: Results of a Delphi Study. *Business & Information Systems Engineering*, (63)5, 2021, S. 511–527

[MGK20] MÖLDNER, A. K.; GARZA-REYES, J. A.; KUMAR, V.: Exploring lean manufacturing practices' influence on process innovation performance. *Journal of Business Research*, (106), 2020, S. 233–249

[Mit97] MITCHELL, T. M.: *Machine learning*. McGraw-Hill, Singapore, 1997

[MKB+19] MANNHARDT, F.; KOSCHMIDER, A.; BARACALDO, N.; WEIDLICH, M.; MICHAEL, J.: Privacy-Preserving Process Mining. *Business & Information Systems Engineering*, (61)5, 2019, S. 595–614

[ML12] MAST, J. DE; LOKKERBOL, J.: An analysis of the Six Sigma DMAIC method from the perspective of problem solving. *International Journal of Production Economics*, (139)2, 2012, S. 604–614

[MLM+22] MILANI, F.; LASHKEVICH, K.; MAGGI, F. M.; DI FRANCESCOMARINO, C.: Process Mining: A Guide for Practitioners. In: Guizzardi, R.; Ralyté, J.; Franch, X. (Hrsg.): RESEARCH CHALLENGES IN INFORMATION SCIENCEETHICS AND TRUSTWORTHINESS IN. Lecture Notes in Business Information Processing, Springer, [S.1.], 2022, S. 265–282

[MMF+22] MUÑOZ-GAMA, J.; MARTIN, N.; FERNANDEZ-LLATAS, C.; JOHNSON, O. A.; SEPÚLVEDA, M.; HELM, E.; GALVEZ-YANJARI, V.; ROJAS, E.; MARTINEZ-MILLANA, A.; ALOINI, D.; AMANTEA, I. A.; ANDREWS, R.; ARIAS, M.; BEEREPOOT, I.; BENEVENTO, E.; BURATTIN, A.; CAPURRO, D.; CARMONA, J.; COMUZZI, M.; DALMAS, B.; LA FUENTE, R. DE; DI FRANCESCOMARINO, C.; DI CICCIO, C.; GATTA, R.; GHIDINI, C.; GONZALEZ-LOPEZ, F.; IBÁÑEZ-SANCHO, G.; KLASKY, H. B.; PRIMA KURNIATI, A.; LU, X.; MANNHARDT, F.; MANS, R.; MARCOS, M.; MEDEIROS DE CARVALHO, R.; PEGORARO, M.; POON, S. K.; PUFAHL, L.; REIJERS, H. A.; REMY, S.; RINDERLE-MA, S.; SACCHI, L.; SEOANE, F.; SONG, M.; STEFANINI, A.; SULIS, E.; HOFSTEDE, A. H. M. TER; TOUSSAINT, P. J.; TRAVER, V.; VALERO-RAMON, Z.; VAN WEERD, I. DE; VAN DER AALST, W. M. P.; VANWERSCH, R.; WESKE, M.; WYNN, M. T.; ZERBATO, F.: Process mining for healthcare: Characteristics and challenges. *Journal of Biomedical Informatics*, (127), 2022, S. 103994

[MN07] MYERS, M. D.; NEWMAN, M.: The qualitative interview in IS research: Examining the craft. *Information and Organization*, (17)1, 2007, S. 2–26

[Mö123-ol] MÖLLER, M.: MES-Systeme Marktübersicht: Anbieter, Auswahl und Trends im Überblick. Unter: <https://www.gbo-datacomp.de/post/mes-systeme-marktubersicht>, Aufgerufen am 24. Juni 2024

[MOR23] MARIS, A.; ONGENA, G.; RAVESTEIJN, P.: Business Process Management Maturity and Process Performance - A Longitudinal Study. In: Di Francescomarino, C.; Burattin, A.; Janiesch, C.; Sadiq, S. (Eds.): Business Process Management Forum – BPM 2023 Forum, Utrecht, The Netherlands, September 11–15, 2023, Proceedings. International Conference on Business Process Management, Lecture Notes in Business Information Processing, Volume 490, Springer Nature Switzerland; Imprint Springer, Cham, 2023, pp. 355–371

[MRB+13] MANS, R.; REIJERS, H.; BERENDS, H.; BANDARA, W.; PRINCE, R.; CONNOLLY, R.; VAN HECK, E.; SPIEKERMANN, S.: Business process mining success. *Proceedings of the 21st European Conference on Information Systems*, 9789039361122, 2013

[MS95] MARCH, S. T.; SMITH, G. F.: Design and natural science research on information technology. *Decision Support Systems*, (15)4, 1995, S. 251–266

[MvW+23] MENDLING, J.; VAN DER AALST, W.; WINKLMANN, P.; GROTH, P.; BUDEWIG, J.; FEICHTLBAUER, C.; WELTE, A.; PISCHEL, C.; SCHWARZ, J.;

EBNER, L.: Studie: Process Mining – Die Zukunft der Prozessoptimierung im Mittelstand, 2023

[MWG+20] McMEEKIN, N.; WU, O.; GERMENI, E.; BRIGGS, A.: How methodological frameworks are being developed: evidence from a scoping review. *BMC medical research methodology*, (20)1, 2020, S. 173

[NLA+21] NIEWÖHNER, N.; LANG, N.; ASMAR, L.; RÖLTGEN, D.; KÜHN, A.; DUMITRESCU, R.: Towards an ambidextrous innovation management maturity model. *Procedia CIRP*, (100), 2021, S. 289–294

[Nor34] NORDSIECK, F.: Grundlagen der Organisationslehre. Stuttgart Poeschel, 1934

[NVM13] NICKERSON, R. C.; VARSHNEY, U.; MUNTERMANN, J.: A method for taxonomy development and its application in information systems. *European Journal of Information Systems*, (22)3, 2013, S. 336–359

[NZP+21] NAWCKI, M. L.; ZANON, G. N.; PAULA SANTOS, L. C. DE; SANTOS, E. A. P.; SZEJKA, A. L.; LIMA, E. P. DE: Process Mining and Value Stream Mapping: An Incremental Approach. *International Conference of Production Research – Americas*, Springer, Cham, 2021, pp. 171–183

[PCA14] PRAT, N.; COMYN-WATTIAU, I.; AKOKA, J.: ARTIFACT EVALUATION IN INFORMATION SYSTEMS DESIGN-SCIENCE RESEARCH – A HOLISTIC VIEW. *PACIS 2014 Proceedings*, 2014

[PCC+93] PAULK, M. C.; CURTIS, B.; CRISSIS, M. B.; WEBER, C. V.: Capability maturity model, version 1.1. *IEEE Software*, (10)4, 1993, S. 18–27

[Pfe16] PFEIFFER, S.: Robots, Industry 4.0 and Humans, or Why Assembly Work Is More than Routine Work. *Societies*, (6)2, 2016, S. 16

[PJR+18] PANWAR, A.; JAIN, R.; RATHORE, A. P. S.; NEPAL, B.; LYONS, A. C.: The impact of lean practices on operational performance – an empirical investigation of Indian process industries. *Production Planning & Control*, (29)2, 2018, S. 158–169

[PR17] PEREIRA, A. C.; ROMERO, F.: A review of the meanings and the implications of the Industry 4.0 concept. *Procedia Manufacturing*, (13), 2017, S. 1206–1214

[PTR+07] PEFFERS, K.; TUUNANEN, T.; ROTHENBERGER, M. A.; CHATTERJEE, S.: A Design Science Research Methodology for Information Systems Research. *Journal of Management Information Systems*, (24)3, 2007, S. 45–77

[RB05] ROSEMAN, M.; BRUIN, T. DE: Towards a Business Process Management Maturity Model. *ECIS 2005 Proceedings of the Thirteenth European Conference on Information Systems*, 3-937195-09-2, 2005

[RB22] ROTT, J.; BÖHM, M.: Mine the right process–towards a method for selecting a suitable use case for process mining adoption, 2022

[Rei20] REINKEMEYER, L.: *Process mining in action*, 2020

[Rei24] REINKEMEYER, L.: *PROCESS INTELLIGENCE IN ACTION – Taking process mining to the next level*. SPRINGER INTERNATIONAL PU, [S.I.], 2024

[RF12] REBUGE, Á.; FERREIRA, D. R.: Business process analysis in healthcare environments: A methodology based on process mining. *Information Systems*, (37)2, 2012, S. 99–116

[RGE+22] REINKEMEYER, L.; GRINDEMANN, P.; EGLI, V.; RÖGLINGER, M.; MARCUS, L.; FABRI, L.: *Accelerating Business Transformation with Process Mining Centers of Excellence (CoEs)*, 2022

[RK13] RICHARDS, N. M.; KING, J. H.: Three Paradoxes of Big Data. *Stanford Law Review Online*, (66), 2013, S. 41

[RKD17] REINHART, F.; KÜHN, A.; DUMITRESCU, R.: Schichtenmodell für die entwicklung von data science anwendungen im maschinen-und anlagenbau. *Wissenschaftsforum Intelligente Technische Systeme (WInTeSys)*. Heinz Nixdorf MuseumsForum, 2017, S. 321–334

[RLD20] RAUCH, E.; LINDER, C.; DALLASEGA, P.: Anthropocentric perspective of production before and within Industry 4.0. *Computers & Industrial Engineering*, (139), 2020, S. 105644

[Roc79] ROCKART, J. F.: Chief executives define their own data needs, 1979

[RPB12] RÖGLINGER, M.; PÖPPELBUß, J.; BECKER, J.: Maturity models in business process management. *Business Process Management Journal*, (18)2, 2012, S. 328–346

[RSM+22] RINDERLE-MA, S.; STERTZ, F.; MÄNGLER, J.; PAUKER, F.: Process Mining—Discovery, Conformance, and Enhancement of Manufacturing Processes: *DIGITAL TRANSFORMATION – Core technologies and emerging topics from a*. Springer Vieweg, [S.I.], 2022, pp. 363–383

[Run16] RUNKLER, T. A.: *Data Analytics*. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2016

[Rv08] ROZINAT, A.; VAN DER AALST, W.: Conformance checking of processes based on monitoring real behavior. *Information Systems*, (33)1, 2008, S. 64–95

[Sch24-ol] SCHAFFRY, A.: SAP S/4HANA ist das Maß der Dinge – Studie zu ERP-Trends. Unter: <https://www.computerwoche.de/a/sap-s-4hana-ist-das-mass-der-dinge,3698093>, Aufgerufen am 24. Juni 2024

[SEI10] SOFTWARE ENGINEERING INSTITUTE: *CMMI for Development, Version 1.3*. Carnegie Mellon University, 2010

[SG16] SIEPMANN, D.; GRAEF, N.: Industrie 4.0 – Grundlagen und Gesamtzusammenhang. In: Roth, A. (Hrsg.): *Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2016, S. 17–82

[She00] SHEARER, C.: The CRISP-DM model: the new blueprint for data mining, 2000

[SHP+11] SEIN; HENFRIDSSON; PURAO; ROSSI; LINDGREN: Action Design Research. MIS Quarterly, (35)1, 2011, S. 37

[SHP+11] SEIN; HENFRIDSSON; PURAO; ROSSI; LINDGREN: Action Design Research. MIS Quarterly, (35)1, 2011, S. 37

[SLE+20] SYED, R.; LEEMANS, S. J. J.; EDEN, R.; BUIJS, J. A. C. M.: Process Mining Adoption. In: Fahland, D.; Ghidini, C.; Becker, J.; Dumas, M. (Eds.): Business Process Management Forum – BPM Forum 2020, Seville, Spain, September 13–18, 2020, Proceedings. Springer eBook Collection, 392, Springer International Publishing; Imprint Springer, Cham, 2020, pp. 229–245

[SLv+24] STEIN DANI, V.; LEOPOLD, H.; VAN DER WERF, J. M. E. M.; BEEREPOOT, I.; REIJERS, H. A.: From Loss of Interest to Denial: A Study on the Terminators of Process Mining Initiatives. In: Guizzardi, G.; Santoro, F.; Mourtadis, H.; Soffer, P. (Eds.): Advanced Information Systems Engineering – 36th International Conference, CAiSE 2024, Limassol, Cyprus, June 3–7, 2024, Proceedings. Lecture Notes in Computer Science, 14663, Springer Nature Switzerland; Imprint Springer, Cham, 2024, pp. 371–386

[SM19] SMIT, K.; MENS, J.: Process Mining in The Rail Industry: A Qualitative Analysis of Success Factors and Remaining Challenges: Humanizing Technology for a Sustainable Society. University of Maribor Press, 2019

[SO13] SCHUTT, R.; O'NEIL, C.: Doing data science – Straight talk from the front-line. O'Reilly, Beijing, 2013

[SS14] SCHUH, G.; SCHMIDT, C. (Hrsg.): Produktionsmanagement. VDI-Buch, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2014

[SS20] SCHMELZER, H. J.; SESSELMANN, W.: Geschäftsprozessmanagement in der Praxis – Kunden zufriedenstellen, Produktivität steigern, Wert erhöhen. 9. Auflage, Hanser, München, 2020

[SSE+14] STEENSTRUP, K.; SALLAM, R. L.; ERIKSEN, L.; JACOBSON, S. F.: Industrial Analytics Revolutionizes Big Data in the Digital Business, 2014

[SSH+18] SISINNI, E.; SAIFULLAH, A.; HAN, S.; JENNEHAG, U.; GIDLUND, M.: Industrial Internet of Things: Challenges, Opportunities, and Directions. IEEE Transactions on Industrial Informatics, (14)11, 2018, S. 4724–4734

[Sta04] STAHL, W.: Industrie-Zentrifugen. DRM Press, Landau, 2004

[Sv12] SONNENBERG, C.; VOM BROCKE, J.: Evaluations in the Science of the Artificial – Reconsidering the Build-Evaluate Pattern in Design Science Research. In: Peffers, K. (Ed.): Design science research in information systems – Advances in theory and practice ; 7th international conference, DESRIST 2012, Las Vegas, NV, USA, May 14 - 15, 2012 ; proceedings.

Lecture Notes in Computer Science, 7286, Springer, Berlin, 2012, pp. 381–397

[TCL+22] TORTORELLA, G.; CAUCHICK-MIGUEL, P. A.; LI, W.; STAINES, J.; MCFARLANE, D.: What does operational excellence mean in the Fourth Industrial Revolution era? International Journal of Production Research, (60)9, 2022, S. 2901–2917

[TFB18] THIEDE, M.; FUERSTENAU, D.; BEZERRA BARQUET, A. P.: How is process mining technology used by organizations? A systematic literature review of empirical studies. Business Process Management Journal, (24)4, 2018, S. 900–922

[TQL+18] TAO, F.; QI, Q.; LIU, A.; KUSIAK, A.: Data-driven smart manufacturing. Journal of Manufacturing Systems, (48), 2018, S. 157–169

[TTR16] TARHAN, A.; TURETKEN, O.; REIJERS, H. A.: Business process maturity models: A systematic literature review. Information and Software Technology, (75), 2016, S. 122–134

[Uli13] ULICH, E.: Arbeitssysteme als soziotechnische Systeme-eine Erinnerung. Journal Psychologie des Alltagshandelns, (6)1, 2013, S. 4–12

[UvB+20] UYSAL, M. S.; VAN ZELST, S. J.; BROCKHOFF, T.; GHAFAROKHI, A. F.; POURBAFRANI, M.; SCHUMACHER, R.; JUNGLAS, S.; SCHUH, G.; VAN DER AALST, W.: Process mining for production processes in the automotive industry, 2020

[vBB+18] VAN DER AALST, W. M. P.; BECKER, J.; BICHLER, M.; BUHL, H. U.; DIBBERN, J.; FRANK, U.; HASENKAMP, U.; HEINZL, A.; HINZ, O.; HUI, K.-L.; JARKE, M.; KARAGIANNIS, D.; KLIEWER, N.; KÖNIG, W.; MENDLING, J.; MERTENS, P.; ROSSI, M.; VOSS, S.; WEINHARDT, C.; WINTER, R.; ZDRAVKOVIC, J.: Views on the Past, Present, and Future of Business and Information Systems Engineering. Business & Information Systems Engineering, (60)6, 2018, S. 443–477

[vC22] VAN DER AALST, W. M. P.; CARMONA, J.: Scaling Process Mining to Turn Insights into Actions. In: van der Aalst, W. M. P.; Carmona, J. (Hrsg.): PROCESS MINING – First summer school, pmss 2022, aachen, germany. Lecture Notes in Business Information Processing, Springer, [S.I.], 2022, S. 495–502

[vdA16] VAN DER AALST, W.: Process Mining. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2016

[vdA19] VAN DER AALST, W. M.: A practitioner's guide to process mining: Limitations of the directly-follows graph. Procedia Computer Science, (164), 2019, S. 321–328

[vdA22] VAN DER AALST, W. M. P.: Process Mining: A 360 Degree Overview. In: van der Aalst, W. M. P.; Carmona, J. (Hrsg.): PROCESS MINING –

First summer school, pmss 2022, aachen, germany. Lecture Notes in Business Information Processing, Springer, [S.l.], 2022, S. 3–34

[vdH12] VAN DER HEIJDEN, T. H.: Process mining project methodology: developing a general approach to apply process mining in practice, 2012

[vdL21] VAN DER LINDEN, E.-J.: Successful process improvement – A practice-based method to embed process mining in enterprises. Tilia Cordata IT B.V., Netherlands, 2021

[vJM+21] VOM BROCKE, J.; JANS, M.; MENDLING, J.; REIJERS, H. A.: A Five-Level Framework for Research on Process Mining. *Business & Information Systems Engineering*, (63)5, 2021, S. 483–490

[VK04] VAISHNAVI, V.; KUECHLER, B.: DESIGN SCIENCE RESEARCH IN INFORMATION SYSTEMS, 2004/21

[vLL+15] VAN ECK, M. L.; LU, X.; LEEMANS, S. J. J.; VAN DER AALST, W. M. P.: PM²: A Process Mining Project Methodology. In: Zdravkovic, J.; Kirikova, M.; Johannesson, P. (Eds.): Advanced information systems engineering – 27th international conference, CAiSE 2015, Stockholm, Sweden, June 8-12, 2015 ; proceedings. Lecture notes in computer science Information systems and applications, incl. Internet/web and HCI, 9097, Springer, Cham, 2015, pp. 297–313

[vML+21] VAN ZELST, S. J.; MANNHARDT, F.; LEONI, M. DE; KOSCHMIDER, A.: Event abstraction in process mining: literature review and taxonomy. *Granular Computing*, (6)3, 2021, S. 719–736

[VPK+19] VÖSSING, M.; POTTHOFF, F.; KÜHL, N.; SATZGER, G.: DESIGNING USEFUL TRANSPARENCY TO IMPROVE PROCESS PERFORMANCE—EVIDENCE FROM AN AUTOMATED PRODUCTION LINE. *Research Papers*, 2019

[vSv16] VAN ECK, M. L.; SIDOROVA, N.; VAN DER AALST, W.: Enabling process mining on sensor data from smart products: 2016 IEEE Tenth International Conference on Research Challenges in Information Science (RCIS). 2016 IEEE Tenth International Conference on Research Challenges in Information Science (RCIS), 2016, S. 1–12

[vvG+21] VOM BROCKE, J.; VAN DER AALST, W. M. P.; GRISOLD, T.; KREMSER, W.; MENDLING, J.; PENTLAND, B.; RECKER, J.; ROEGLINGER, M.; ROSEMANN, M.; WEBER, B.: Process Science: The Interdisciplinary Study of Continuous Change, 2021

[vWH+20] VOM BROCKE, J.; WINTER, R.; HEVNER, A.; MAEDCHE, A.: Special Issue Editorial –Accumulation and Evolution of Design Knowledge in Design Science Research: A Journey Through Time and Space. *Journal of the Association for Information Systems*, (21)3, 2020, S. 520–544

[vWM04] VAN DER AALST, W.; WEIJTERS, T.; MARUSTER, L.: Workflow mining: discovering process models from event logs. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, (16)9, 2004, S. 1128–1142

[Wes17] WESTERMANN, T.: Systematik zur Reifegradmodell-basierten Planung von Cyber-Physical Systems des Maschinen- und Anlagenbaus, UB-PAD - Paderborn University Library, 2017

[Wes19] WESKE, M.: Business Process Management – Concepts, Languages, Architectures. 3. Auflage, Springer Berlin Heidelberg; Imprint: Springer, Berlin, Heidelberg, 2019

[Wil13] WILSON, C.: Brainstorming and Beyond – A User-Centered Design Method. Elsevier Science, 2013

[WRE+23] WELLER, J.; ROESMANN, D.; EGGERT, S.; ENZBERG, S. VON; GRÄBLER, I.; DUMITRESCU, R.: Identification and prediction of standard times in machining for precision steel tubes through the usage of data analytics. *Procedia CIRP*, (119), 2023, S. 514–520

[WSV+13] WEERDT, J. DE; SCHUPP, A.; AN VANDERLOOCK; BAESENS, B.: Process Mining for the multi-faceted analysis of business processes—A case study in a financial services organization. *Computers in Industry*, (64)1, 2013, S. 57–67

[WW02] WEBSTER, J.; WATSON, R. T.: Analyzing the Past to Prepare for the Future: Writing a Literature Review. *MIS Quarterly*, (26)2, 2002, S. xiii–xxiii

[WW22] WEERDT, J. DE; WYNN, M. T.: Foundations of Process Event Data. In: van der Aalst, W. M. P.; Carmona, J. (Hrsg.): *PROCESS MINING – First summer school, pmss 2022, aachen, germany*. Lecture Notes in Business Information Processing, Springer, [S.1.], 2022, S. 193–211

[WZD+24] WEINZIERL, S.; ZILKER, S.; DUNZER, S.; MATZNER, M.: Machine learning in business process management: A systematic literature review. *Expert Systems with Applications*, (253), 2024, S. 124181

[ZEv22] ZUIDEMA-TEMPEL, E.; EFFING, R.; VAN HILLEGERSBERG, J.: Bridging the Gap Between Process Mining Methodologies and Process Mining Practices. In: Di Ciccio, C.; Dijkman, R.; Del Río Ortega, A.; Rinderle-Ma, S. (Eds.): *Business Process Management – 20th International Conference, BPM 2022, Münster, Germany, September 11–16, 2022, Proceedings*. Lecture Notes in Computer Science, 13420, Springer International Publishing; Imprint Springer, Cham, 2022, pp. 70–86

[ZKB+22] ZERBATO, F.; KOORN, J. J.; BEEREPOOT, I.; WEBER, B.; REIJERS, H. A.: On the Origin of Questions in Process Mining Projects. In: Almeida, J. P. A.; Karastoyanova, D.; Guizzardi, G.; Montali, M.; Maggi, F. M.; Fonseca, C. M. (Hrsg.): *Enterprise Design, Operations, and Computing: 26th*

International Conference, EDOC 2022, Bozen-Bolzano, Italy, October 3-7, 2022, Proceedings. Lecture Notes in Computer Science, Springer, Cham, 2022, S. 165–181

[Zol13] ZOLLONDZ, H.-D. (Hrsg.): Grundlagen Lean Management – Einführung in Geschichte, Begriffe, Systeme, Techniken sowie Gestaltungs- und Implementierungsansätze eines modernen Managementparadigmas. Edition Management, De Gruyter; De Gruyter Oldenbourg, Berlin/Boston, 2013

[zS15] ZUR MUEHLEN, M.; SHAPIRO, R.: Business Process Analytics. In: vom Brocke, J.; Rosemann, M. (Hrsg.): Handbook on Business Process Management 2. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2015, S. 243–263

[ZSA21] ZERBINO, P.; STEFANINI, A.; ALOINI, D.: Process Science in Action: A Literature Review on Process Mining in Business Management. Technological Forecasting and Social Change, (172), 2021, S. 121021

Anhang

| Inhaltsverzeichnis | Seite |
|--|------------|
| A1 Ergänzungen zur Problemanalyse | 173 |
| A1.1 Plan-Do-Check-Act (PDCA)..... | 173 |
| A1.2 Define-Measure-Analyze-Improve-Control (DMAIC) | 174 |
| A1.3 Abgrenzung der Datenwissenschaft von dem Process Mining | 175 |
| A1.4 PM Value-Modell für PM in Organisationen nach BADAHKHSHAN ET AL | 176 |
| A1.5 Weitere typische Ergebnisse des PMs | 178 |
| A1.6 Übersicht der Herausforderungen von PM in Organisationen | 180 |
| A2 Ergänzungen zum Stand der Technik..... | 183 |
| A2.1 Weitere Vorgehensmodelle für Process Mining Projekte..... | 183 |
| A2.1.1 L*-Lifecycle Model nach VAN DER AALST..... | 183 |
| A2.1.2 Process Diagnostic Methodology nach BOZKAYA ET AL. | 185 |
| A2.1.3 Business Process Analysis in Healthcare nach REBUGUE UND FERREIRA..... | 186 |
| A2.1.4 PM Project Methodology nach VAN DER HEIJDEN..... | 187 |
| A2.1.5 Methodological Proposal für PM Projekte nach AGUIRRE ET AL..... | 188 |
| A2.1.6 Cross-Industry-Standard-Model for Data Mining (CRISP-DM) | 190 |
| A2.2 Ergänzungen zu allgemeinen Ansätzen | 190 |
| A2.2.1 Ergänzungen zu dem Management von PM Portfolios nach FISCHER..... | 190 |
| A2.2.2 Methode zur Bewertung und Einführung von PM nach GIELSTRA | 195 |
| A2.3 Weitere Ansätze zur Identifikation und Bewertung von PM Use Cases in Organisationen..... | 198 |
| A2.3.1 Ergänzung zu der Übersicht der typischen Fragen im PM nach MILANI ET AL..... | 198 |
| A2.4 Weitere Ansätze zur Unterstützung von PM Projekten..... | 201 |
| A2.4.1 Vorgehen zur Erstellung eines Event Logs aus Datenbanken nach JANS..... | 201 |
| A2.4.2 Event Log Engineering nach ACCORSI UND LEBHERZ | 202 |
| A2.4.3 Discovery Recommendation Framework von AL-ABSI UND R'BIGUI..... | 203 |

| | |
|--|------------|
| A2.5 Weitere Ansätze zur Reifegradbestimmung | 204 |
| A2.5.1 Ergänzungen zur den kritischen Erfolgsfaktoren nach MAMUDU ET AL..... | 204 |
| A2.5.2 Untersuchung der Terminatoren von PM Initiativen in Organisationen | 208 |
| A3 Ergänzungen zur Systematik..... | 210 |
| A3.1 Ergänzungen zu Vorgehensmodellen und Hilfsmitteln | 210 |
| A3.1.1 Ergänzung zum Handout..... | 210 |
| A3.1.2 Ergänzung zum RVM | 212 |
| A3.1.3 Ergänzungen zum Katalog mit typischen Analysefragen..... | 212 |
| A3.1.4 Process Mining Quick-Check..... | 213 |
| A3.1.5 Das vollständige P3M..... | 215 |
| A3.1.6 Ergänzungen zu den Reifegradprofilen | 220 |
| A3.1.7 Ergänzungen zu den Steckbriefen mit Anwendungsszenarien | 224 |
| A3.1.8 Ergänzungen zu den typischen Handlungsmaßnahmen zur Reifegradsteigerung | 226 |
| A3.2 Ergänzungen zu den Forschungsmethoden | 229 |
| A3.2.1 Forschungsmethode für die Definition und Strukturierung von PM Use Cases in Organisationen und die Steckbriefe der fortgeschrittenen Anwendungsszenarien..... | 229 |
| A3.2.2 Forschungsmethode für die Workshopmethode zur Identifikation von PM Use Cases in Fertigungsprozessen..... | 235 |
| A3.2.3 Forschungsmethode für die PM Data Canvas | 237 |
| A3.2.4 Forschungsmethode für das Rahmenwerk zur Vorverarbeitung von Sensordaten | 237 |
| A3.2.5 Forschungsmethode für das P3M und die typischen Maßnahmen zur Reifegradsteigerung | 239 |
| A3.2.6 Forschungsmethode für die Herleitung der Reifegradprofile ... | 245 |
| A3.2.7 Forschungsmethode zur interviewbasierten Evaluation der Systematik..... | 247 |

Für Auszüge des Anhangs wurde eine Übersetzungssoftware verwendet, um die eigenveröffentlichten Originalquellen ins Deutsche zu übersetzen. Nach Nutzung der Software wurden die Übersetzungen sorgfältig auf Grammatik und Sprache geprüft.

A1 Ergänzungen zur Problemanalyse

In diesem Abschnitt werden Ergänzungen zur Problemanalyse des Abschnitts 2 präsentiert. Die Reihenfolge folgt dem Aufbau der Arbeit.

A1.1 Plan-Do-Check-Act (PDCA)

In Abschnitt 2.3.2 wird das Lean Management vorgestellt. Der PDCA-Zyklus ist ein zentrales Anwendungs- und Beschreibungsmodell im Lean Management. Wie viele Ansätze des Lean Managements entstammt der PDCA-Zyklus dem Qualitätsmanagement. Das Vorgehen besteht aus den vier Phasen Plan (dt. Planen), Do (dt. Ausführen), Check (dt. Überprüfen) und Act (dt. Verbessern). Der PDCA als **Anwendungsmodell** stellt einen Regelkreis dar, welcher in Bild A-1 dargestellt ist. [Zol13, S. 13f., HFS21, S. 173ff.].

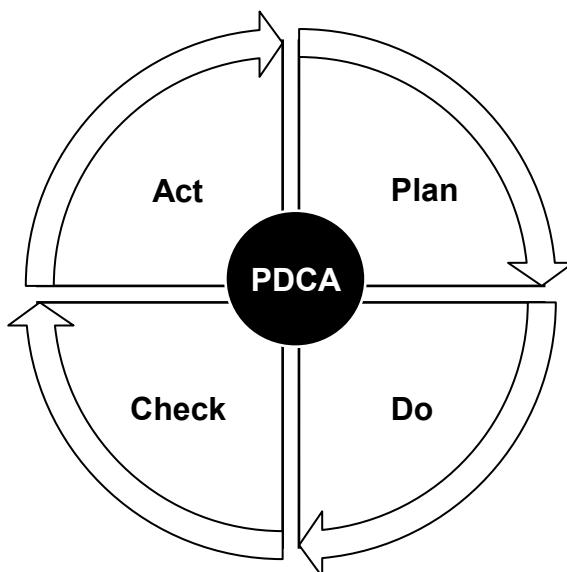


Bild A-1: Der PDCA-Zyklus in Anlehnung an [Zol13, S. 13]

Jede Prozessverbesserung startet mit dem **Plan**-Schritt. Es muss ein konkreter Plan zur Lösung eines Problems entwickelt werden. Dieser muss einerseits detailliert ausgearbeitet und andererseits sowohl verständlich als auch ausführbar sein. [Zol13, S. 13f., HFS21, S. 173ff.].

Im **Do**-Schritt wird der Plan umgesetzt. In diesem Schritt geht es um das prototypische Umsetzen von möglichen Verbesserungsmaßnahmen. Der Schritt sollte als „Probierschritt“ verstanden werden und stellt noch keine abschließende Verbesserung des Prozesses dar. [Zol13, S. 13f., HFS21, S. 173ff.].

Im anschließenden **Check**-Schritt geht es um die Prüfung und Messung, ob die Maßnahmen des Do-Schrittes das erforderliche Ziel erreicht haben. Sowohl im Do- als auch im Check-Schritt ist es prinzipiell möglich, einen weiteren, kleinen PDCA-Zyklus zu starten, indem neue Erkenntnisse zu einer Verfeinerung der Planung führen. [Zol13, S. 13f., HFS21, S. 173ff.].

Der **Act**-Schritt beendet den aktuellen PDCA-Zyklus und überführt die erprobten und bemessenen Maßnahmen aus dem Do- und Check-Schritt in das Produktionssystem. Anschließend müssen neue PDCA-Zyklen initiiert werden. [Zol13, S. 13f., HFS21, S. 173ff.].

Diese kontinuierliche Abfolge von PDCA-Zyklen veranschaulicht den Aspekt des **Beschreibungsmodells** sehr gut. Ein zentrales Axiom des Lean Managements ist, dass es immer Verbesserungsmöglichkeiten gibt. Folglich sind auch immer PDCA-Zyklen möglich und notwendig. Der PDCA-Zyklus muss zudem aus Sicht der Prozesse gedacht werden und dient niemals der Verbesserung von Einzeltätigkeiten, sondern es muss immer unternehmensübergreifend gedacht werden. [Zol13, S. 13f.].

A1.2 Define-Measure-Analyze-Improve-Control (DMAIC)

In Abschnitt 2.3.2 wird das Six Sigma vorgestellt. Der DMAIC-Zyklus ist der zentrale Projektmanagementansatz im Six Sigma [Zol13, S. 216]. Er umfasst die fünf Phasen Define, Measure, Analyze, Improve und Control, dessen initiale Buchstaben das Akronym DMAIC bilden. Der Zusammenhang der Phasen ist in Bild A-2 dargestellt.

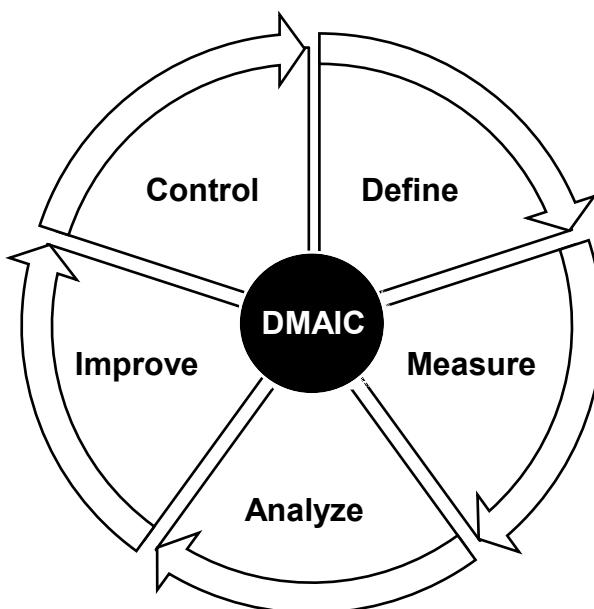


Bild A-2: Der DMAIC-Zyklus in Anlehnung an [Zol13, S. 217]

In der ersten Phase **Define** (dt. Definieren) wird ein Projekt definiert. Dafür müssen relevante Probleme identifiziert und beschrieben werden. Zusätzlich gilt es die zugehörigen Prozesse und die relevanten Stakeholder zu involvieren. Abschließend muss das Ziel und der zu erwartende Mehrwert bestimmt werden. [Zol13, S. 217, ML12].

In der zweiten Phase **Measure** (dt. Messung) werden Daten gesammelt und das Sigma-Niveau des Prozesses bestimmt. Auf Basis der erhobenen Daten werden ggf. die Ziele angepasst. [Zol13, S. 217, ML12].

In der dritten Phase **Analyze** (dt. Analyse) werden die Symptome und Ursachen des Problems beschrieben. [Zol13, S. 217, ML12].

Diese Ursachen für die Probleme können in der vierten Phase **Improve** (dt. Verbesserung) beseitigt werden. Dafür müssen Maßnahmen bestimmt und umgesetzt werden. [Zol13, S. 217, ML12].

In der fünften Phase **Control** (dt. Evaluieren) werden die Effekte der Verbesserungen überprüft. Es muss sichergestellt sein, dass die Maßnahmen langfristig zur Beseitigung der Ursachen für ein Problem beigetragen haben. Diese Evaluierung muss fortlaufend bestehen, um neue Probleme zu identifizieren. Dadurch schließt sich der Kreis und ein Zyklus entsteht. [Zol13, S. 217, ML12].

Alle fünf Phasen werden mit umfangreichen Werkzeugkästen oder Qualitätstechniken begleitet. Diese Qualitätstechniken umfassen bspw. Quality Control Charts [Zol13, S. 214] oder Ishikawa-Diagramme [Zol13, S. 272].

A1.3 Abgrenzung der Datenwissenschaft von dem Process Mining

In Abschnitt 2.4.1 wird die Disziplin PM vorgestellt. Nachfolgenden wird das PM von anderer Disziplin weiter abgegrenzt. Data Mining und PM ähneln sich vom Wortlaut stark. Wie in Bild 2-8 zusammengefasst, unterscheiden sich die beiden Begriffe jedoch.

Tabelle A-1: Gegenüberstellung von Begriffen der Datenwissenschaft und des PMs

| | Data... | Process... |
|------------|--|--|
| ... Mining | <p>“The goal of data mining is to extract knowledge from data. In this context, knowledge is defined as interesting patterns that are generally valid, novel, useful, and understandable to humans. Whether or not the extracted patterns are interesting depends on the application and needs to be verified by application experts.” [Run16, S. 2].</p> | <p>“Process mining techniques are able to extract knowledge from event logs commonly available in today's information systems. These techniques provide new means to discover, monitor, and improve processes in a variety of application domains.” [AAM+12, S. 170].</p> <p>“Process mining [...] sits between machine learning and data mining on the one hand and process modeling and analysis on the other hand.” [vdA16, S. 31].</p> <p>PM ist keine Form des Data Minings, da Data Mining Techniken nicht prozessorientiert sind und keine Parallelität darstellen können. Daher werden neue Formen der</p> |

| | Data... | Process... |
|---------------|---|--|
| | | Darstellung und von Algorithmen benötigt. [AAM+12]. |
| ... Science | <p>„Is the science of data.” [Cao18, S. 4]</p> <p>Data Science umfasst häufig Fähigkeiten im Bereich Mathematik, Statistik, Computerwissenschaft und Domänenverständnis. [SO13, S. 6ff.]</p> | <p>“Process science is the interdisciplinary study of continuous change. By process, we mean a coherent series of changes that unfold over time and occur at multiple levels” [vvG+21, S. 3].</p> <p>“We use the umbrella term ‘process science’ to refer to the broader discipline that combines knowledge from information technology and knowledge from management sciences to improve and run operational processes” [vdA16, S. 15].</p> |
| ... Analytics | <p>„Refers to the theories, technologies, tools, and processes that enable an in-depth understanding and discovery of actionable insight into data. Data analytics consists of descriptive analytics, predictive analytics, and prescriptive analytics” [Cao18, S. 4].</p> | <p>“Business analytics is the family of methods and tools that can be applied to process execution data in order to support decision-making in organizations” [BBS+16, S. 15].</p> <p>Häufig unterteilt sich Process Analytics in drei Level [BBS+16, S. 15ff., zS15, S. 243f.]:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Nutzung von Daten aus abgeschlossenen Prozessen (Process Controlling) 2. Nutzung von Daten aus laufenden Prozessen (Business Activity Monitoring) 3. Nutzung von Daten für zukünftige Prozesse (Process Intelligence) |

A1.4 PM Value-Modell für PM in Organisationen nach BADAHKHS-HAN ET AL.

In Abschnitt 2.4.3 werden Use Cases und Mehrwerte für Organisationen thematisiert. BADAHKHSHAN ET AL. [BWG+22] untersuchen mithilfe von acht Case Studies in

Unternehmen, wie Organisationen durch PM Mehrwerte für sich schaffen (vgl. Abschnitt 2.4.1). Sie konzeptualisieren PM dabei als IT-Technologie und wenden die Theorie des Angebotscharakters an. In der Theorie des Angebotscharakters bedingen sich technologische Möglichkeiten, Nutzungsweisen und erwartete Mehrwerte untereinander. Für klassische Business Intelligence Lösungen können technologische Möglichkeiten bspw. die Mustererkennung sein, welche dazu genutzt wird, um proaktiv auf Kunden zuzugehen, um den Mehrwert der Absatzerhöhung zu erzielen. Die Autoren leiten vier essenzielle Komponenten für PM in Organisationen her: **Process Mining Features**, **Affordance-Based Value Creation**, **Business Values** und **Organisational Structure & Governance**. Diese sind in Bild A-3 dargestellt. So erlauben bspw. PM Tools das Berechnen von besonderen Prozesskennzahlen, ohne dass die Rechenregeln selbst angelegt werden müssen.

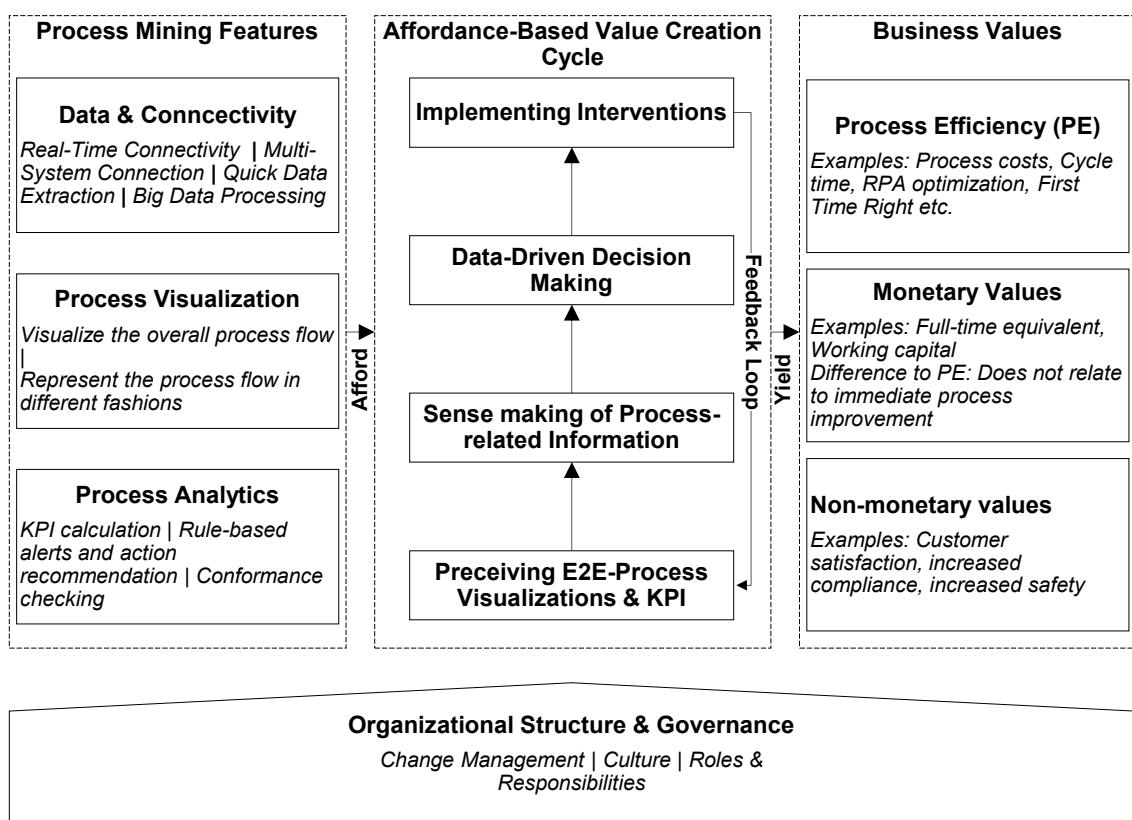


Bild A-3: Konzeptualisierung von PM in der Theorie des Angebotscharakters nach BADAHKHSHAN ET AL. [BWG+22]

Diese technologische Möglichkeit bietet die Nutzungsweise an, datenbasiert Entscheidungen zu treffen, wodurch bspw. die Prozesseffizienz erhöht wird. Als Beispiel könnte die Kennzahl der Prozesskonformität angezeigt werden, die dazu genutzt wird, um sich für das Durchführen einer Schulung zu entscheiden, wodurch die Konformität gesteigert wird. Da das Erkennen von End-To-End-Prozessen sehr zeitnah und ohne großen Aufwand möglich ist, besteht zwischen der Implementierung von Interventionen und dem Wahrnehmen von End-To-End-Prozessen eine **Feedback-Schleife**, da Interventionen direkt wahrgenommen werden können.

Fazit: BADAHKHSHAN ET AL. schlüsseln als die Mechanismen und Funktionsweisen der PM Nutzung in Organisationen auf. Durch die Konzeptualisierung des PMs im Rahmen der Angebotscharaktertheorie wird ein neuer Blickwinkel auf das PM und dessen Zusammenhänge geboten. Die Autoren führen als primäre Limitation ihrer Studie den Erfahrungsschatz und das Nutzungsverhalten der Interview-Partner an. Obwohl die Autoren in ihrem Stand der Technik beschreiben, dass PM auch als Komponente für fortgeschrittene Anwendungsszenarien (bspw. in Kombination mit Machine Learning) genutzt werden könnte, werden diese nicht in ihrem Value-Modell identifiziert. Damit einhergehend lassen sich Lücken in den Säulen identifizieren. Beispielsweise ist fraglich, warum ein Prozesseffizienz-, aber kein Prozesseffektivitätselement existiert. In der vorliegenden Arbeit wird die Arbeit von B als Grundlage der Nutzungsszenarien des PMs im Rahmen der Definition und Strukturierung von PM Use Cases in Organisationen verwendet.

A1.5 Weitere typische Ergebnisse des PMs

In Abschnitt 2.4.3 werden DFGs als typische Ergebnisse des PMs vorgestellt. Nachfolgend werden exemplarisch weitere typische Ergebnisse des PMs und die dafür verwendeten PM Tools dargestellt. Es ist nicht der gleiche Prozess dargestellt. Prinzipiell findet sich auf processmining.org, einer Website der RWTH Aachen, eine umfassende Übersicht über alle aktuellen Aspekte des PMs.

In Bild A-4 ist ein, durch die erste Haupttechnik Process Discovery entdecktes, Petri-Netz dargestellt. Im Gegensatz zu DFGs können Petri-Netze sehr gut Parallelität darstellen. Der Prozess zeigt den Behandlungsverlauf eines Patienten.

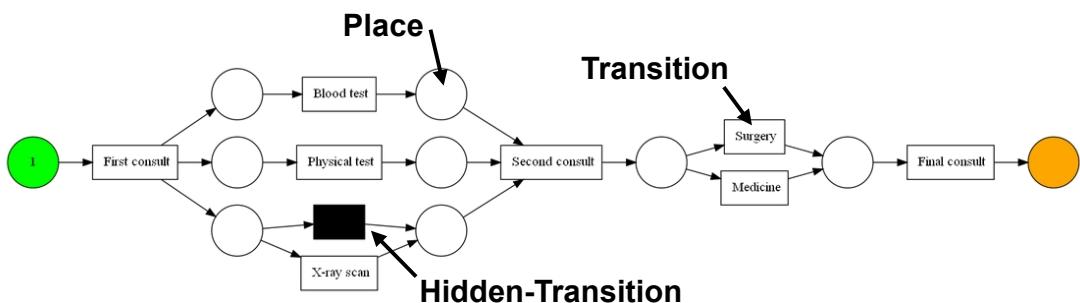


Bild A-4: Haupttechnik 1 Process Discovery: Ein Petri-Netz das mit dem Algorithmus „Inductive-Miner“ hergeleitet wurde. Dargestellt in der Open-Source Python Bibliothek PM4PY

In Bild A-5 ist die zweite Haupttechnik Conformance Checking dargestellt. Dargestellt ist der Verleihprozess eines Miet-Fahrrads per App. In Prozessvariante 2, der 1.486 Cases folgen, wird die Aktivität „Bonität prüfen“ nicht durchgeführt. Die Daten werden mit einem zuvor per Hand erstellten BPMN-Prozessmodell bewertet.

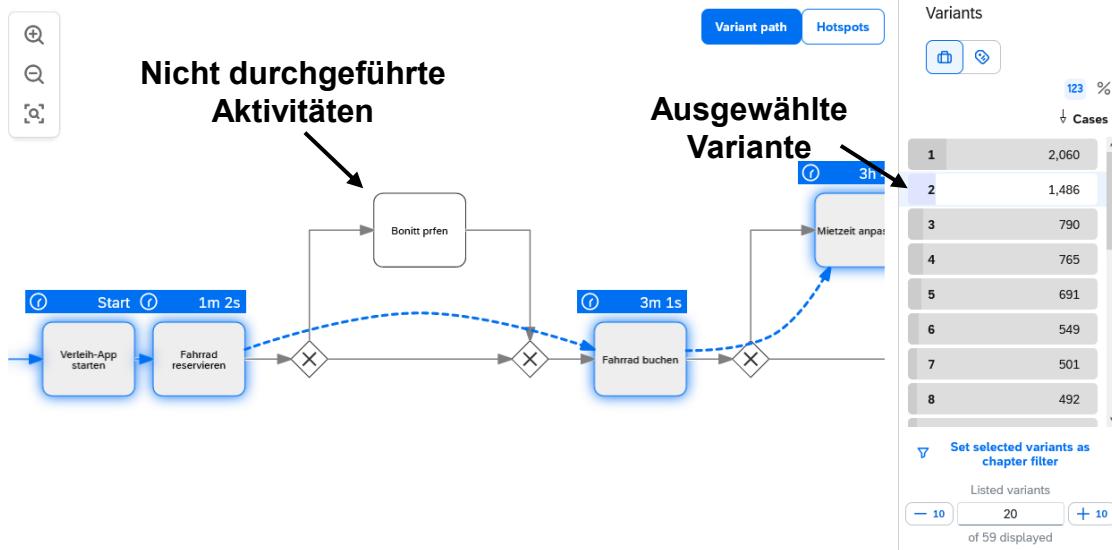


Bild A-5: *Haupttechnik 2 Conformance Checking: In der Prozessvariante 2 wird die Bonitätsprüfung immer übersprungen. Dargestellt im kommerziellen Tool SAP Signavio*

Bild A-6 zeigt die dritte Haupttechnik des Process Enhancements. Dargestellt ist ein mechanischer Vorverarbeitungsprozess in Form eines DFGs, bei dem anstatt der Häufigkeiten durchschnittliche Warte- und Bearbeitungszeiten eingeblendet sind. So kann bspw. erkannt werden, dass 23,8 Stunden zwischen „Turning Q.C.“ und „Laser Marking Machine 7“ liegen.

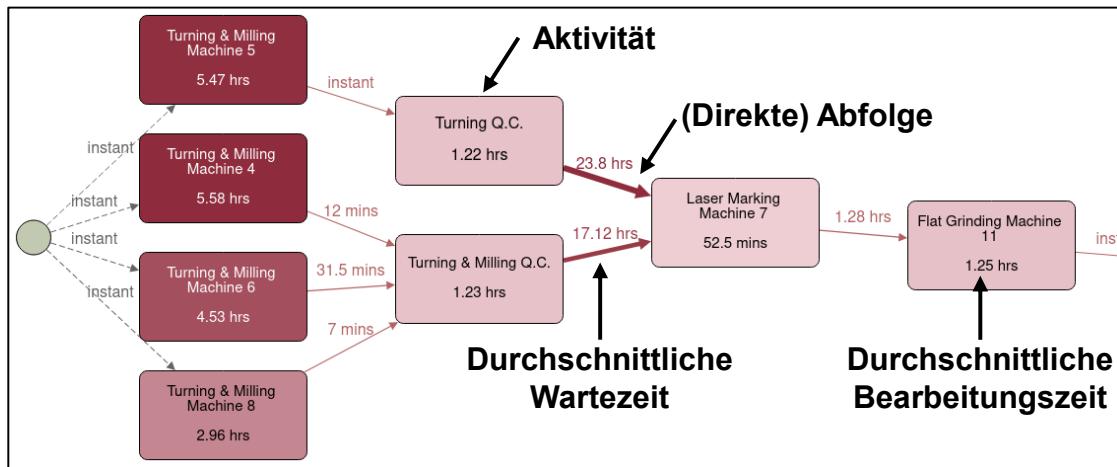


Bild A-6: *Haupttechnik 3 Process Enhancement: Darstellung der Leistung eines Prozesses. Dargestellt in der kostenlosen Community-Version von Apromore*

Neben den Prozessmodellen erlaubt ein vorhandener Event Log noch zahlreiche weitere Darstellungsmöglichkeiten. Beispielsweise lassen sich auch Dashboards zum Monitoring des Prozesses wie in Bild A-7 darstellen. Das Dashboard zeigt den CO2 einer Pizzeria in verschiedenen Formaten. Die in Abschnitt 2.4.1 angesprochene Nähe des PMs zu konventionellem Business Intelligence ist unverkennbar.

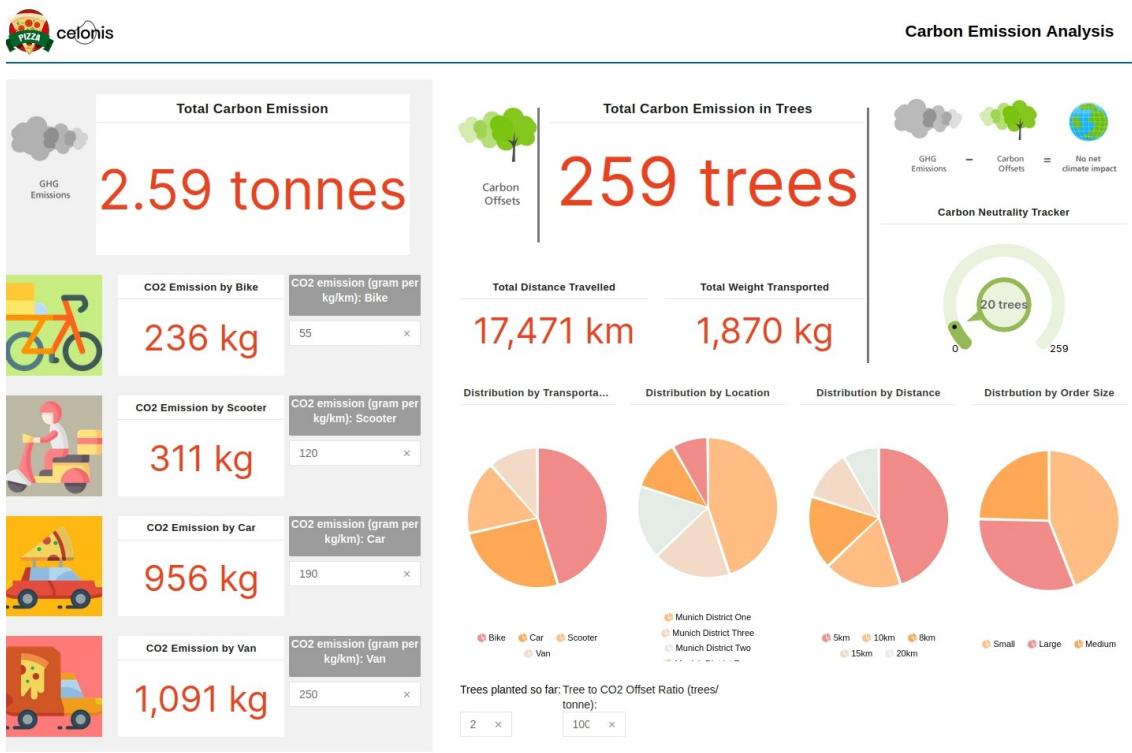


Bild A-7: Ein Monitoring-Dashboard zur Überwachung der CO2 Emissionen im Prozess. Dargestellt im kommerziellen Tool Celonis⁴⁷

A1.6 Übersicht der Herausforderungen von PM in Organisationen

Nachfolgend wird in Ergänzung zu Tabelle 2-2 des Abschnitts 2.4.4 eine vollständige Übersicht aller Herausforderungen von PM in Organisationen in Tabelle A-2 dargestellt. Die MTO-Dimensionen MTO nach ULICH [Uli13] sind zur besseren Strukturierung im Bereich der Technik um die vereinfachten Ebenen des Analytics-Schichtenmodells [RKD17] und im Bereich der Organisation um die Kernelemente des BPM Fähigkeitenmodells [KKR+21] erweitert. Es sei darauf verwiesen, dass sich in der Delphi-Studie von MARTIN ET AL. [MFK+21] eine Vielzahl von weiteren Herausforderungen finden, die hier nicht alle aufgeführt werden. Im Rahmen der Delphi-Studie findet eine Bewertung statt, weshalb hier nur die am relevantesten bewerteten Herausforderungen aufgeführt sind.

⁴⁷ Dieses Dashboard wurde von Celonis erstellt und ist Teil der akademischen Lizenz.

Tabelle A-2: Vollständige Darstellung der Herausforderungen von PM in Organisationen

| Mensch | Technik | Organisation |
|---|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Anwendung von Wissensmanagement im PM [SM19]. • Notwendige technische Fähigkeiten [MFK+21, SLE+20]. • Notwendige Teamzusammensetzung [MFK+21, TFB18]. • Erhöhung der Verständlichkeit für Nicht-PM Experten [AAM+12, SLE+20]. • Verbesserung der Kommunikation von Teams in einer PM Initiative [SLE+20]. | <p>Anwendungsfälle:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Unterstützung von Online-PM [AAM+12]. • Erweiterung auf verschiedene Perspektiven und mehr PM Typen [ZSA21]. • Anwendung von PM auf unterschiedlichere Domänen (bspw. Produktentwicklung) [ZSA21]. • Nutzung von PM für mehr domänenspezifischere Anwendungsfällen (bspw. Sensordaten) [ZSA21, TFB18]. <p>Datennutzung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verringerung des Aufwandes für Datenvorverarbeitung [MFK+21]. • Verbesserung des Analysevorgangs und Auswahl geeigneter Algorithmen [GMO+21, MFK+21, CP13, EAt19]. • Umgang mit komplexen Event Logs, Prozessen und Kontextdaten [AAM+12, SLE+20]. • Umgang mit der schlechenden Veränderung von Prozessen [AAM+12]. | <p>Strategie:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fehlen von Managementunterstützung [KDF+22]. • Auswahl der geeigneten PM Tools [SM19]. • Notwendigkeit und Struktur einer PM Datensammungsstrategie [GMO+21]. • Quantifizierung des (monetären) Mehrwertes [GMO+21, MFK+21, TFB18]. • Beachtung der Erstellung von Event Logs beim Aufbau von IT-Systemen [SM19]. <p>Kultur:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Implikationen auf das Geschäftsklima (bspw. Sorge vor „Gläserner“-Mitarbeitende) [GMO+21, TFB18, KDF+22]. • Erreichen einer Prozess- und Datenorientierung [MFK+21, SLE+20]. • Verhinderung von ungewollten Veränderungen [GMO+21]. <p>Organisation:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aufhängung von PM in der Aufbauorganisation [MFK+21]. |

| Mensch | Technik | Organisation |
|--------|--|--|
| | <ul style="list-style-type: none"> • Verbindung von PM mit anderen Analyseformen [AAM+12, TFB18]. • Verbesserung des Verständnisses von Daten [SLE+20]. <p>Datenquellen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nutzung von mehr IT-Quellen [GMO+21, AAM+12, TFB18]. • Erleichterung des Zugriffs auf Daten [MFK+21, CP13]. • Umgang mit Komplexität in Daten(-quellen) (bspw. Granularität) [AAM+12]. • Unklarheit über geeignete Prozesseigenschaften [GMO+21]. • Erhöhung der Datenqualität [MFK+21, KDF+22]. | <ul style="list-style-type: none"> • Notwendige Organisations-eigenschaften [MFK+21]. • Sicherstellung eines kontinuierlichen PMs [GMO+21]. • Durchführung von organisationsübergreifendem PM [ZSA21, AAM+12, TFB18]. <p>Governance:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verwaltung des Datenbesitzes [GMO+21, SLE+20]. • Veränderung der (Prozess und Daten) Verwaltungsstrukturen [GMO+21]. • Bereitstellung von Daten in einem zentralen Portal [SM19]. |

A2 Ergänzungen zum Stand der Technik

In diesem Abschnitt werden Ergänzungen zum Stand der Technik des Abschnitts 3 präsentiert. Die Reihenfolge folgt dem Aufbau der Arbeit.

A2.1 Weitere Vorgehensmodelle für Process Mining Projekte

In der Literatur existieren eine Vielzahl von Vorgehensmodellen für das Durchführen von PM Projekten (vgl. Abschnitt 2.4.3). Viele der Vorgehensmodelle ähneln sich stark und adressieren die Zieldefinition, die Datenextraktion, Datenaufbereitung, die Analyse oder das Ableiten von Verbesserungen [ZEv22, EAt19]. Keines der hier vorgestellten PM Vorgehensmodelle ist für das Fertigungsumfeld entworfen. Kein Vorgehensmodell adressiert die Identifikation von Anwendungsfällen oder bietet die Möglichkeit zur Reflektion hinsichtlich Optimierungspotentialen für Folgeprojekte. Keines der Vorgehensmodelle stellt detaillierte Hilfsmittel zur Verfügung. EMAMJOME ET AL. [EAt19, S. 143] rufen daher zur Entwicklung von domänenpezifischeren Unterstützung von PM Projekten auf. ZUIDEMA-TEMPEL ET AL. [ZEv22] fassen den Stand der Technik zu PM Vorgehensmodellen wie folgt zusammen:

„However, none of the existing process mining methodologies include all process mining project elements as identified during this research. These are among others tool-, vendor- and process selection, organizational willingness, communication of quick wins, and quantification and selection of improvement actions.“ [ZEv22, S. 84]

Nachfolgend werden die relevantesten Vorgehensmodelle kurz und prägnant erläutert. Neben den nachfolgenden Vorgehensmodellen existieren noch weitere Ansätze, bspw. mit dem Fokus auf eine Integration von Nutzern in die Analyse [CVM+20] oder eine detaillierte Aufschlüsselung der Analyseperspektiven [WSV+13]. Diese Arbeit präsentiert die geläufigsten Ansätze zur Durchführung von PM Projekten in der Praxis [EAt19, ZEv22].

A2.1.1 L*-Lifecycle Model nach VAN DER AALST

Das L*-Lifecycle-Model [vdA16, S. 392ff.] besteht aus fünf Phasen, die in Bild A-8 dargestellt sind. Das Vorgehensmodell ist für die Analyse und Verbesserung von strukturierter Prozessen ausgelegt.

In der nullten Phase **plan and justify** wird zwischen den drei Projektarten datengetrieben, fragengetrieben und KPI-getrieben unterschieden. In dieser Phase sollten zusätzlich ein Projektplan erstellt und Ressourcen freigestellt werden.

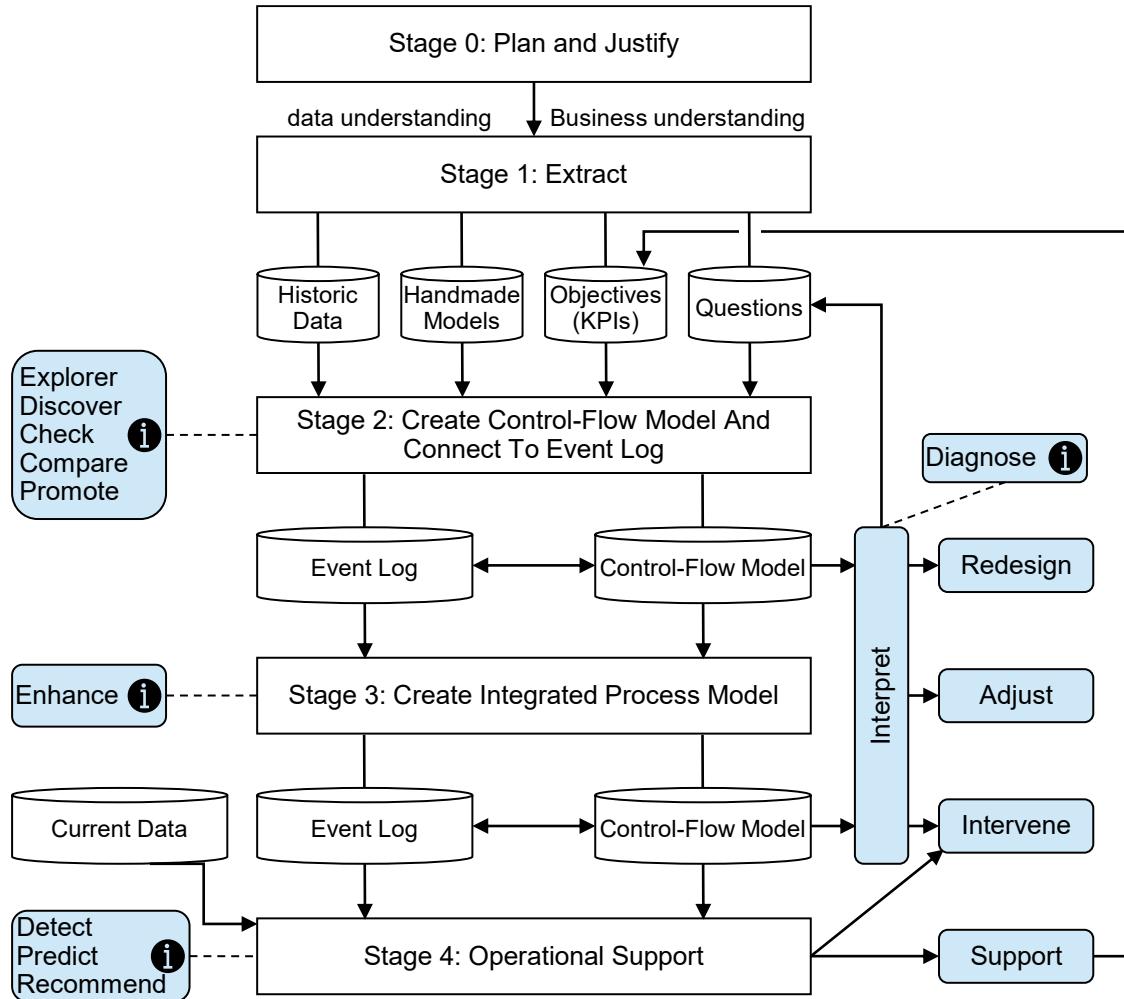


Bild A-8: L*-Lifecycle Model für gut strukturierte Prozesse nach VAN DER AALST [vdA16, S. 394]

In der ersten Phase **extract** muss ein vollständiger Event Log in Kooperation mit Domänenexperten erstellt werden. Dazu sollten existierende Prozessmodelle als Referenz für die Vollständigkeit und das Verständnis der Daten herangezogen werden.

In der zweiten Phase **create control-flow model and connect event log** wird das Ist-Prozessmodell aus den Daten hergeleitet. Anschließend können andere Techniken des PMs, wie Conformance Checking, angewendet werden. An dieser Stelle sollte die Güte des entdeckten Modells mit speziellen Messkriterien des PMs geprüft werden und nur fortgefahrt werden, wenn die Güte ausreichend ist⁴⁸. Das entdeckte Modell kann auch für erste Analysen genutzt werden.

⁴⁸ Die sogenannte Fitness beschreibt bspw. wie gut ein entdecktes Modell alle Traces eines Event Logs abdeckt. Es existieren unterschiedliche Formen der Berechnung, die auch Gegenstand der Forschung sind. [vdA16, S. 166].

In der dritten Phase **create integrated process model** können weitere Perspektiven (bspw. die der Ressourcen) analysiert und in Zusammenhang untereinander gebracht werden.

In der vierten Phase **operational support** wird das integrierte Prozessmodell dazu genutzt, um Live-Support durch Vorhersagen oder Empfehlungen zu geben, wenn die Strukturiertheit des Prozesses diese Form des PMs zulässt.

Bewertung: Das L*-Lifecycle Modell beschreibt ein PM spezifisches Vorgehen, das viele technische Möglichkeiten des PMs kombiniert. Im Gegensatz zu vielen anderen Ansätzen hat es zum Ziel, ein sogenanntes integriertes Prozessmodell zu schaffen, welches verschiedene Techniken und Perspektiven vereinigt. Es ist ausdrücklich für die Analyse von strukturierten Prozessen ausgelegt. Das Vorgehensmodell ist jedoch nicht für die Fertigung ausgelegt und stellt keine Hilfsmittel zur Verfügung, die die Phasen unterstützen. Das Vorgehensmodell wird im Allgemeinen als Blaupause für viele andere Vorgehensmodelle betrachtet, da es generisch gehalten und am ältesten⁴⁹ ist [vLL+15].

A2.1.2 Process Diagnostic Methodology nach BOZKAYA ET AL.

Das Process Diagnostic Methodology (PDM) [BGv09] besteht aus sechs Schritten. Das Vorgehensmodell ist allgemein für Organisation gehalten und wird im Dokumentenausstellungsprozess einer niederländischen Behörde validiert. Es ist in Bild A-9 dargestellt.

Der erste Schritt ist die **Log Preparation**. Dabei wird aus den Roh-Daten die Event Log Struktur hergestellt und Kontextfragen, bspw. ob ein Zeitstempel den Start oder das Ende eines Events festhält, beantwortet. Die Autoren definieren nicht wie diese Klärung stattfinden soll. Im zweiten Schritt der **Log Inspection** werden Statistiken über den Event Log gesammelt und Filterungen durchgeführt. Im dritten Schritt **Control Flow Analysis** wird das Prozessmodell erstellt und dessen Güte validiert. Um die Aussagekraft des Prozessmodells zu erhöhen, sollten unregelmäßige Sequenzen aus dem Event Log gelöscht werden. Im vierten Schritt **Performance Analysis** werden die zeitlichen Dimensionen des Event Logs analysiert. Zusätzlich schlagen die Autoren vor, auffällige, individuelle Prozessdurchläufe zu inspizieren. Sofern der Event Log Informationen über die ausführenden Ressourcen hat, kann als fünftes die **Role Analysis** durchgeführt werden. Dies umfasst das Bilden von Gruppen ähnlicher Rollen sowie die Identifikation von Spezialisten und des Netzwerks an Tätigkeiten. Abschließend wird im Schritt **Transfer Results** den Prozessexperten die Erkenntnisse aus den Daten präsentiert und diskutiert, um Handlungen abzuleiten.

⁴⁹ Das Modell wurde in der ersten Auflage von [vdA16] im Jahr 2011 erstmalig beschrieben.

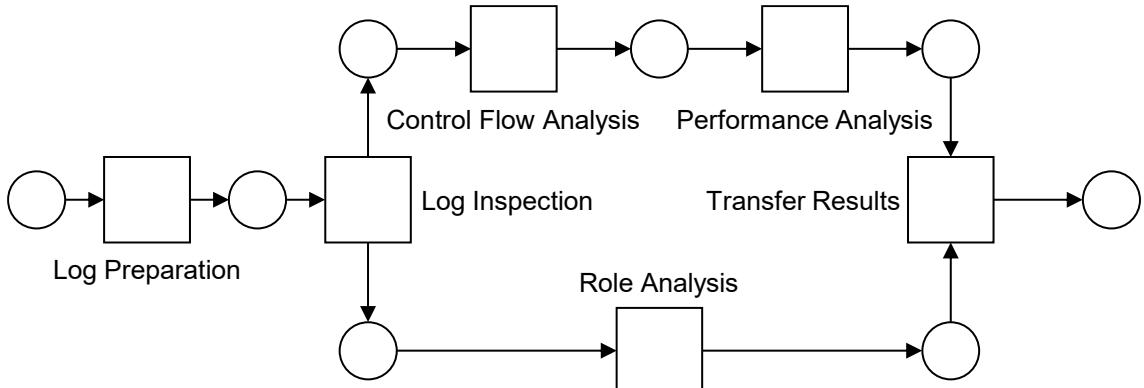


Bild A-9: *Process Diagnostic Methodology nach BOZKAYA ET AL. [BGv09]*

Bewertung: Das Process Diagnostic Vorgehensmodell ist umfangreich und deckt viele Techniken und Fragestellungen ab. Es ist in der Praxis anwendbar. An vielen Stellen gibt es dedizierte Lösungen oder Ansätze vor, die in dem jeweiligen Schritt anzuwenden sind. Das Vorgehensmodell besitzt jedoch einige Limitationen. Das Vorgehensmodell soll ohne die Hilfestellung von Domänenexperten anwendbar sein. Dadurch fehlen typische Phasen wie die Planungsphase vollständig. Auch ist bspw. in der Log Preparation Phase nicht klar, wie das notwendige Meta-Wissen über den Event Log vorliegen kann, wenn keine Domänenexperten hinzugezogen werden.

A2.1.3 Business Process Analysis in Healthcare nach REBUGE UND FERREIRA

Das Business Process Analysis (BPA-H) Vorgehensmodell [RF12] baut auf dem Process Diagnostics (vgl. Abschnitt A2.1.2) Vorgehensmodell auf und spezifiziert dieses für den Gesundheitsbereich, wobei die Autoren das Vorgehensmodells mithilfe der Patientenversorgung in einem Krankenhaus validieren. Die Autoren restrukturieren den Ablauf der Schritte der Process Diagnostic und fügen einen neuen Schritt für das Clustering von Sequenzen hinzu. Dieser Schritt ist als Vorverarbeitung des Event Logs zu verstehen und wird detailliert in einem Subprozessmodell beschrieben. Im Wesentlichen zielt dieses vorverarbeitende Clustern drauf ab, Störungen in den Prozessdaten zu identifizieren und zu minimieren sowie unregelmäßige Prozessverläufe zu eliminieren. Dadurch wird die Güte des entdeckten Prozessmodells erhöht.

Bewertung: Das BPA-H-Framework ist vergleichbar mit dem Vorgehensmodell der Process Diagnostic. Für die Vorverarbeitung des Event Logs werden umfangreiche Hilfsmittel in Form von Algorithmen und Tool-Plugins bereitgestellt. Viele der Herausforderungen der Gesundheitsbranche (bspw. fehlerhafte Daten oder zu detaillierte Subprozesse) sind so auch in der Produktion vorzufinden. Das Vorgehensmodell adressiert leider weder die Auswahl von Anwendungsfällen, noch die langfristige Verankerung in die Organisation.

A2.1.4 PM Project Methodology nach VAN DER HEIJDEN

Die Process Mining Project Methodology (PMPM) [vdH12] ist eine Master-Abschlussarbeit an der Technischen Universität Eindhoven. Da die Methode über 40 Zitationen, u.a. in renommierten Studien wie [ZEv22, EAt19], besitzt und in Zusammenarbeit mit einer großen niederländischen Bank evaluiert wurde, wird sie hier aufgeführt. Die Methode baut auf einem PM Projekt-Lebenszyklus auf, der in der Arbeit hergeleitet wird. Der Lebenszyklus setzt die verschiedenen Phasen in Relation und zeigt mögliche Iterationen zwischen den Phasen auf. Die PMPM selbst hat die sechs Phasen *Scoping*, *Data Understanding*, *Event Log Creation*, *Process Mining*, *Evaluation* und *Deployment*, die in Bild A-10 dargestellt sind.

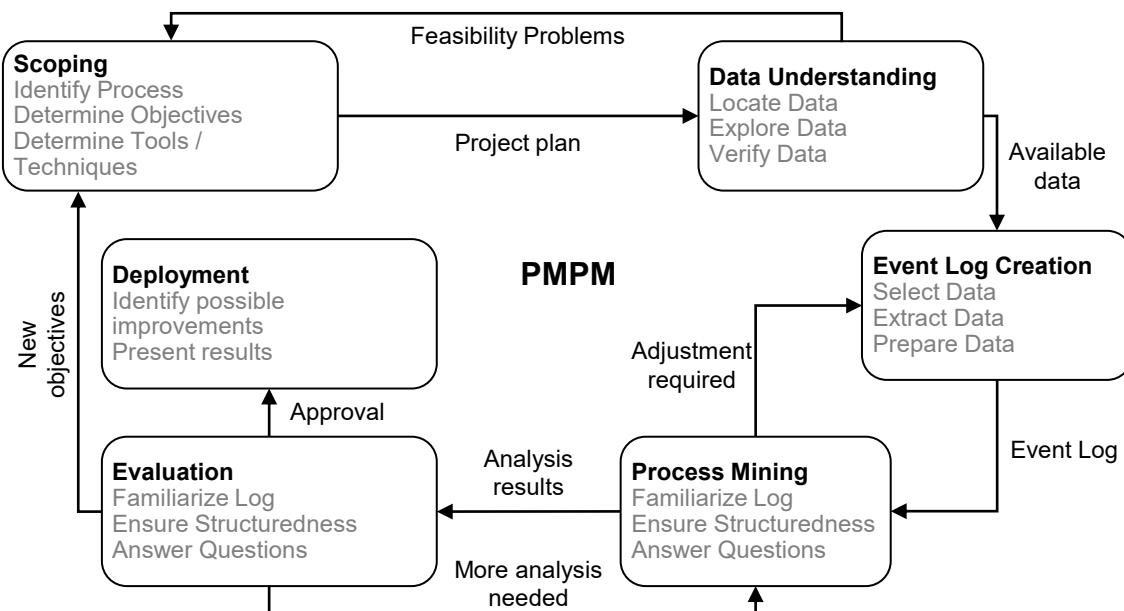


Bild A-10: PM Project Methodology in Anlehnung an [vdH12]

Im ersten Schritt **Scoping** werden der Prozess, die Ziele und die eingesetzten IT-System bzw. Werkzeuge identifiziert. Dazu kann der Prozess bspw. textuell beschrieben und Statistiken gesammelt werden. Für die Ziele werden Hypothesen an den Prozess gesammelt und mit Kennzahlen in einer Baumstruktur verbunden. Die für die Analyse notwendigen Attribute werden aufgelistet. Abschließend wird eine Verkettung vom Datenquellsystem bis zum Analysewerkzeug aufgeführt.

In der zweiten Phase **Data Understanding** wird zunächst anhand eines kleinen Ausschnittes ein Gefühl für die Daten entwickelt. Dafür werden die Daten zunächst innerhalb der IT-Systeme lokalisiert und ein möglicher Extraktionsumfang bestimmt. Anschließend gilt es mögliche Herausforderungen mit den Datenextrakten zu erkunden, indem Informationen über den Prozess mit den extrahierten Daten verbunden werden. Abschließend gilt es die Aussagekraft der Daten zu verifizieren und dessen Datenqualität sicherzustellen.

In der dritten Phase **Event Log Creation** wird dann der gesamte Datenumfang vorbereitet. Dazu wird zunächst ein größerer Datenumfang ausgewählt und vor dem Hintergrund der Analysefrage auf relevante Prozessinstanzen gefiltert. Dann werden die Daten extrahiert und vorverarbeitet. Dazu werden die extrahierten Daten mit den notwendigen Features aus der Scoping Phase verglichen und ggf. neue Features erstellt und berechnet.

In der vierten Phase **Process Mining** wird die eigentliche Analyse der Daten durchgeführt. Dafür werden zunächst Statistiken über den Event Log ausgegeben. Anschließend muss die Strukturiertheit sichergestellt werden, indem zusätzliche Filter angewendet werden. Erst dann können die Analysefragen beantwortet werden.

In der fünften Phase **Evaluation** wird das entdeckte Prozessmodell und das Projekt selbst bewertet und reflektiert. Dazu werden zunächst Gütekriterien für das entdeckte Prozessmodell berechnet, bspw. dessen Genauigkeit oder Repräsentanz. Anschließend erfolgt ein Vergleich der Analyseerkenntnisse mit den aufgestellten Kennzahlen. Schlussendlich wird evaluiert, ob durch das Projekt weitere Folgefragen an den Prozess entstehen, die es in einem Folgeprojekt zu prüfen gilt.

In der letzten Phase des **Deployments** werden die notwendigen Handlungen zur Verbesserung des Projektes bestimmt und die Ergebnisse den Prozess-Stakeholdern präsentiert.

Bewertung: PMPM ist ein sehr vielschichtiges Vorgehensmodell. Es hat in vielen Arbeiten seine praktische Anwendbarkeit demonstriert. Obwohl es sehr umfassend einen Einblick darüber bietet, wie Projekte in der Praxis stattfinden, stellt es nur wenig Hilfestellung in den Phasen zur Verfügung. Zusätzlich findet sich keine allgemeine Beschreibung der Phasen in der Arbeit. Obwohl es zeitlich drei Jahre vor dem PM² [vLL+15] veröffentlicht wurde und hohe Ähnlichkeiten aufweist⁵⁰ (bspw. der Name, das Ansprechen von Iterationen, Domänenunabhängigkeit, Benennung der letzten vier Phasen), wird es im PM² nicht zitiert. Im Allgemeinen ähneln sich PM² und PMPM stark.

A2.1.5 Methodological Proposal für PM Projekte nach AGUIRRE ET AL.

Das Methodological Proposal für PM Projekte [APS17] besteht aus den vier Schritten *Project Definition*, *Data Preparation*, *Process Analysis* und *Process Redesign*, mit weiteren Sub-Schritten.

In der **Project Definition** wird ein Verständnis für den zu analysierenden Prozess und dessen Probleme hergestellt. Anschließend können Fragen für das Projekt formuliert werden.

⁵⁰ Sowohl das PMPM als auch das PM² sind an der TU Eindhoven entstanden. Die Betreuer des PMPM sind nicht die Autoren des PM².

In der Phase **Data Preparation** werden Daten identifiziert, extrahiert und zu einem Event Log transformiert.

In der dritten Phase **Process Analysis** werden verschiedene Analysen durchgeführt.

In der letzten Phase **Process Redesign** werden basierend auf der Analyse Handlungsempfehlungen realisiert und deren Erfolg gemessen.

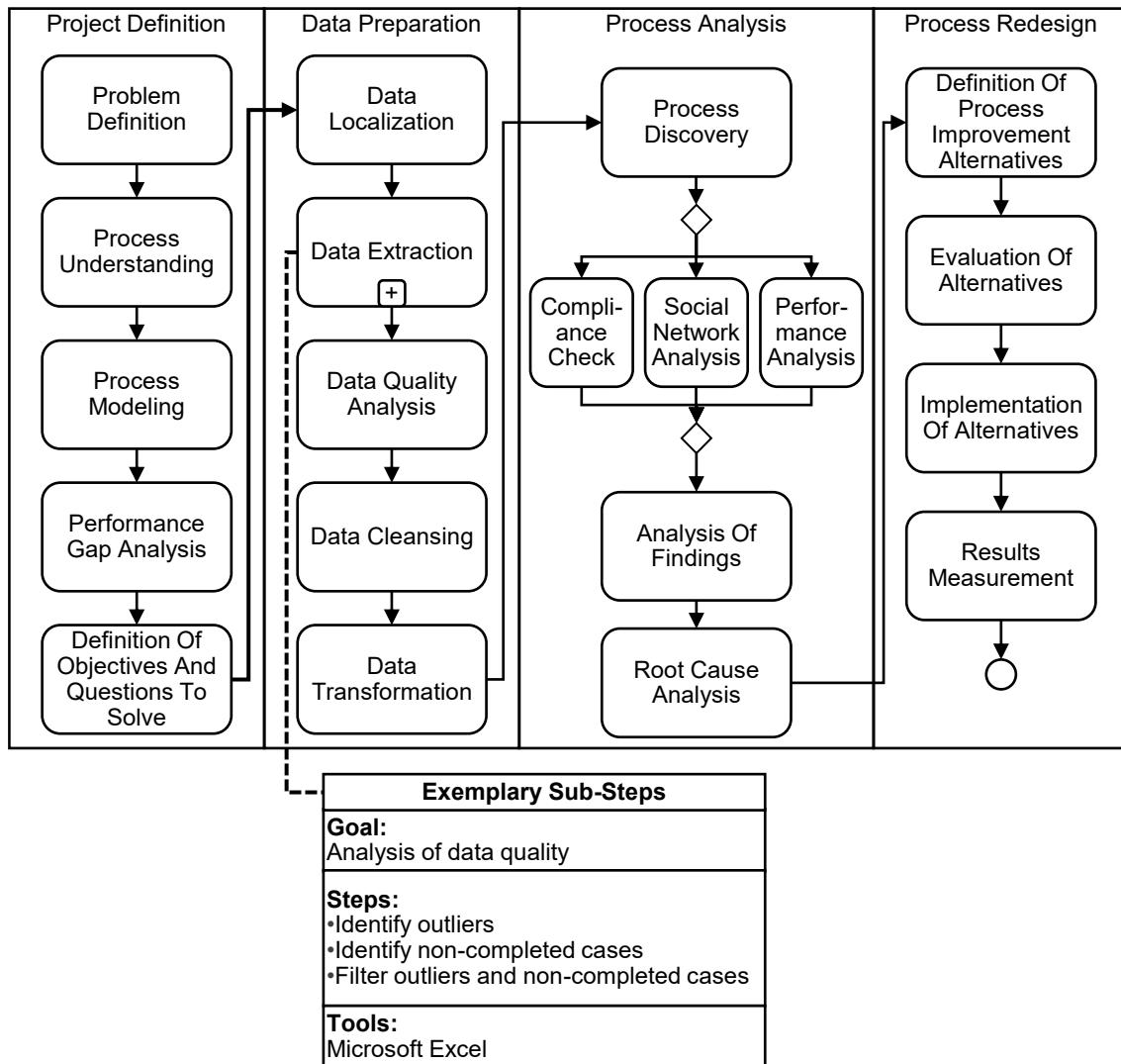


Bild A-11: Methodological Proposal für PM Projekte in Anlehnung an [APS17]

Das Methodological Proposal für PM Projekte zeichnet sich durch eine Detaillierung der Hauptschritte in Sub-Schritte aus. Für jeden dieser Sub-Schritte sind das Ziel und die möglichen Werkzeuge (bspw. Interviews, BPMN oder PM Tools) definiert. Zusätzlich werden Ergebnisse, Schritte oder Erkenntnisse festgehalten. Beispielsweise wird für den Sub-Schritt Data Quality Analysis das Ziel definiert, dass die Datenqualität analysiert werden muss mithilfe des Werkzeugs Microsoft Excel. Die Sub-Schritte sind das Identifizieren von Anomalien und nicht abgeschlossenen Prozessdurchläufen, die gefiltert werden müssen.

Bewertung: Das Methodological Proposal für PM Projekte stellt ein sehr praxisorientiertes Vorgehensmodell dar, welches am Beispiel von Verkaufsprozessen eines Großhändlers in Kolumbien validiert wird. Durch den Verweis auf mögliche Werkzeuge werden Hilfsmittel zur Verfügung gestellt. Jedoch sind die Hilfsmittel sehr rudimentär und oberflächlich gehalten. Eine gezielte Identifikation von Daten- und Prozesswissen⁵¹ findet nicht statt. Zusätzlich wird die Analyse zwar durch den Verweis auf mögliche Analyseperspektiven adressiert, eine gezielte Unterstützung bei der Interpretation der Ergebnisse wird jedoch nicht zur Verfügung gestellt.

A2.1.6 Cross-Industry-Standard-Model for Data Mining (CRISP-DM)

Da PM Projekte prinzipiell immer Datenprojekte sind, lassen sich PM Projekte auch mithilfe des Cross-Industry-Standard-Model for Data Mining (CRISP-DM) durchführen. Das CRISP-DM [She00] ist ein Ende des 20. Jahrhunderts entwickeltes, allgemeines Vorgehensmodell für die Durchführung von Data Mining Projekten. Das ikonische sechs-schritte-Vorgehensmodell mit *Business Understanding, Data Understanding, Data Preparation, Modeling, Evaluation* und *Deployment* ist weit verbreitet.

Bewertung: Da CRISP-DM sehr allgemeingültig ist und PM als eine Form der Business Intelligence verstanden werden kann, lassen sich prinzipiell PM Projekte mittels CRISP-DM durchführen. Das Vorgehensmodell ist jedoch nicht PM spezifisch und betrachtet keine Identifikation und Bewertung von PM Use Cases. Auch findet keine Reflektion des durchgeführten Projektes hinsichtlich einer langfristigen Verankerung und Optimierung der Umgebungsbedingungen statt.

A2.2 Ergänzungen zu allgemeinen Ansätzen

Dieser Abschnitt stellt Ergänzungen zu Abschnitt 3.1 vor.

A2.2.1 Ergänzungen zu dem Management von PM Portfolios nach FISCHER

In Abschnitt 3.1.4 wird der Ansatz von FISCHER zum Management von PM Portfolios dargestellt. Der Ansatz adressiert die drei Bereiche des Managements von PM Portfolios, die Behebung von Datenqualitätsproblemen und die Überführung von Analyse-Erkenntnissen in tatsächliche Prozessoptimierungen. Die Einordnung der von FISCHER erarbeiteten Ergebnisse ist in Bild A-12 dargestellt. Die Einordnung erfolgt auf Basis von Bild 2-12 in Abschnitt 2.4.4. Auf die drei Teilergebnisse wird nachfolgend eingegangen.

⁵¹ Der Sub-Schritt Process Understanding zielt lediglich darauf ab die Inputs, Outputs und Stakeholder des Prozesses zu verstehen. Umfangreiches Domänenwissen über den Prozess wird nicht identifiziert.

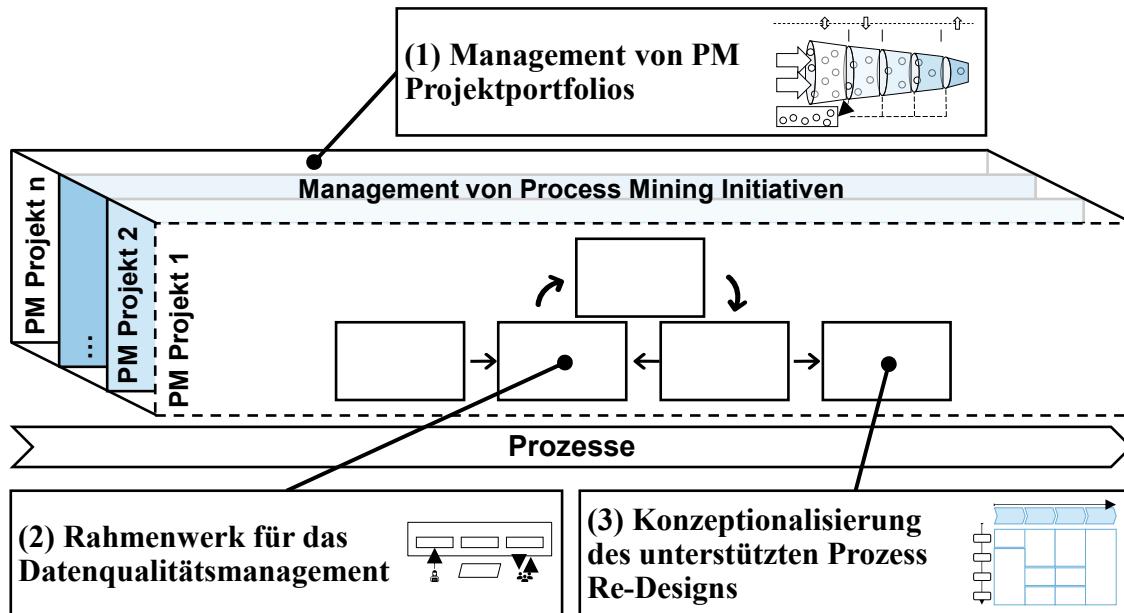


Bild A-12: Einordnung der Teilergebnisse von FISCHER [Fis23] in Bild 2-13

(1) Management von PM Projektportfolios

Der erste Bereich von FISCHERS Dissertation adressiert das **Management von PM Projektportfolios** in Form einer Portfoliomanagement Methode für PM basierte Prozessverbesserungsprojekte in Unternehmen. Im Ansatz existieren zwei zentrale Konstrukte: die PM Initiative (vgl. Abschnitt 2.4.4), welche damit beauftragt ist PM in einer Organisation durchzuführen und die sogenannten Value Cases. Value Cases sind nach FISCHER auf PM basierende Prozessverbesserungsprojekte. Der Portfoliomanagementansatz in Bild A-13 beschreibt, wie die PM Initiative die Value Cases bearbeitet. Er besteht aus fünf Phasen. Für jede Phase sind Schritte, Werkzeugunterstützungen und notwendige Rollen beschrieben. Der Ansatz wird nachfolgend erläutert.

Die erste Aktivität ist das **Managen**, welche sich auf der strategischen Ebene des Portfoliomagements abspielt. In dieser übergeordneten Aktivität werden die Ziele der PM Initiative mit den übergeordneten Zielen der Organisation abgeglichen und dedizierte Ziele für die PM Initiative benannt. Dafür werden der PM Initiative Ressourcen zur Verfügung gestellt und es erfolgt eine Identifikation der notwendigen Fähigkeiten. In der initialen Ausführung werden zudem Vorgehensweisen zur Evaluation von Value Cases aufgestellt und relevante Prozesse im Unternehmen identifiziert. Nach Bedarf kann das Managen erneut ausgeführt werden, um die Strategie anzupassen.

Die zweite Aktivität **Identifizieren** startet den operativen Teil des Portfoliomagements. Ziel der zweiten Aktivität ist die Identifizierung von relevanten Value Cases. Diese können über einen „Push“ durch die Fachabteilungen als Input entstehen oder es wird ein „Pull“ erzeugt, indem **Idee-Generierungsworkshops** durchgeführt werden. Für die PM Initiative ist es wichtig, dass die Value Cases so weit wie möglich runtergebrochen werden und im Idealfall eine präzise Frage oder Hypothese besitzen. Für die Generierung von

Value Cases empfehlen die Autoren die Verwendung von Übersichten zu möglichen PM Use Cases, sowie Methoden wie das Brainstorming.

Anschließend erfolgt das **Auswählen** von relevanten Value Cases. Dafür müssen zunächst die identifizierten Value Cases bewertet werden. Anschließend kann die Auswahl geeigneter Value Cases erfolgen. Für die Bewertung und die Auswahl kommt die im ersten Schritt definierte Vorgehensweise mit den entsprechenden Kriterien zum Einsatz. Typischerweise umfassen solche Kriterien die strategische Relevanz, das Potential für Risikoreduzierung und den ökonomischen Mehrwert. Methoden in dieser Aktivität umfassen Portfoliobewertungsmethoden, regelmäßige Meetings oder eine Visualisierung des **Backlogs** an Value Cases mithilfe von Kanban-Boards.

In der vierten Aktivität wird das **Implementieren** der ausgewählten Value Cases durchgeführt. Dies umfasst das Generieren von **Insights** zu einem Prozess, sowie das Ableiten von **Aktionen**. Das Generieren von Insights kann bspw. auf Basis des PM² Vorgehensmodells (vgl. Abschnitt 3.1.1) erfolgen. Die abgeleiteten Aktionen zielen darauf ab, eine Verbesserung des Prozesses zu erreichen. Die beiden Abschnitte der Insights und Aktionen sind eng miteinander verbunden und sehr iterativ. Das Ergebnis dieser Aktivität ist ein Mehrwert für die Organisation. Idealerweise kann der Value Case regelmäßig wiederholt werden.

Abschließend erfolgt das **Überwachen** des realisierten Value Cases. Ziel ist die Validierung des erzeugten Mehrwertes. Diese Feedbackschleife erlaubt die Anpassung der Strategie im Rahmen der Aktivität Managen. Dafür können verschiedene Dashboards, aber auch große Steuer-Komitees zum Einsatz kommen.

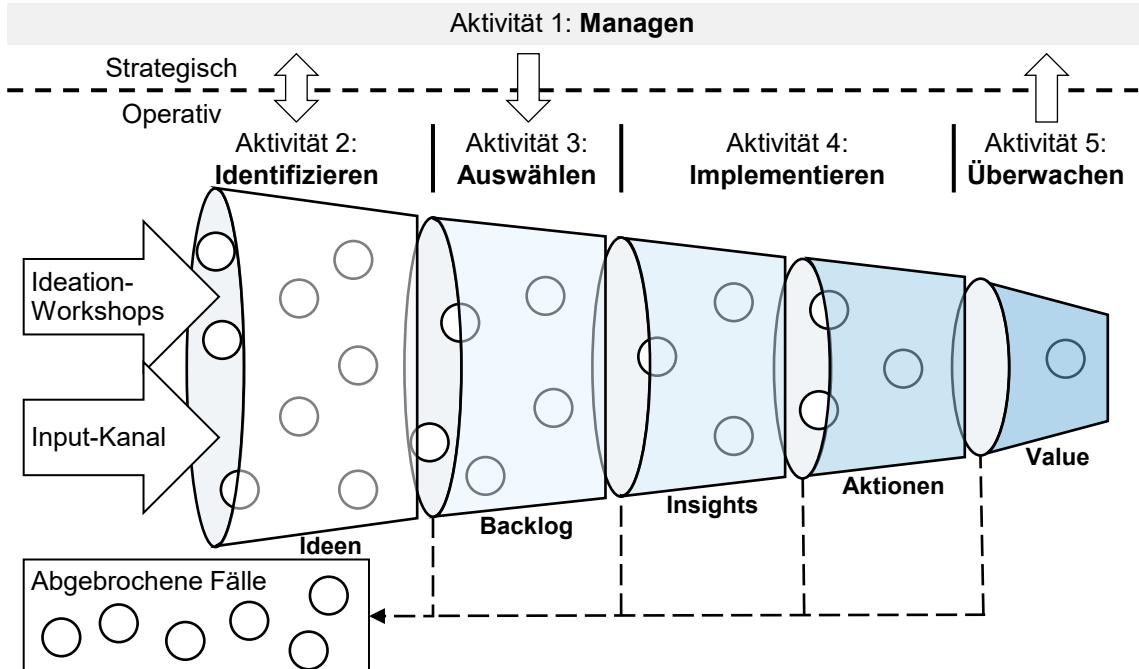


Bild A-13: Portfoliomanagement Methode für PM basierte Projekte zur Prozessverbesserung in Anlehnung an [Fis23]

(2) Rahmenwerk für das Datenqualitätsmanagement

Der zweite Bereich von FISCHERS Dissertation verlässt das Projektporfolio-Level und behandelt innerhalb von einzelnen Projekten das Identifizieren und Beheben von Datenqualitätsproblemen. Dafür wird ein **Rahmenwerk für das Datenqualitätsmanagement** zur Verfügung gestellt, welches aus mehreren Komponenten besteht. Ziel des Rahmenwerks ist eine „Plattform“ zu schaffen, um beliebige, extern entwickelte Algorithmen und Visualisierungen, Daten und Nutzer zu verbinden. Das Rahmenwerk wird PraeclarusPDQ genannt und ist in Bild A-0-14 dargestellt.

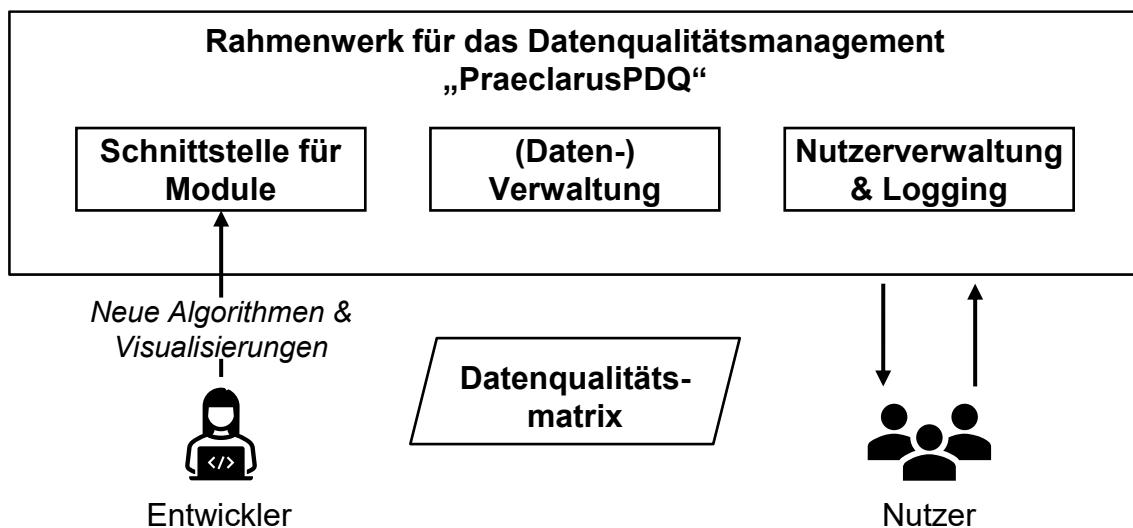


Bild A-0-14: Rahmenwerk für das Datenqualitätsmanagement in Anlehnung an [Fis23]

Das Rahmenwerk bietet mehrere Funktionen und Komponenten. Erstens können **Entwickler** neue Algorithmen und Visualisierungen an die **Schnittstelle für Module** anknüpfen. Diese Neuentwicklungen können entweder lesend, schreibend, mustererkennend oder ausführend sein. Zweitens können **Nutzer** sich bei PraeclarusPDQ anmelden und Module nutzen. Als drittes verfügt das Rahmenwerk über eine **(Daten-) Verwaltung**, in der unterschiedliche Module verkettet und automatisch ausgeführt werden sowie einer Komponente zur Versionierung und Überwachung der intern verarbeiteten Daten. Zur Strukturierung von Datenqualitätsproblemen stellt Fischer zusätzlich eine **Datenqualitätsmatrix**⁵² zur Verfügung. Die Matrix ordnet den verschiedenen Leveln eines Event Logs (bspw. der gesamte Log, einzelne Traces oder Aktivitäten) vier verschiedene Arten an Qualitätsproblemen zu: Genauigkeit, Vollständigkeit, Konsistenz und Einzigartigkeit. Das Rahmenwerk PraeclarusPDQ ist auf Github⁵³ veröffentlicht und kann von

⁵² Die Datenqualitätsmatrix wird von Fischer nicht direkt dem Rahmenwerk zugeordnet, sondern ist eine eigenständige Veröffentlichung. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird sie hier in eine zusammenfassende Abbildung aufgenommen.

⁵³ <https://github.com/praeclaruspdq/PraeclarusPDQ/> zuletzt besucht am 24.03.2024.

Entwickeln genutzt werden. Das Rahmenwerk wurde durch die Implementierung von zwei existierenden Algorithmen sowie einer Diskussion mit Forschern validiert.

(3) Konzeptionalisierung des unterstützten Prozess Re-Designs

Der dritte Bereich von FISCHERS Dissertation bewegt sich auch auf der Ebene von einzelnen PM Projekten und behandelt das Ableiten von adäquaten Aktionen zur Prozessverbesserung auf Basis von PM. Dafür präsentiert der Autor eine **Konzeptionalisierung des unterstützten Prozess Re-Designs**, welches in Bild A-15 dargestellt ist. Die Konzeptionalisierung dient der Analyse und dem Aufbau von Werkzeugen, die auf Basis eines gegebenen Prozessmodells automatisch Optimierungsmöglichkeiten (Re-Design-Möglichkeiten) darstellen.

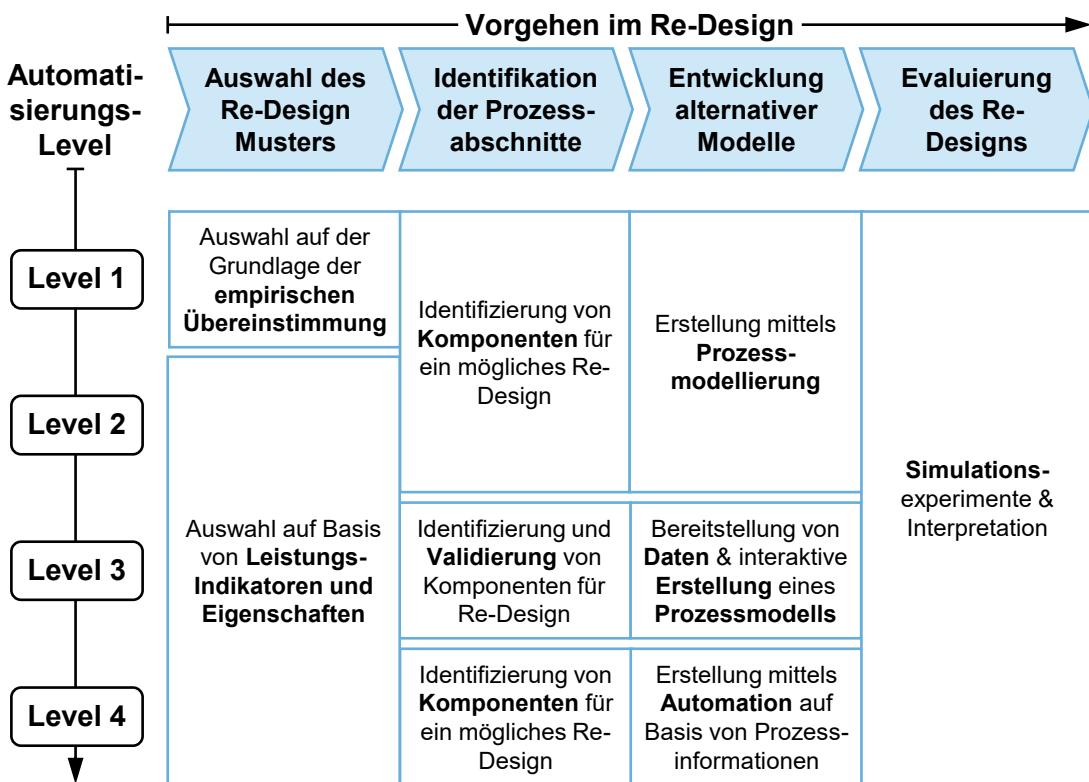


Bild A-15: Konzeptionalisierung des unterstützten Prozess Re-Designs in Anlehnung an [Fis23]

Dafür besitzt die Konzeptionalisierung in Bild A-15 zwei Achsen: auf der horizontalen ist das klassische **Vorgehen im Re-Design** dargestellt. Es besteht aus den vier Schritten *Auswahl des Re-Design Musters*, *Identifikation der Prozessabschnitte*, *Entwicklung alternativer Modelle* und *Evaluierung des Re-Designs*. Auf der vertikalen sind die in der Literatur vorherrschenden **Automatisierungsstufen** abgebildet. In der Schnittstelle dieser beiden Achsen ergeben sich vier Empfehlungen für die Automatisierung von Tätigkeiten, auf die nachfolgend kurz eingegangen wird.

Auf der **Automatisierungsstufe Level 1** werden nur auf Basis empirischer Befunde mögliche Re-Design Optionen vorgeschlagen. Diese Befunde sind generische „Best Practices“ für die Optimierung von Prozessen. Es obliegt dem menschlichen Handeln, diesen Input in den folgenden drei Schritten zu nutzen. Ziel ist, dem Menschen automatisiert eine Möglichkeit zum Nachdenken zu liefern.

Im Gegensatz dazu wird auf der **Automatisierungsstufe Level 2** (semi-) automatisiert auf Basis der Eigenschaften des vorliegenden Prozesses sowie der betrachteten Zielgrößen des Prozesses, Optimierungsmöglichkeiten vorgeschlagen. Zusätzlich identifiziert der Automatismus auch relevante Prozessabschnitte, in denen die Optimierungsmöglichkeiten Anwendung finden können.

Ein Automatismus des **Level 3** kann zusätzlich (semi-) automatisiert das existierende Prozessmodell auf Basis existierender Modellierungsregeln anpassen.

Schlussendlich können auf der **Automatisierungsstufe Level 4** diese neuen Prozessmodelle automatisch simuliert und deren Einfluss auf den Prozess interpretiert werden. Nach FISCHER müssen dem Menschen immer mehrere Empfehlungen zur Prozessverbesserung zur Auswahl vorgeschlagen werden.

Für das Zusammenspiel aus Simulations-, Prozessmodellen und den Optimierungsempfehlungen wird eine **Referenzarchitektur** bereitgestellt. Die Referenzarchitektur ist als **Plug-In** für ein gängiges Prozessmodellierungswerkzeug geschrieben worden⁵⁴. Die technische Realisierung identifiziert jedoch nur spezielle Optimierungsmöglichkeiten auf unterschiedlichen Leveln. Beispielsweise wird für die Optimierungsmöglichkeit „Parallelisierung“ das Level 4 erreicht.

A2.2.2 Methode zur Bewertung und Einführung von PM nach GIELSTRA

Die Methode zur Bewertung und Einführung von PM nach GIELSTRA [Gie16] ist eine Masterarbeit, die PM als IT-Investitionsgut betrachtet und strukturiert. Sie kann der Gruppe der allgemeinen Ansätze zugeordnet werden (vgl. Abschnitt 3.1). GIELSTRA leitet über zwei systematische Literaturrecherchen ein Vorgehen mit acht Phasen zur Bewertung der Ausgangslage, Durchführung eines Prototypens, der Evaluation des Prototypens und anschließender flächendeckenden Einführung von PM her. Die Schritte sind in Tabelle A-3 erklärt. Für die Berechnung der Gesamtkosten werden verschiedene Faktoren wie Lizenz-, Hardware- oder IT-Supportkosten aufgelistet. Für viele andere Phasen werden nur Teilschritte, aber keine Hilfsmittel bereitgestellt. So wird bspw. in Phase 6 u. a. empfohlen einen detaillierten Plan für die Einführung aufzustellen, welcher in Phase 7 dann umgesetzt wird.

⁵⁴ <https://github.com/dtdi/assisted-bpr-modeler> zuletzt besucht am 24.03.2024.

Tabelle A-3: Acht Phasen zur Einführung von PM nach GIELSTRA [Gie16]

Phase 1: Planning

- Determine the impact processes have on the business.
- Consider maturity level of process intelligence in the organization.
- Formulate business case objectives and determine the scope of PM.
- Determine the alignment of the business case objectives with the strategy, using a strategy map.
- Formulate target benefits regarding the business case objectives.
- Identify technical requirements, costs, risks and stakeholders.
- Make a general plan detailing the basic concept of the PM pilot study.
- Consolidate all information in a briefing with supporting documents to gain stakeholder mandate.

Phase 2: Evaluation of general plan

- Evaluate the general plan with a representative set of stakeholders.
- Make changes to the general plan to better suit the needs of stakeholders.

Phase 3: Detailing the pilot study

- Once stakeholder mandate is given, the pilot study should be planned in further detail.
- Perform a supplier analysis and select a supplier.
- Set a time-frame for the pilot study.
- Identify representative processes (with regard to magnitude, complexity and automation) to test the assumptions made in the business case.
- Determine specific points in time to evaluate the pilot study, using pre-determined measures.
- Identify the roles and contributions of various groups of stakeholders to the pilot study.
- Assign responsibility to stakeholders for measuring the achievement of targeted benefits.

Phase 4: Conducting the pilot study

- Provide training to users involved in the pilot study.
- Provide support to users involved in the pilot study.
- Measure the achievement of targeted benefits, using pre-determined measures, at specific points in time.

Phase 5: Evaluation of pilot study

- Apply optimization proofs to similar processes using simulation.
- Shortly after the pilot study, qualitatively evaluate the usability, relevance and impact of PM to support business processes with regard to the formulated business case objectives.
- Evaluate, together with the earlier set of stakeholders, the entire pilot study. Discuss both the qualitative and quantitative findings.
- Decide on making the investment in PM. Organizations can choose to either not implement PM, implement PM with a changed scope, implement PM with the earlier determined scope or re-evaluate the business case objectives (return to phase 1).

Phase 6: Pre-implementation

- If mandate has been given for implementation, detailed implementation plans should be developed.
- Scope of implementation should be clearly described.
- A timetable for implementation should be developed (e.g. describing enhancement of logging infrastructure, period of database integration, actual implementation, et cetera).
- A training program should be developed to train the various user groups in effectively leveraging the possibilities PM offers.
- Support personnel should be trained to support other users with questions, once the implementation starts.

Phase 7: Implementation

- Implement PM using the plans developed in phase 6.
- Report on progress of implementation.
- Provide training in accordance with the developed training programs.

Phase 8: Continuous review

- Periodically review the benefits using the pre-determined measures.
- Assess the adequacy of the logging infrastructure for modern business needs.

Bewertung: GIELSTRA präsentiert durch seine Behandlung des PMs als IT-Investitions-gut eine seltene Perspektive auf die Einführung von PM. Durch die Identifikation eines Business Use Cases, der prototypenhaften Umsetzung und anschließendem globalen Roll-Out weist der Ansatz Ähnlichkeiten zu den drei identifizierten Handlungsfeldern auf. GIELSTRA addressiert nicht auf die Fertigung und stellt nur rudimentäre Hilfsmittel

zur Verfügung. Eine Betrachtung von Handlungsmaßnahmen zur langfristigen Verständigung findet nicht statt.

A2.3 Weitere Ansätze zur Identifikation und Bewertung von PM Use Cases in Organisationen

Dieser Abschnitt stellt Ergänzungen zu Abschnitt 3.2 vor.

A2.3.1 Ergänzung zu der Übersicht der typischen Fragen im PM nach MILANI ET AL.

In Abschnitt 3.2.2 wurde die Übersicht der typischen Fragen im PM nach MILANI ET AL. vorgestellt, eingeordnet und bewertet. In Tabelle A-4 sind die von den Autoren identifizierten Fragen übersichtlich dargestellt. Die Fragen unterteilen sich in fünf Gruppen. Je Gruppe gibt es eine oder mehrere Sub-Gruppen. Diese sind eingerückt dargestellt. Jede Frage hat eine eindeutige Nummer erhalten.

Tabelle A-4: Typische Fragen in PM Projekten nach MILANI ET AL. [MLM+22]

| Grp. | # | Question |
|------------------------------|----------------------------------|---|
| Transparency | Process Model Discovery | |
| | 1 | How are the cases of a procedural process executed? |
| | 2 | How are the cases of a declarative process executed? |
| | 3 | How are the cases of a hybrid process executed? |
| | Process Model Enhancement | |
| | 4 | How can a process model be repaired to better reflect the actual execution of the process? |
| | 5 | How can a process model be extended with additional information recorded in the event logs? |
| | 6 | How can the understandability of the mined process models be improved? |
| Social Network Mining | | |

| Grp. | # | Question |
|------------|---------------------------------|---|
| Efficiency | 7 | What are the relationships among the resources involved in a process? |
| | Goal Mining | |
| | 8 | What are the process goals? |
| | Rule Mining | |
| | 9 | What are the decision rules that determine which path a case takes? |
| | Process Performance | |
| | 10 | What is the duration-related performance of a case? |
| | 11 | What is the resource-related performance of a case? |
| | 12 | What is the quality-related performance of a case? |
| Quality | 13 | How is the performance of a case affected by other factors? |
| | 14 | What is the performance of multiple connected processes? |
| | 15 | How can the performance of a case be optimized? |
| | 16 | How does the performance of a case change over time? |
| | Process Variant Analysis | |
| Quality | 17 | What are the main variants of a process? |
| | 18 | What are the similarities between two or more variants of a process? |
| | 19 | What are the differences between two or more variants of a process? |
| | Process Deviance Mining | |
| | 20 | Why do some cases deviate from the normal flow? |

| Grp. | # | Question |
|------------|--------------------------------------|--|
| Compliance | Process Conformance Checking | |
| | 21 | Where does a case differ from a process model? |
| | 22 | Given a non-compliant case, what is closest compliant case? |
| | Process Compliance Monitoring | |
| | 23 | Is an ongoing case compliant with some predefined rules and constraints? |
| | 24 | What are the causes of non-compliance in an ongoing case? |
| | Predictive Monitoring | |
| | 25 | What is the predicted remaining time of an ongoing case? |
| Agility | 26 | What are the predicted delays of an ongoing case? |
| | 27 | What are the next activity/activities of an ongoing case? |
| | 28 | What are the predicted waiting times of an ongoing case? |
| | 29 | What are the predicted outcomes of an ongoing case? |
| | 30 | What are the predicted risks of an ongoing case? |
| | 31 | What are the predicted costs of an ongoing case? |
| | 32 | What are the predicted performance indicators of an ongoing case? |
| | Concept Drift | |
| | 33 | How has the process behavior changed over time? |
| | Prescriptive Monitoring | |
| | 34 | What is the recommended execution path of an ongoing case? |
| | 35 | What is the recommended resource allocation? |

| Grp. | # | Question |
|------|----|--|
| | 36 | Who is the recommended process performer? |
| | 37 | When should interventions be made to increase the probability of a positive outcome? |

A2.4 Weitere Ansätze zur Unterstützung von PM Projekten

Dieser Abschnitt stellt Ergänzungen zu Abschnitt 3.3 vor.

A2.4.1 Vorgehen zur Erstellung eines Event Logs aus Datenbanken nach JANS

JANS (Universität Hasselt) [Jan17] beschreibt acht Schritte zur Identifikation, Extraktion und Vorverarbeitung von Daten aus Datenbanken in einen Event Log. Die Schritte umfassen:

- 1) die Identifikation von Stakeholdern,
- 2) das Definieren von Zielen und identifizieren von sogenannten „Prozess-Eckpfeilern“,
- 3) das Überführen von den Prozess-Eckpfeilern zu Datenbank-Tabellen,
- 4) das Aufschlüsseln der Relationen der Tabellen,
- 5) die Auswahl der Case ID,
- 6) die Auswahl von Aktivitäten,
- 7) das Auflisten von Attributen und abschließend
- 8) die Auswahl von Attributen für die Aktivitäten.

Zentrales Konzept sind dabei die Prozess-Eckpfeiler. Diese sind die von unterschiedlichen Stakeholdern wahrgenommenen Schlüsselaktivitäten in einem Prozess. Ein Prozess-Eckpfeiler könnte bspw. das Unterschreiben eines Angebots sein. Mithilfe der Eckpfeiler werden die notwendigen Datenbank-Tabellen identifiziert. JANS bietet für die unterschiedlichen Schritte anschauliche Beispiele, Hilfestellungen oder sogar Lösungsansätze. Die Autorin gibt bspw. für Schritt 3) den Tipp, dass verifiziert werden muss, ob die Zeitstempel in den Tabellen tatsächlich den Zeitpunkt der Prozess-Eckpfeiler darstellen. Für Schritt 4) wird empfohlen, auf die bestehende Methode der Entity-Relationship-Modellierung zurückzugreifen. In Schritt 6) wird eine Heuristik zur Auswahl von Aktivitäten geboten.

Bewertung: JANS bietet mit ihrem Ansatz zur Erstellung eines Event Logs ein detaillierteres Vorgehen mit zahlreichen Hilfestellungen für Anwender. Da die Autorin keine Forschungsmethode nennt, liegt die Annahme nahe, dass es sich um eine Niederschrift ihres Erfahrungsschatzes handelt⁵⁵. Häufig wird das Identifizieren oder Arbeiten mit „Dokumenten“ thematisiert, was vermuten lässt, dass die Autorin eine verstärkte ERP-Perspektive auf Prozesse und Datenquellen hat. Das Fehlen von Grafiken für den gesamten Ablauf und den genutzten Werkzeugen erschwert das Verständnis und mindert die Anwendbarkeit, insbesondere für Anwender. Zusammenfassend lässt sich somit festhalten, dass der Ansatz gut geeignet für das systematische Arbeiten mit ERP basierten Prozessen ist, jedoch überspezifiziert auf ERP-basierte Prozesse ist.

A2.4.2 Event Log Engineering nach ACCORSI UND LEBHERZ

ACCORSI UND LEBHERZ (Accenture und A.P. Møller-Mærsk) [AL22] bieten eine Anwersicht auf das Erstellen eines Event Logs aus SAP-Tabellen. Der Beitrag ist im *Process Mining Handbook* veröffentlicht. Der Ansatz umfasst drei Schritte die in Bild A-16 dargestellt sind.

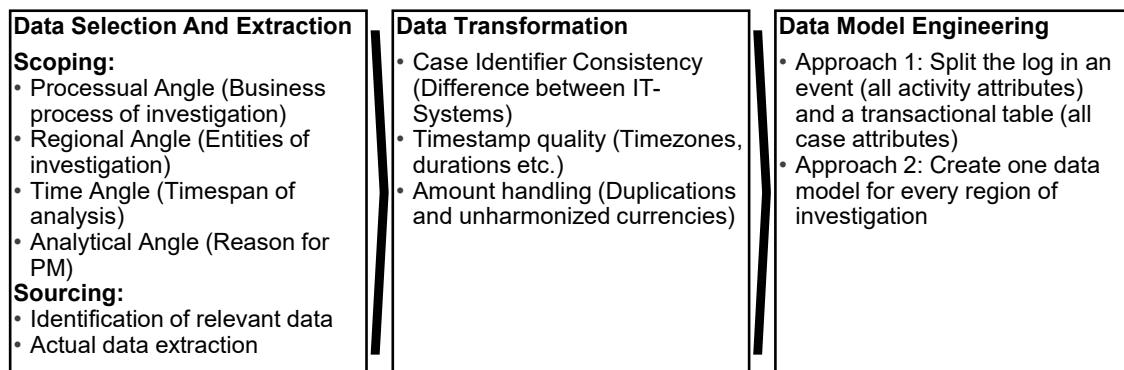


Bild A-16: Event Log Engineering in Anlehnung an [AL22]

In dem **Data Selection** Schritt legen die Autoren besonderen Wert auf die Bestimmung von vier Blickwinkeln auf das PM Projekt: den Prozess, die Region, den Zeitraum und die Analysefrage. Diese bestimmen das Projekt und werden häufig in der Praxis zu wenig beachtet. Im **Data Model Engineering** wird insbesondere der Umgang mit sehr großen Event Logs thematisiert. Generell empfiehlt sich bei großen Datensätzen die Attribute von Aktivitäten bzw. den Prozessinstanzen in unterschiedlichen Tabellen zu speichern (Approach 1 in Bild A-16). Bei der Analyse von unterschiedlichen Regionen sollten die Informationen über die Regionen in unterschiedlichen Tabellen gehalten werden, unabhängig von dem gewählten Datenmodell (Approach 2 in Bild A-16). Die Autoren merken

⁵⁵ Dr. Jans ist zum Zeitpunkt des Texts Assistant Professor für Business Informatik ins Hasselt, Belgien. [Jan17].

an, dass ihr Leitfaden kein Anspruch auf Vollständigkeit besitzt, sondern vielmehr markante, regelmäßige Fragestellungen darstellt.

Bewertung: ACCORSI UND LEBHERZ bieten Einblicke in das Erstellen eines Event Logs in der industriellen Praxis. An einigen Stellen werden klare Hilfestellungen geboten, bspw. durch die vier Blickwinkel. An anderer Stelle sind die Autoren weniger detailliert mit Hilfsmitteln, bspw. bei der Data Transformation. Dies könnte damit zusammenhängen, dass ähnlich wie zuvor schon JANS eine ERP-Perspektive eingenommen wird, sodass viele Herausforderungen und Fragestellungen sehr repetitiv sind. Auf Besonderheiten in der Produktion, wie Sensordaten oder heterogene Datenquellen aus mehreren IT-Systemen, wird nicht eingegangen.

A2.4.3 Discovery Recommendation Framework von AL-ABSI UND R'BIGUI

AL-ABSI UND R'BIGUI [AR23] präsentieren ein Framework zur Identifikation von herausfordernden Prozesscharakteristiken in einem gegebenen Event Log, wodurch eine Empfehlung eines Process Discovery Algorithmus möglich wird. Der Ansatz ist schematisch in Bild A-17 dargestellt. Dazu beschreiben die Autoren die mathematische Berechnung der einzelnen Prozesscharakteristiken. Ergänzend wird die Fähigkeit von zehn Algorithmen zur Bestimmung solcher Charakteristiken festgehalten. Durch einen Abgleich wird eine Empfehlung möglich. Die Autoren haben ihr Framework als Open Source Lösung für das PM Tool ProM zur Verfügung gestellt.

Bewertung: AL-ABSI UND R'BIGUI präsentieren ein umfassendes Rahmenwerk, welches die Auswahl von Algorithmen für einen gegebenen Event Log ermöglichen. Durch die Bereitstellung der Lösung als Open Source Softwarekomponente ist das Framework sehr zugänglich in der Praxis. Leider evaluieren die Autoren das Framework nur anhand von Benchmark-Datensätzen, wodurch der praktische Nutzen unklar ist. In der industriellen Praxis bleibt zudem fraglich, ob solche Frameworks überhaupt notwendig sind. Kommerzielle PM Lösungen bieten bspw. häufig keine Möglichkeit, dedizierte Algorithmen zu verwenden, sondern beschränken sich auf eigens entwickelte Heuristiken zur Darstellung von Prozessen⁵⁶. Zudem ist die Forschung zu PM Algorithmen hochdynamisch. Es bleibt abzuwarten, ob in den nächsten Jahren nicht ein Algorithmus vorgestellt wird, welcher andere Algorithmen und damit deren Auswahl obsolet werden lässt.

⁵⁶ Apromore nutzt bspw. Directly-Follow-Graphs, bei denen jedoch immer mindestens eine Kante von einer Aktivität ein- und ausgehen muss (<https://documentation.apromore.org/> Aufgerufen am 26.11.2023.).

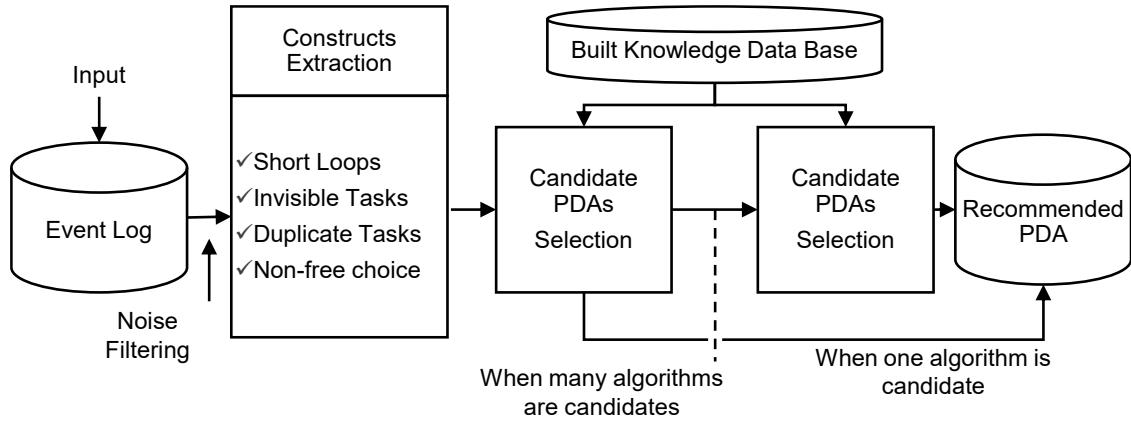


Bild A-17: Process Discovery Techniques Recommendation Framework nach AL-ABSI UND R'BIGUI [AR23]⁵⁷

A2.5 Weitere Ansätze zur Reifegradbestimmung

Dieser Abschnitt stellt Ergänzungen zu Abschnitt 3.4 vor.

A2.5.1 Ergänzungen zur den kritischen Erfolgsfaktoren nach MAMUDU ET AL.

In Abschnitt 3.4.2 werden die kritischen Erfolgsfaktoren von MAMUDU ET AL. [MBW+24] vorgestellt. In Tabelle A-5 sind alle Erfolgsfaktoren und Sub-Erfolgsfaktoren mit einer kurzen Erklärung aufgelistet.

Tabelle A-5: Erfolgsfaktoren und deren Beschreibung nach MAMUDU ET AL. [MBW+24, S. 8f.]

| Gruppe | Sub-Aspekt | Beschreibung |
|---|--|---|
| Unterstützung und Einbindung von Stakeholdern | Unterstützung und Einbindung von Stakeholdern | |
| | Managementunterstützung | Die Art der Beteiligung und Unterstützung vom Top-Level Management an PM Initiativen. |
| | Externe Stakeholder Unterstützung | Zusammenarbeit mit externen Mitarbeitern oder Branchenpartnern (z. B. Lieferanten), die Einfluss auf die Geschäftsprozesse eines Unternehmens und deren Ausführung haben. |

⁵⁷ Wie in Journal-Veröffentlichung üblich, zitieren die Autoren sich selbst aus einer Vorveröffentlichung.

| Gruppe | Sub-Aspekt | Beschreibung |
|---------------------------|--|--|
| | Fachliche Experten | Eine Gruppe von Personen, die ihr tiefes Verständnis eines bestimmten Geschäftsbereichs in die PM Arbeit einbringen. |
| | Nutzergruppen | Der Beitrag der Endnutzer (z. B. des Personals in der ersten Reihe) zu den PM Ergebnissen. |
| Informationsverfügbarkeit | Die Verfügbarkeit historischer Ereignisdaten und unterstützender Dokumentation für eine PM Initiative | |
| | Verfügbarkeit von Event Logs | Der Umfang, in dem historische Ereignisdaten für die PM Analyse verfügbar sind. |
| | Verfügbarkeit von Kontextinformationen | Zugang zu kontextbezogenen Informationen wie Prozessmodellen, Geschäftsregeln, Strategiedokumenten, rechtlichen und regulatorischen Anforderungen, die PM unterstützen können. |
| Technische Expertise | Die verschiedenen Arten von technischen Fähigkeiten und das erforderliche Maß an Erfahrung für die Durchführung von PM Projekten. | |
| | PM Expertise | Das erforderliche Know-how zur Durchführung von PM Initiativen und zur Interpretation der Ergebnisse. |
| | Datenextraktionsexpertise | Das erforderliche Fachwissen im Bereich der Datenanalyse für die Extraktion und Integration von Ereignisdaten für PM. |
| Team Konfiguration | Prozessanalyst Expertise | Das erforderliche Fachwissen für die Gestaltung, Rationalisierung und Umgestaltung von Geschäftsprozessen. |
| | Die Art der Zusammensetzung der an PM Projekten beteiligten Teams und Expertengruppen | |
| | Etablierte Einheiten | Ein spezielles Team, das innerhalb einer Organisation eingerichtet oder ausgelagert wird und |

| Gruppe | Sub-Aspekt | Beschreibung |
|--|--|--|
| | | dessen Hauptziel die Durchführung von PM Initiativen ist. z.B. ein Exzellenzzentrum (CoE). |
| | Ad-hoc Einheiten | Eine Gruppe von Experten aus verschiedenen Abteilungen der Organisation, die bei Bedarf die Durchführung von PM Projekten erleichtern. |
| | Consultants | Ein Team von externen Experten, die für die allgemeine Planung, die Umsetzung und die Unterstützung von PM Initiativen zuständig sind. |
| Das Ausmaß, in dem eine Organisation einen strukturierten Ansatz oder eine Technik zur Durchführung einer PM Initiative verfolgt. | | |
| Structured Process Mining Approach | Planung | Identifizierung von Fragen oder Projektzielen, Auswahl der zu untersuchenden Geschäftsprozesse und Zusammenstellung des Projektteams zur Durchführung von PM Initiativen. |
| | Extraktion | Festlegung des Umfangs der Datenextraktion, Extraktion von Ereignisdaten und Übertragung von Prozesswissen zwischen Geschäftsexperten und Prozessanalysten. |
| | Datenverarbeitung | Verwendung von Process-Mining-Tools zum Erstellen von Ansichten, Aggregieren von Ereignissen, Anreichern oder Filtern von Protokollen, um die erforderlichen Erkenntnisse aus Ereignisprotokollen zu gewinnen. |
| | Mining & Analysis | Anwendung von PM Techniken, um Fragen zu beantworten und Erkenntnisse zu gewinnen. |
| | Evaluierung | Verknüpfung der Analyseergebnisse mit Verbesserungsideen zur Erreichung der Projektziele. |
| | Prozessverbesserung und -unterstützung | Nutzung der gewonnenen Erkenntnisse zur Änderung der tatsächlichen Prozessausführung. |

| Gruppe | Sub-Aspekt | Beschreibung |
|-----------------------------------|---|--|
| Qualität der Daten und Event Logs | Vorkehrungen für die Gewinnung, Aufbereitung und Analyse von Ereignisdaten für PM Initiativen sowie Überlegungen zur Datenqualität. | |
| | Vorverarbeitung der Daten | Vorkehrungen für die Extraktion und Aufbereitung von Ereignisdaten aus einer oder mehreren Quellen für PM auf der Grundlage der gewonnenen Erkenntnisse. |
| | Event Log Qualitätsaspekte | Die Überlegungen zur Datenqualität und die Mindestanforderungen an die Ereignisprotokolle für PM. |
| Tool-Fähigkeiten | Die Funktionalitäten und Merkmale von PM Werkzeugen, die Organisationen für PM nutzen können (kategorisiert als PM bezogene (g1-g4) und allgemeine Fähigkeiten (g5-g8)). | |
| | Process discovery | Automatisierte Erkennung von Prozessmodellen und Prozessvisualisierung aus Ereignisdaten. |
| | Process benchmarking | Verwendung von Ereignisdaten für den Vergleich von Prozessverhalten und Prozessleistung. |
| | Conformance checking / Compliance | Erkennung von Abweichungen von Prozessnormen in Ereignisdaten. |
| | Analyse von Mustern | Die Identifizierung von Regeln, die bestimmte Muster innerhalb eines zu untersuchenden Prozesses beschreiben. |
| | Filtern | Die Auswahl eines kleineren Teils eines Ereignisdatensatzes zur Ansicht oder Analyse. |
| | Drilldowns | Die Fähigkeit eines PM Tools, den Benutzern die Möglichkeit zu geben, verschiedene Granularitätsebenen eines Prozesses zu untersuchen. |

| Gruppe | Sub-Aspekt | Beschreibung |
|-------------------|---|--|
| | Integrationsfähigkeit | Integration von PM Funktionen mit anderen Datenanalysefunktionen. |
| | Skalierbarkeit der Analyse | Die Fähigkeit des Tools, Daten zu analysieren, um Einblicke in einzelne, mehrere und durchgängige Prozesse zu erhalten. |
| Projektmanagement | Das Management von Aktivitäten und Ressourcen, wie Zeit und Kosten, in allen Phasen des PM Projekts, um die definierten Projektergebnisse zu erreichen. | |
| | Projektumfang | Ein definiertes Gesamtziel oder eine Zielsetzung, die eine Organisation zu erreichen versucht und die Spezifität der Initiative. |
| | Governance | Der Rahmen, in dem die Projektentscheidungen getroffen werden, die Struktur und die Risikoüberlegungen des Projekts. |
| | Kosten und Budget | Die Kosten- und Budgetüberlegungen und -entscheidungen für das Projekt. |
| Change Management | Die Reihe von Aktivitäten, die sicherstellen, dass die notwendigen Veränderungen, die sich aus den PM Ergebnissen ergeben, in der Organisation umgesetzt werden. | |
| Training | Aufklärung und Sensibilisierung der Beteiligten über die angemessene Durchführung von PM Initiativen zur Erreichung der angestrebten Ergebnisse. | |

A2.5.2 Untersuchung der Terminatoren von PM Initiativen in Organisationen

STEIN ET AL. [SLv+24] untersuchen anhand einer strukturierten Literaturrecherche und Interviews, inwiefern aus PM Projekten resultierende Handlungsmaßnahmen anschließend von Organisationen umgesetzt werden. Auf dieser Basis leiten die Autoren fünf Gründe ab, warum die Handlungsmaßnahmen nicht umgesetzt wurden. Diese fünf Gründe nennen die Autoren Terminatoren, da sie eine fehlende Umsetzung von Verbesserungsmaßnahmen mit der Auflösung der PM Initiative gleichsetzen. Die Untersuchung ist auf der CAiSE veröffentlicht.

Die identifizierten Terminatoren lassen sich drei Gruppen zuordnen. Diese Gruppen sind in Bild A-18 als Pfeile dargestellt, die in den einzelnen Gründen münden. Die in einer Organisation zur Verfügung stehenden **Daten** können der Grund sein, dass ein zu hoher Aufwand in der Extraktion oder der Vorverarbeitung eine PM Initiative scheitern lässt. Die **Projekte** selbst können zu drei Terminatoren führen. Erstens kann der Verlust von Interesse von wichtigen Stakeholdern dazu führen, dass die PM Initiative nicht fortgeführt wird. Zweitens kann bspw. durch einen plötzlichen Abgang von wichtigen Akteuren ein Mangel an Fachwissen entstehen. Drittens kann eine mangelnde Motivation, bspw. durch neu Priorisierung oder Ressourcenmangel, dazu führen, dass die PM Initiative scheitert. Schlussendlich kann es PM Initiativen passieren, dass sich eine Organisation den generierten „**Insights**“ verschließt. Dies kann Aufgrund von Verweigerung der Ergebnisse, aber auch der fehlenden Akzeptanz von Datenbasierten Erkenntnissen der Fall sein.

Die Autoren leiten zwei Empfehlungen ab. Erstens müssen Forschung und Softwareanbieter stärker daran arbeiten, die Datenvorverarbeitung zu vereinfachen. Zweitens müssen in PM Projekten Akteure beteiligt sein, die berechtigt dazu sind Verbesserungen durchzuführen und auch ein finanzielles Interesse daran haben.

Bewertung: Stein et al. [SLv+24] präsentieren eine fundierte Ausarbeitung von gängigen Fallstricken in PM Initiativen. Der Ansatz erfüllt daher die Anforderung nach der Bereitstellung eines PM Reifegradmodells (A8) und der Bereitstellung von Handlungsmaßnahmen zur Leistungssteigerung (A10) stellenweise.

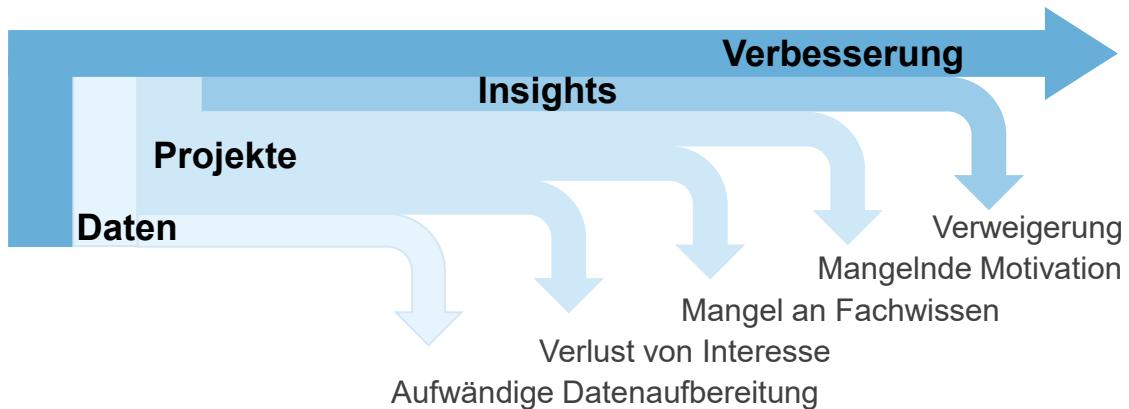


Bild A-18: Ursachen für die Terminatoren von PM Initiativen nach STEIN ET AL. [SLv+24]

A3 Ergänzungen zur Systematik

In diesem Abschnitt werden Ergänzungen zur erarbeitenden Systematik präsentiert. Abschnitt A3.1 stellt inhaltliche Ergänzungen vor. Abschnitt A3.2 stellt die verwendeten Forschungsmethoden vor.

A3.1 Ergänzungen zu Vorgehensmodellen und Hilfsmitteln

In diesem Abschnitt werden Ergänzungen zu den erarbeitenden Artefakten in Abschnitt 4 vorgestellt. Die Reihenfolge folgt dem Aufbau der Arbeit.

A3.1.1 Ergänzung zum Handout

In Abschnitt 4.3.2 wird ein Handout mit beispielhaften Fragen in Fertigungsprozessen skizziert. Das vollständige Handout mit allen Fragen findet sich in Bild A-19.

| | | | | | | | | |
|--|-----------------------------|---|----------|-----------------------------|--------|----------|----------|-----------------------------|
|  | Prozess-Ablauf |  | | | | | | |
| <p>P-1) Wie sieht das Prozessmodell / Ressourcen-Interaktionsmodell aus?</p> <p>P-2) Welche Arbeitsschritte werden durchgeführt (Task Mining)?</p> <p>P-3) Was ist der Materialfluss zwischen den Ressourcen?</p> <p>P-4) Wie kann ein Prozessmodell um zusätzliche Informationen aus den Ereignisprotokollen erweitert werden?</p> <p>P-5) Wie hoch ist die Leistung von mehreren miteinander verbundenen Prozessen?</p> <p>P-6) Wo weicht der Ablauf vom Standardvorgehen ("Happy Path") ab?</p> <p>P-7) Wo finden Nacharbeiten statt?</p> | | | | | | | | |
|  | Deskriptive Analysen |  | | | | | | |
| <p>DA-1) Welche Charakteristiken (bspw. Durchlauf-, Stillstands- oder Rüstzeiten) weisen die Ressourcen (bspw. Arbeitsstationen) auf?</p> <p>DA-2) Wie viele Materialien, Produkte, etc. sind im Prozess?</p> <p>DA-3) Wie sieht die Rüst- und Wegematrix aus?</p> | | | | | | | | |
|  | Root-Cause: |  | | | | | | |
| <p>RC-1) Warum weichen manche Fälle vom Standardablauf ab?</p> <p>RC-2) Wie wird die Leistung eines Vorgangs durch andere Faktoren beeinflusst?</p> <p>RC-3) Was sind die Ursachen für die Nichteinhaltung in einem Prozess?</p> | | | | | | | | |
|  | Regeln |  | | | | | | |
| <p>R-1) Welche Regeln existieren in der Produktion?</p> <p>R-2) Ist ein laufender Prozess konform mit einigen vordefinierten Regeln und Beschränkungen?</p> <p>R-3) An welchen Stellen finden kritische Prozessverzweigungen statt, die bestimmen, welchen Weg ein Prozess nimmt?</p> | | | | | | | | |
|  | Vergleichend |  | | | | | | |
| <p>V-1) Worin unterscheidet sich ein spezieller Prozessdurchlauf von dem Prozessmodell?</p> <p>V-2) Was sind die Gemeinsamkeiten / Unterschiede zwischen zwei oder mehreren Varianten eines Prozesses vor dem Hintergrund der Betrachtungswinkel (vgl. Abbildung)?</p> <p>V-3) Was sind die Hauptvarianten eines Prozesses?</p> | | | | | | | | |
|  | Simulation |  | | | | | | |
| <p>S-1) Welche Auswirkung hätte die spontane Freigabe von weiteren Fertigungsaufträgen?</p> <p>S-2) Welchen Effekt hätte die Beseitigung des momentanen Bottlenecks?</p> <p>S-3) Welchen Effekt hätten größere Puffer?</p> <p>S-4) Welche Auswirkungen hätten kürzere / längere Durchlaufzeiten?</p> | | | | | | | | |
| Fortgeschritten | | | | | | | | |
| <p>F-1) Welche voraussichtlichen Restlaufzeiten / Verzögerungen / Wartezeiten / Ergebnisse / KPI gibt es bei einem laufenden Fall?</p> <p>F-2) Was ist der empfohlene Ausführungspfad / die Ressourcenzuweisung / der Prozessausführende für einen laufenden Fall?</p> <p>F-3) Welches ist die nächste(n) Aktivität(en) eines laufenden Prozessdurchlaufs?</p> <p>F-4) Wann sollten Eingriffe vorgenommen werden, um die Wahrscheinlichkeit eines positiven Ergebnisses zu erhöhen?</p> | | | | | | | | |
|  | Aufwand |  | | | | | | |
| <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%; padding: 5px;">Produkte</td> <td style="width: 33%; padding: 5px;">(Historisch / Live) Zeit</td> <td style="width: 33%; padding: 5px;">Layout</td> </tr> <tr> <td style="width: 33%; padding: 5px;">Standort</td> <td style="width: 33%; padding: 5px;">Material</td> <td style="width: 33%; padding: 5px;">(Involvierte) Ressourcen</td> </tr> </table> | | | Produkte | (Historisch / Live) Zeit | Layout | Standort | Material | (Involvierte) Ressourcen |
| Produkte | (Historisch / Live) Zeit | Layout | | | | | | |
| Standort | Material | (Involvierte) Ressourcen | | | | | | |
| <p><i>Betrachtungswinkel der Fertigung</i></p> | | | | | | | | |

Bild A-19: Vollständige Handout mit typischen Fragen in Fertigungsprozessen

A3.1.2 Ergänzung zum RVM

In Abschnitt 4.4.3 wird das RVM vorgestellt. Der Algorithmus für Schritt (5) ist in Tabelle A-6 dargestellt.

Tabelle A-6: Algorithmus zur iterativen Zuordnung von CaseIDs

Case-inheritance-algorithm

Input: dataframe, dictionary of activity relations

Output: dataframe

```

1: initialize previous_length with -1
2: while previous_length != length(activities with case_id):
3:     previous_length = length(activities with case_id)
4:     for every case_id:
5:         find activities that can have a relation
6:         get timestamps of activities
7:         search relating, undefined activities, where timestamps are close
8:         set every case_id in the activity_group to current case_id

```

A3.1.3 Ergänzungen zum Katalog mit typischen Analysefragen

In Abschnitt 4.4.4 wird der Aufbau der typischen Analysefragen nach LASHKEVICH ET AL. [LMD23] vorgestellt. Eine Übersicht der 21 Analysefragen unterteilt in drei Gruppen ist in Bild A-20 dargestellt. Zwei der übersetzten und komprimierten Steckbriefe werden nachfolgend in Bild A-21 und Bild A-22 dargestellt. Das originale Gegenstück zu Bild A-21 ist in Abschnitt 3.3.4 als Bild 3-8 dargestellt.

| Aktivitäten- & ressourcenorientiert | Kontroll- & zeitflussorientiert | Prozess- & muda-orientiert |
|-------------------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| 01 Kleine Aktivitäten | 10 Nacharbeit | 17 Manuelle Prozesse |
| 02 Große Aktivitäten | 11 Knock-Out-Checks | 18 Prozesskomplexität |
| 03 Aktivitätsvarianten | 12 Workarounds | 19 Ähnliche Varianten |
| 04 Ähnliche Aktivitäten | 13 Höchste Wartezeiten | 20 Overprocessing |
| 05 Überlastung | 14 Längste Durchläufe | 21 Overproduction |
| 06 Interne Kontrollen | 15 Bottlenecks | |
| 07 Sequenzielle Aktivitäten | 16 Zeitaufwändige Abschnitte | |
| 08 Häufige Übergaben | | |
| 09 Ping-Pong-Verhalten | | |

Bild A-20: Übersicht der 21 Analysevorlagen in Anlehnung an [LMD23]

| Improvement Opportunity | | Große Aktivitäten | | | |
|---|---|-------------------|---|---|-------------------|
| Def | Aktivitäten, die viele Verfahren und eine lange Bearbeitungszeit erfordern | In | Aktivitäten, Startzeitstempel, Endzeitstempel | Out | Große Aktivitäten |
| Visualization Settings | DFG | Activities | - | Average | |
| Hintergrund | Durchführung | | | Visualisierung (Apromore) | |
| Große Aktivitäten sind häufig komplexer und schaffen Intransparenz über den Prozessfortschritt. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Durchschnittliche Bearbeitungsdauer der Prozessschritte anzeigen. 2. Identifizieren Sie die Aktivitäten mit den längsten Bearbeitungszeiten. 3. Filtern Sie alle Aktivitäten heraus, die nicht von Menschen bearbeitet werden. | | | Die eingekreisten Aktivitäten dauern sehr lange und werden von Menschen ausgeführt! | |
| Redesign Optionen | <ul style="list-style-type: none"> • Zerlege eine große Aktivität in mehrere kleine Aktivitäten. • Unterteilen Sie eine allgemeine Tätigkeit in mehrere alternative Aufgaben, die besser auf die Fähigkeiten der Ressourcen und die Art der Fälle abgestimmt sind. | | | | |

Bild A-21: Beispielhafte Analysevorlagen Nr. 02 für „Große Aktivitäten“ in Anlehnung an [LMD23]

| Improvement Opportunity | | Unabhängige sequenzielle Aktivitäten | | | |
|---|---|--------------------------------------|---|--|--|
| Def | Aktivitäten, die nacheinander ausgeführt werden, ohne das Inputs, Outputs und Ressourcen voneinander abhängig sind | In | Aktivitäten, Endzeitstempel, Ressourcen | Out | Fragments mit unabhängigen, aufeinanderfolgenden Aktivitäten |
| Visualization Settings | DFG / BPMN | Activities | Case | - | |
| Hintergrund | Durchführung | | | Visualisierung (Apromore) | |
| Diese IO prüft Vorgänge auf sequentielle Unabhängigkeit. Dies gilt, wenn sie von verschiedenen Ressourcen ausgeführt werden. Wenn alle Aktivitäten des Fragments von verschiedenen Ressourcen ausgeführt werden, sind sie unabhängig. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Ermitteln Sie Aktivitäten, die häufig aufeinander folgen. 2. Erstellen Sie eine Prozesslandkarte, in der Parallelitäten dargestellt sind (bspw. BPMN oder Petri Netze). 3. Identifizieren Sie jene Prozessschritte im DFG, die häufig aufeinander folgen, aber im BPMN keine Parallel-Verknüpfung (+) besitzen. 4. Prüfen Sie, ob die Aktivitäten wirklich unabhängig voneinander sind, indem Sie die ausführenden Ressourcen vergleichen. Unabhängige Aktivitäten haben unterschiedliche Ressourcen! | | | Obwohl die beiden Aktivitäten häufig aufeinander folgen, sind sie parallel ausführbar! | |
| Redesign Optionen | <ul style="list-style-type: none"> • Ordnen Sie die unabhängigen sequenziellen Aktivitäten neu an, damit sie parallel ausgeführt werden können. | | | | |

Bild A-22: Beispielhafte Analysevorlagen Nr. 07 für „Unabhängige sequenzielle Aktivitäten“ in Anlehnung an [LMD23]

A3.1.4 Process Mining Quick-Check

In Abschnitt 4.5.1 wird das Vorgehen zur Leistungsbewertung und -steigerung vorgestellt. Im Schritt der Zustandserfassung kommt der PM Quick Check zum Einsatz. Für die Verwendung von Reifegradmodellen ist die Akzeptanz und das Verständnis der Stakeholder im untersuchten Bereich wichtig (vgl. Abschnitt 2.3.2). Um den Einstieg der Stakeholder in die Leistungsbewertung und -steigerung zu erleichtern, wurde der PM Quick Check entwickelt.

Der Quick-Check wurde im Rahmen der erstmaligen Veröffentlichung des P3M auf der ECIS [BLB+23] als unterstützendes Hilfsmittel vorgestellt. Der Fragebogen ist für PM Endanwender konzipiert. Er folgt keiner speziellen Methode, sondern soll möglichst schlicht, praxisnah und hilfreich für die ausfüllenden Personen sein.

Der PM Quick Check ist ein Fragebogen bestehend aus 15 kurzen Fragen, welcher die relevantesten Handlungselemente aus dem P3M einführt und abfragt. Basierend auf den ausgefüllten Fragen wird am Ende des Fragebogens eine automatisierte Einteilung in eine von vier Stufen unternommen. Zu jeder Einteilung wird eine kurze Begründung und mögliche Aktionen geboten, um die vorläufige Reife zu steigern. Eine Übersicht der Fragen ist auf der linken Hälfte von Bild A-23 gegeben.

| Fragenkategorie | | Anfänger | |
|-----------------|------|---|---|
| 1. Allgemeines | F1 | Motivationsgrund für PM | Begründung: Ihr individuelles Verständnis für PM ist noch nicht ausgeprägt. Aktionen: Verbessern Sie ihr Verständnis und identifizieren Sie potenzielle Mehrwerte. |
| | F2 | Individuelles Verständnis | |
| | F3 | Vorhandensein eines Use Case | |
| | F3.1 | Spezifikationen des Use Case | |
| | F4 | Managementunterstützung für PM | |
| | F4.1 | Spezifikation der Unterstützung | |
| | F5 | Engagiertes Team für PM | |
| | F5.1 | Zusammenstellung des Teams | |
| | F1 | Vorhandene prozessorientierte IT-Systeme | |
| | F2 | IT-Infrastruktur und Prozess ermöglichen PM | |
| 2. Technisches | F2.1 | Spezifikation der Prozesse | Begründung: Es sind wenig IT-Systeme im Einsatz oder noch sehr wenig Prozesse digital. Aktionen: Identifizieren Sie Prozesse mit Daten, bspw. den Vertriebs- oder Einkaufsprozess. |
| | F2.2 | Bewertung der Prozesse | |
| | F3 | Geschwindigkeit der Event Log Extraktion | |
| | F4 | PM-Tool Verfügbarkeit | |
| | F4.1 | Benennung des Tools | |
| High Potential | | Begründung: Ggf. existiert noch kein PM-Tool, ansonsten sind die Grundlagen perfekt. Aktionen: Nutzen Sie kostenlose PM-Tools und füllen Sie das vollständige P3M aus. | |

Bild A-23: Übersicht der Fragen und Einordnungsgruppen des PM Quick Checks

Die Fragen unterteilen sich in eine allgemeine und eine technische Hälfte. Im **allgemeinen Teil** werden Fragen zu der Motivation, den existierenden Use Cases, der Managementunterstützung und des Teams gestellt. Für manche Fragen existieren Folgefragen. Beispielsweise wird in Frage 3 gefragt, ob ein Use Case existiert. Wenn ein Use Case existiert, wird der Befragte gebeten, diesen kurz zu beschreiben. Dies hilft der Leistungsbewertung durch den Bewertenden. Im **technischen Teil** wird vor allem die Datenbasis abgefragt. Dies erfolgt bspw. über die Abfrage der eingesetzten IT-Systeme. In fortgeschrittenen Fällen kann auch bewertet werden, wie schnell Event Logs extrahiert werden können. Jeder Befragte muss alle 15 Fragen ausfüllen. Abschließend wird eine automatisierte Einteilung in eine von vier Gruppen geboten. Die erste Gruppe ist der **Anfänger**. Ein Anfänger zeichnet sich dadurch aus, dass noch kein umfassendes Verständnis für PM

vorliegt. Es wird empfohlen, PM besser zu verstehen und prinzipielle Mehrwerte für die eigene Organisation zu identifizieren. Die Pfeile in Bild A-23 zwischen den Fragen und der Einordnung zeigen an, welche Frage für die Einordnung ausschlaggebend ist. Die zweite Gruppe ist der **Theoretiker**. Diese Gruppe zeichnet sich durch ein umfassendes Verständnis zu PM aus, hat dieses aber noch nicht zu Identifikation und Definition eines Use Cases in seiner Organisation nutzen können. Folglich ist auch noch kein Projektteam für den Use Case bestimmt. Die dritte Gruppe ist der **Organisations-Strategie**. Diese Gruppe hat schon einen Use Case und ein Projektteam, aber die Organisation verfügt nur über wenige IT-Systeme oder digital Ablaufende Prozesse. Die letzte Gruppe sind die **High Potentials**, die ggf. sogar schon erste Erfahrung mit PM in der Organisation gewinnen konnten.

Der Fragebogen ist in LimeSurvey implementiert⁵⁸. Er richtet sich an zwei Zielgruppen: zum einen kann er im Allgemeinen von an PM interessierten Personen ausgefüllt werden. Der PM Quick Check informiert dadurch primär über die Möglichkeit einer Leistungsbewertung und -steigerung. Zum anderen dient der Quick Check im Rahmen der Leistungsbewertung und -steigerung dazu, den aktuellen Leistungszustand zu erfassen. Viele relevante Informationen können für die bewertende Person schon vor einem eigentlichen Reifegradworkshop identifiziert werden.

A3.1.5 Das vollständige P3M

In Abschnitt 4.5.2 wird das P3M vorgestellt. In der Tabelle A-7 sind die Reifegradstufen je Handlungselement dargestellt.

Tabelle A-7: Das P3M mit den Reifegradstufen je Handlungselement

| Handlungsfeld | Handlungselement | Reifegradstufen | | | | |
|---------------|------------------|---|---|--|---|---|
| | | Initial | Rudimentär | Leuchtturm | Systematisch | Optimierend |
| Organisation | Purpose | Es ist noch kein konkreter Use Case definiert | Es besteht ein erster Use Case für das PM | Eine Vision ist schriftlich festgehalten, mit Kennzahlen versehen und wird überwacht | Die Anwendung von PM wird basierend auf einer Roadmap kontinuierlich hinsichtlich neuer Techniken oder Prozesse erweitert | Eine langfristig verfolgte Vision wird stetig weiterentwickelt und systematisch hinterfragt |

⁵⁸ <https://websites.fraunhofer.de/process-mining-readiness/index.php/194818?lang=de> zuletzt aufgerufen am 07.04.2024.

| Handlungsfeld | Handlungselement | Reifegradstufen | | | | |
|--------------------------------------|--|--|---|--|--|---|
| | | Initial | Rudimentär | Leuchtturm | Systematisch | Optimierend |
| Datenausgangslage | Center of Excellence für PM | Keine Einheit der Organisation bündelt den Support für PM | Eine Einheit beschäftigt sich mit PM mit Fokus auf einen spezifischen Use Case Zeithorizonte sind kurzfristig | Eine interdisziplinäre Einheit behandelt mehrere Use Cases Zeithorizonte sind mittelfristig | Ein (zentralisiertes oder hybrides) Center of Excellence leitet Rollenverteilung, Aufgaben und Verpflichtungen für das PM Zeithorizonte sind langfristig | Durch eine Verankerung in die Aufbauorganisation wird PM langfristig platziert Zeithorizonte sind visionär und zukunftsorientiert |
| | Prozessbewusstsein | Kein Prozessbewusstsein (Funktionsbereiche agieren und optimieren für sich selbst) | Erstes Prozessbewusstsein durch funktionsübergreifendes Denken | Funktionsübergreifendes Prozessmanagement durch bspw. feste Zuständigkeiten, Standardisierungsmaßnahmen und KPI | Zielgesteuerte End-to-End Prozesse durch bspw. proaktives Handeln und strategische Ausrichtung von Prozessen | Kontinuierliche Optimierung der End-to-End Prozesse |
| | Data-Driven-Decision Making | Daten werden nicht zur Entscheidungsunterstützung genutzt | Daten werden passiv gesammelt , aber nicht zur Entscheidungsunterstützung genutzt | Daten werden aktiv gesammelt , jedoch noch nicht aktiv zur Entscheidungsunterstützung herangezogen | Daten werden zur Entscheidungsunterstützung genutzt | Datenbasierte Lösungen werden in relevanten Unternehmensbereichen etabliert und machen die Hauptinformationsquelle aus |
| | Wandlungsfähigkeit | Unternehmenskultur ist starr | Wandlungsfähig funktioniert nur top-down | Wandlungsfähige Kultur etabliert sich unter den Mitarbeitern insb. in Form einer gelebten Fehlerkultur | Fehler werden als Chance gesehen etwas zu lernen | Wandel wird in allen Ebenen als natürlich angesehen |
| | Methoden der Process Mining Projektphasen | Keine unterstützenden Methoden im Einsatz | Unterstützende Methoden sind undokumentiert | Unterstützende Methoden sind dokumentiert | Unterstützende Methoden werden an Projektphasen gekoppelt und sind verpflichtend | Methoden werden an einer Stelle gebündelt und weiterentwickelt |
| Prozessorientierte IT-Systeme | Daten werden überwiegend per Hand aufgenommen | Die Mehrheit der Daten wird automatisch als Nebenprodukt von IT-Systemen aufgezeichnet, aber es besteht | Daten werden automatisch von IT-Systemen aufgezeichnet und die Daten im System sind verlässlich , aber | Daten werden automatisch und verlässlich von IT-Systemen aufgenommen und sind zudem prozessorientiert | Zusätzlich werden Datenschutz, Sicherheit und klare semantische Strukturen garantiert | |

| Handlungsfeld | Handlungselement | Reifegradstufen | | | | |
|---------------------------------|---|---|---|--|---|-------------|
| | | Initial | Rudimentär | Leuchtturm | Systematisch | Optimierend |
| Zugänglichkeit der Daten | | kein Anspruch auf Vollständigkeit | es besteht kein Anspruch auf Vollständigkeit | | | |
| | Daten sind nicht optimal zugänglich | Bereiche entwickeln Strategie , um Zugänglichkeit zu erhöhen Daten müssen gezielt und aufwendig extrahiert werden | Strategie wird auf relevante Unternehmensbereiche ausgeweitet und angeglichen Daten werden auf Anfrage mit einem speziellen Vorgehen abgefragt | Hürden werden systematisch abgebaut und die Zugriffszeiten durch gezielte Maßnahmen beschleunigt Extraktion ist standardisiert und ermöglicht direkte Datentransformation | Daten sind jetztzeit entspre- chend der Analysefragen direkt zugänglich - ohne zusätzlichen Aufwand der IT | |
| Umfang der Daten | Keine zusätzliche Beschreibung der Daten | Begrenzter Datenumfang durch manuelle Erweiterung und Prüfung | Funktionaler Datenumfang, erste automatisierte Kontextualisierung für spezielle Anwendungsszenarien | Fortgeschritten Datenumfang, durch unternehmensweite Standards für die Kontextualisierung | Daten werden automatisch um ihren Kontext erweitert | |
| | Wissen im Umgang mit PM Tools | Relevante Unternehmensbereiche verfügen über praxisun-erprobtes Wissen zu PM Tools | Handlungsfähiges, eigenständiges Wissen zu PM Tools in relevanten Unternehmensbereichen vorhanden | Relevante Unternehmensbereiche haben routiniertes Wissen im Umgang mit Tools und können komplexe Aufgaben eigenständig lösen | In der Organisation wird aktiv ein Wissensma- nagement zur Externalisie- rung von Wissen und Vernet- zung der Mitarbeiter durch eine gesonderte Stelle durchge- führt | |
| People | Wissen über technische Rahmenbedingungen | Relevante Unternehmensbereiche haben theoretisches Wissen zu technischen Rahmenbedingungen | Handlungsfähiges, eigenständiges Wissen zu technischen Rahmenbedingungen in relevanten Unternehmensbereichen vorhanden | Relevante Unternehmensbereiche haben routiniertes Wissen über technische Rahmenbedingungen und können komplexe Aufgaben eigenständig lösen | In der Organisation wird aktiv ein Wissensma- nagement zur Externalisie- rung von Wissen und Vernetzung der Mitarbeiter durch eine gesonderte Stelle durchge- führt | |

| Handlungsfeld | Handlungselement | Reifegradstufen | | | | |
|---------------|---|---|--|--|---|--|
| | | Initial | Rudimentär | Leuchtturm | Systematisch | Optimierend |
| | Wissen über Datenmanipulation (Vorverarbeitung) | Es existiert kein Wissen über Datenvorverarbeitung | Relevante Unternehmensbereiche haben theoretisches Wissen zur Datenvorverarbeitung | Handlungsfähiges, eigenständiges Wissen zur Datenvorverarbeitung in relevanten Unternehmensbereichen vorhanden | Relevante Unternehmensbereiche haben routiniertes Wissen zur Datenvorverarbeitung und können komplexe Aufgaben eigenständig lösen | In der Organisation wird aktiv ein Wissensmanagement zur Externalisierung von Wissen und Vernetzung der Mitarbeiter durch eine gesonderte Stelle durchgeführt |
| | Wissen über klassisches Data Mining | Es existiert kein Wissen über klassisches Data Mining | Relevante Unternehmensbereiche haben theoretisches Wissen über klassisches Data Mining | Handlungsfähiges, eigenständiges Wissen über klassisches Data Mining in relevanten Unternehmensbereichen vorhanden | Relevante Unternehmensbereiche haben routiniertes Wissen über klassisches Data Mining und können komplexe Aufgaben eigenständig lösen | In der Organisation wird aktiv ein Wissensmanagement zur Externalisierung von Wissen und Vernetzung der Mitarbeiter durch eine gesonderte Stelle durchgeführt |
| | Wissen über PM Grundlagen | Es existiert kein Wissen über PM Grundlagen | Relevante Unternehmensbereiche haben theoretisches Wissen über PM Grundlagen | Handlungsfähiges, eigenständiges Wissen über PM Grundlagen in relevanten Unternehmensbereichen vorhanden | Relevante Unternehmensbereiche haben routiniertes Wissen über PM Grundlagen und können komplexe Aufgaben eigenständig lösen | In der Organisation wird aktiv ein Wissensmanagement zur Externalisierung von Wissen und Vernetzung der Mitarbeiter durch eine gesonderte Stelle durchgeführt |
| | Wissen über fortgeschrittenen Anwendungsfällen | Es existiert kein Wissen zu fortgeschrittenen Anwendungsfällen | Relevante Unternehmensbereiche haben theoretisches Wissen zu fortgeschrittenen Anwendungsfällen | Handlungsfähiges, eigenständiges Wissen zu fortgeschrittenen Anwendungsfällen in relevanten Unternehmensbereichen vorhanden | Relevante Unternehmensbereiche haben routiniertes Wissen zu fortgeschrittenen Anwendungsfällen und können komplexe Aufgaben eigenständig lösen | In der Organisation wird aktiv ein Wissensmanagement zur Externalisierung von Wissen und Vernetzung der Mitarbeiter durch eine gesonderte Stelle durchgeführt |

| Handlungsfeld | Handlungselement | Reifegradstufen | | | | |
|-------------------------|----------------------------|--|--|---|--|---|
| | | Initial | Rudimentär | Leuchtturm | Systematisch | Optimierend |
| Umfang der PM Anwendung | Discovery | PM wird nicht zur Process Discovery genutzt | Process Discovery wird für simple Abschnitte bzw. nicht durch die Organisation selbst genutzt | Process Discovery wird in vereinzelten Use Cases durch die Organisation selbst genutzt | Für alle relevanten unternehmerischen Prozesse wird Process Discovery genutzt | Der Einsatz von Process Discovery wird kontinuierlich optimiert und ausgeweitet |
| | Analysis | PM wird nicht zur Process Analysis genutzt | Process Analysis wird für simple Abschnitte bzw. nicht durch die Organisation selbst genutzt | Process Analysis wird in vereinzelten Use Cases durch die Organisation selbst genutzt | Für alle relevanten unternehmerischen Prozesse wird Process Analysis genutzt | Der Einsatz von Process Analysis wird kontinuierlich optimiert und ausgeweitet |
| | Monitoring und Controlling | PM wird nicht zum Process Monitoring und Controlling genutzt | Process Monitoring und Controlling werden für simple Abschnitte bzw. nicht durch die Organisation selbst genutzt | Process Monitoring und Controlling werden in vereinzelten Use Cases durch die Organisation selbst genutzt | Für alle relevanten unternehmerischen Prozesse werden Process Monitoring und Controlling genutzt | Der Einsatz von Process Monitoring und Controlling wird kontinuierlich optimiert und ausgeweitet |
| | Advanced Application | PM wird nicht für Advanced Applications genutzt | Advanced Applications werden für simple Abschnitte bzw. nicht durch die Organisation selbst angewandt | Advanced Applications werden in vereinzelten Use Cases durch die Organisation selbst angewandt | Für alle relevanten unternehmerischen Prozesse werden Advanced Applications angewandt | Die Anwendung von Advanced Applications wird kontinuierlich optimiert und ausgeweitet |
| Governance | Method / Tool Governance | Keine oder undokumentierte Method / Tool-Richtlinien | Dokumentierte Method / Tool-Richtlinien, allerdings nicht konsequent durchgesetzt | Dokumentierte Method / Tool-Richtlinien sind an einer Stelle für alle Stakeholder ersichtlich und sind konsequent durchgesetzt | Zukünftige und historische Änderungen der Method / Tool-Richtlinien sind an einer Stelle für alle ersichtlich | Governance Anliegen werden an einer Stelle in der Organisation gebündelt und weiterentwickelt |

| Handlungsfeld | Handlungselement | Reifegradstufen | | | | |
|---------------------------------|---|--|---|---|--|-------------|
| | | Initial | Rudimentär | Leuchtturm | Systematisch | Optimierend |
| Rollen und Verantwortlichkeiten | Keine oder undokumentierte Responsibility-Richtlinien | Dokumentierte Responsibility-Richtlinien, allerdings nicht konsequent durchgesetzt | Dokumentierte Responsibility-Richtlinien sind an einer Stelle für alle Stakeholder ersichtlich und sind konsequent durchgesetzt | Zukünftige und historische Änderungen der Responsibility-Richtlinien sind an einer Stelle für alle ersichtlich | Governance Anliegen werden an einer Stelle in der Organisation gebündelt und weiterentwickelt | |
| | Keine oder undokumentierte Prozess-Richtlinien | Dokumentierte Prozess-Richtlinien, allerdings nicht konsequent durchgesetzt | Dokumentierte Prozess-Richtlinien sind an einer Stelle für alle Stakeholder ersichtlich und sind konsequent durchgesetzt | Zukünftige und historische Änderungen der Prozess-Richtlinien sind an einer Stelle für alle ersichtlich | Governance Anliegen werden an einer Stelle in der Organisation gebündelt und weiterentwickelt | |
| | Keine oder undokumentierte Daten-Richtlinien | Dokumentierte Daten-Richtlinien, allerdings nicht konsequent durchgesetzt | Dokumentierte Daten-Richtlinien sind an einer Stelle für alle Stakeholder ersichtlich und sind konsequent durchgesetzt | Zukünftige und historische Änderungen der Daten-Richtlinien sind an einer Stelle für alle ersichtlich | Governance Anliegen werden an einer Stelle in der Organisation gebündelt und weiterentwickelt | |

A3.1.6 Ergänzungen zu den Reifegradprofilen

In Abschnitt 4.5.3 wird das erste Reifegradprofil vorgestellt. Bild A-24, Bild A-25, Bild A-26 und Bild A-27 zeigen die weiteren vier Reifegradprofile.

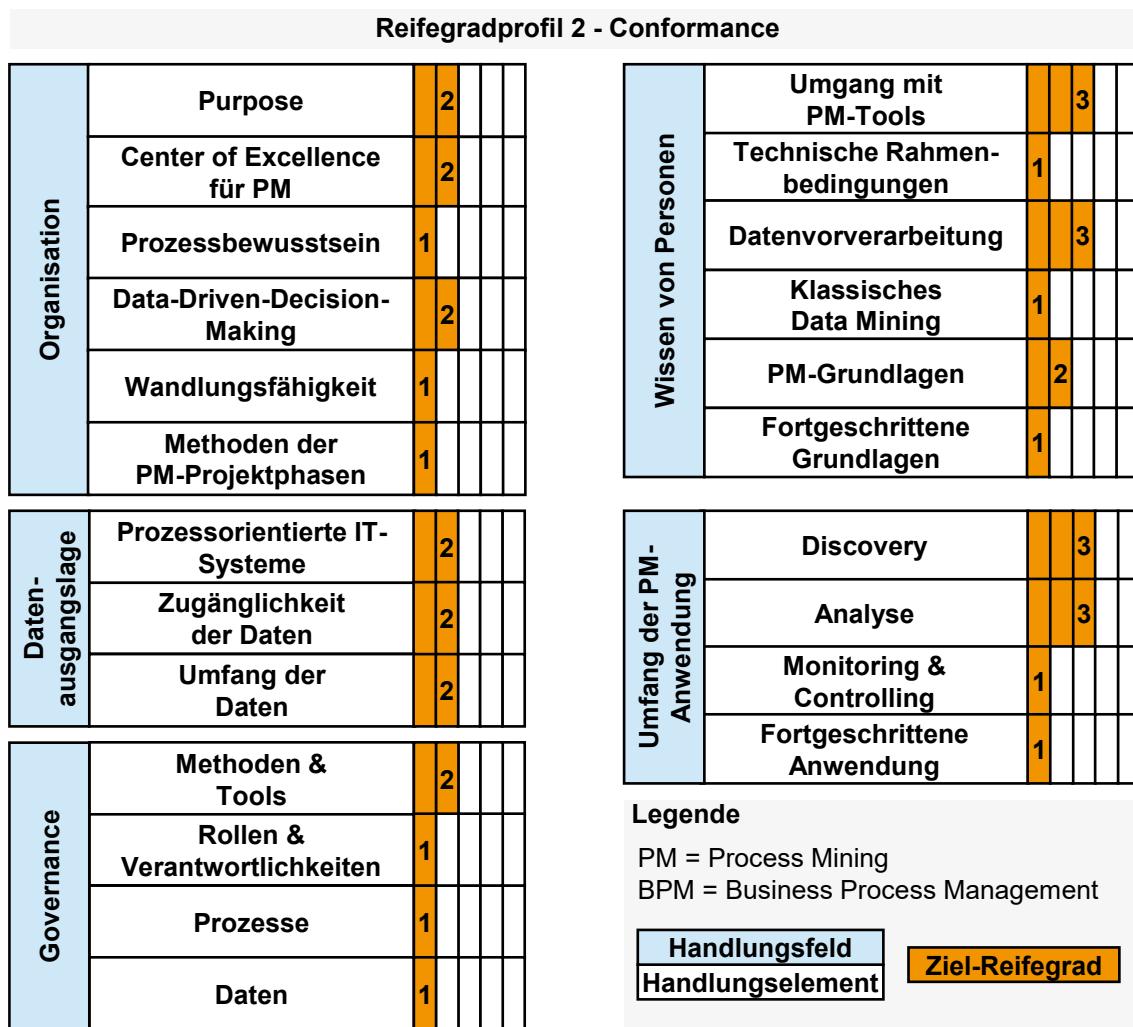


Bild A-24: Charakterisierung des Reifegradprofils 2 – „Conformance“ im P3M

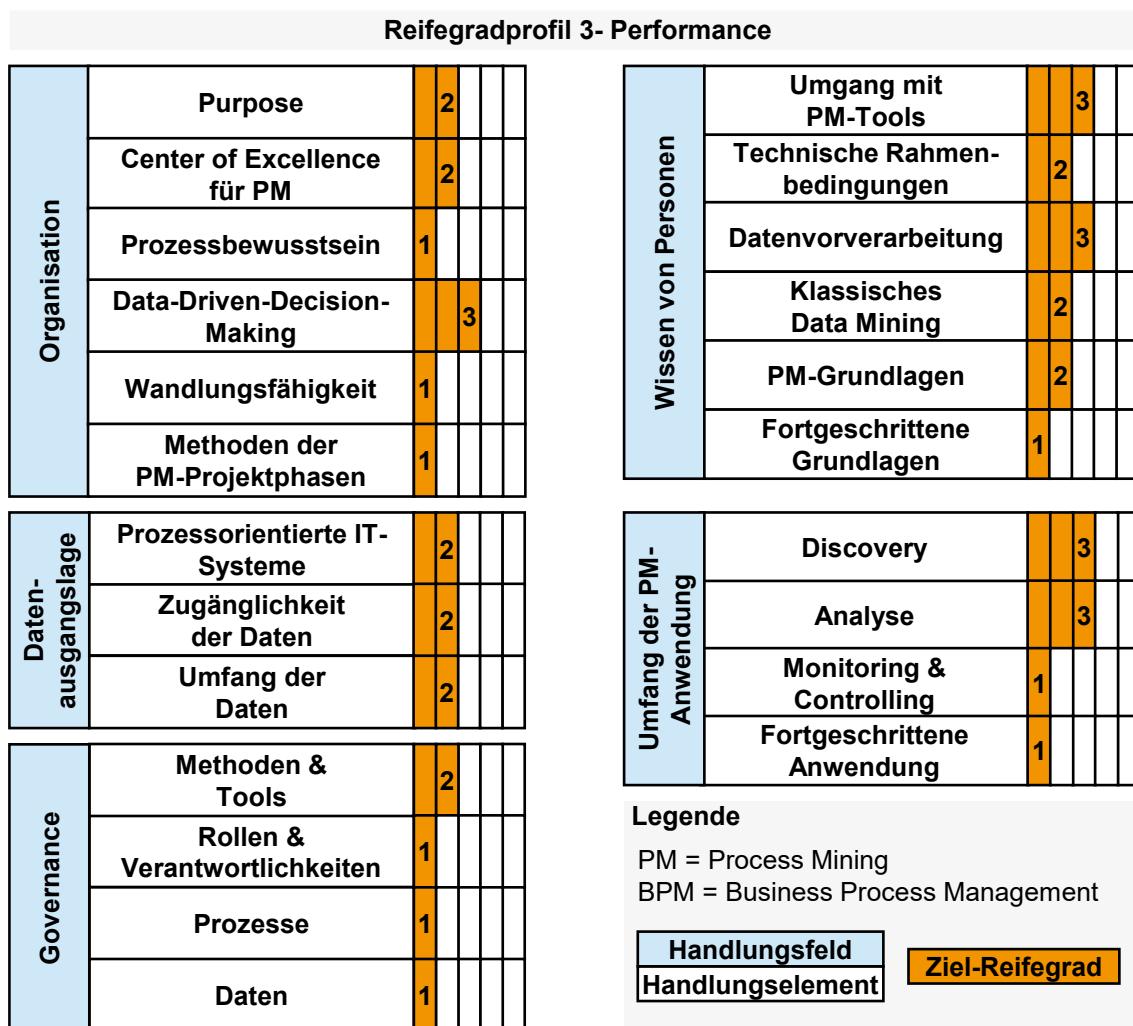


Bild A-25: Charakterisierung des Reifegradprofils 3 – „Performance“ im P3M

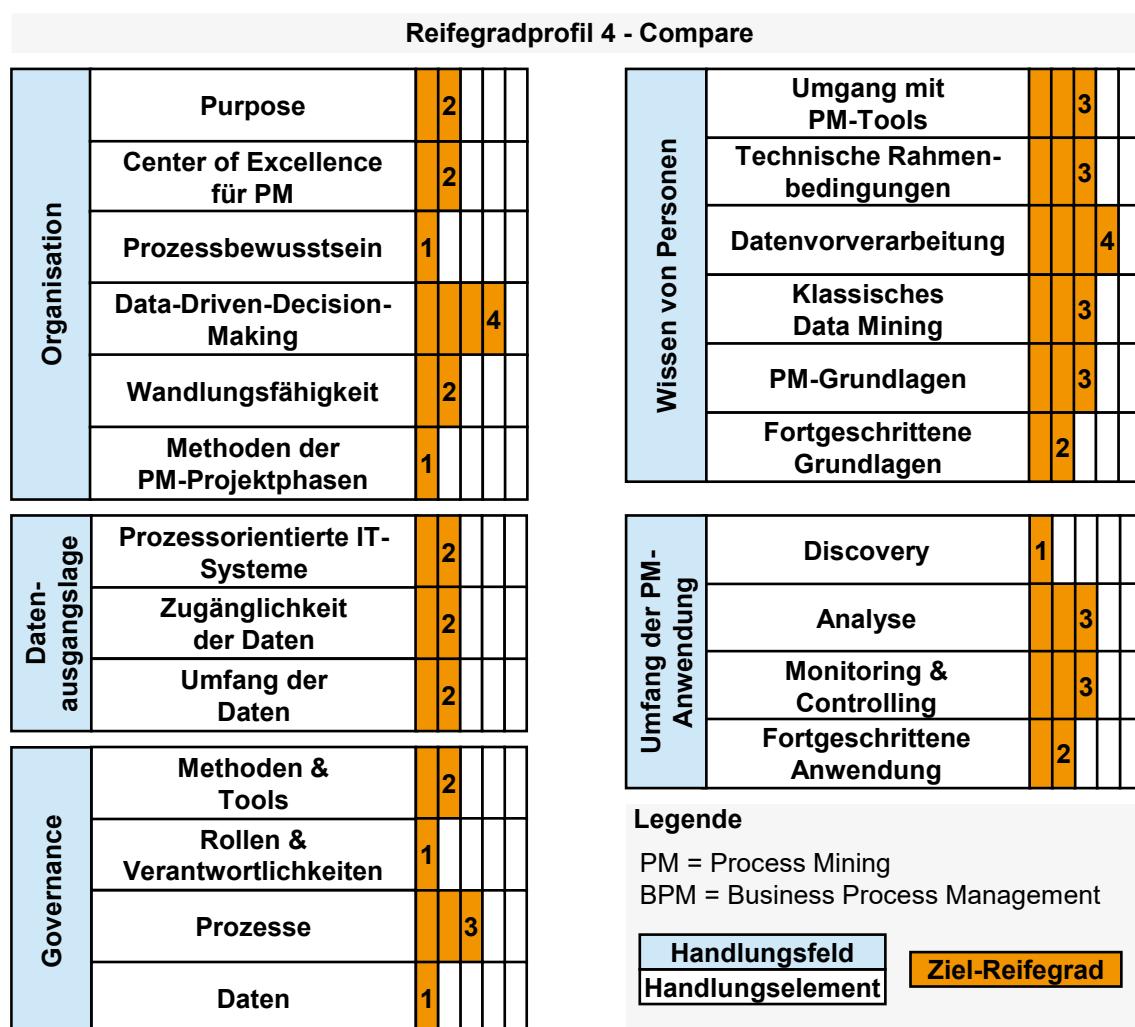


Bild A-26: Charakterisierung des Reifegradprofils 4 – „Compare“ im P3M

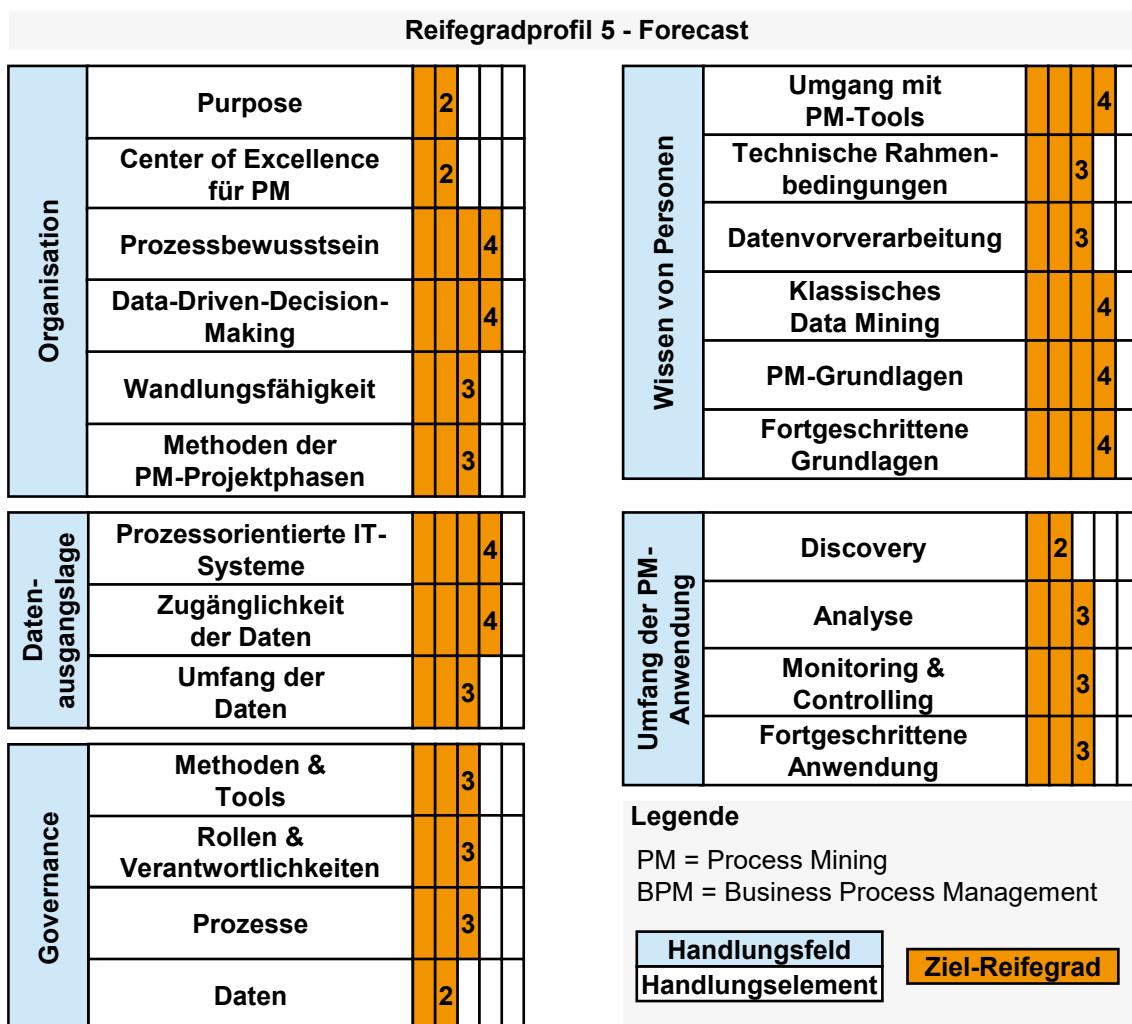


Bild A-27: Charakterisierung des Reifegradprofils 5 – „Forecast“ im P3M

A3.1.7 Ergänzungen zu den Steckbriefen mit Anwendungsszenarien

In Abschnitt 4.5.3 werden die ersten fünf der fortgeschrittenen Anwendungsszenarien vorgestellt. Eine Übersicht aller 18 Anwendungsszenarien mit dem entsprechenden Reifegradprofilen finden sich in Tabelle A-8.

Tabelle A-8: Vollständige Übersicht aller 18 Anwendungsszenarien

| | Anwendungsszenario | Kurze Beschreibung | Reife-grad-profil |
|----|---|--|-------------------|
| 1 | Identifikation von Prozessmodellen innerhalb von Subprozessen | Identifizierung typischer Teilprozessabläufe (z. B. innerhalb von Stage-Gate-Prozessen) | 1 |
| 2 | Typical-Practice-Identifikation in Prozessen | Ermittlung ähnlicher Prozessaufträge innerhalb verschiedener Projekte | 1 |
| 3 | Einhaltung des Vier-Augen Prinzips | Ermittlung der Häufigkeit in der der Fortschritt des Prozesses von weniger als zwei verschiedenen Personen genehmigt wurde | 2 |
| 4 | Allgemeine Prozess Performance analysieren | Analyse von Engpässen, Varianten und Durchlaufzeiten | 3 |
| 5 | Frühwarnsystem bei kritischen Punkten (Prozessverzögerung) | Vorhersage der nächsten Prozessschritte | 5 |
| 6 | Erweiterung des monatlichen Reportings | Einbeziehung anspruchsvollerer KPIs, wie Ankunftsrraten, Anzahl der Instanzen, etc. | 3 |
| 7 | Root-Cause-Analysis | Ermittlung von Korrelationen zwischen Prozessverhalten und Attributen | 3 |
| 8 | IST-Prozesse für Workshops automatisch erstellen | Nutzung von mit PM erstellten Prozessmodellen in Workshops | 1 |
| 9 | Workarounds identifizieren | Ermittlung wie und wann der normative Prozess umgangen wird | 2 |
| 10 | Interne Touch Points identifizieren | Identifikation von manuellen Eingriffen in den Prozess | 1 |
| 11 | Cluster von Ressourcen identifizieren | Ermittlung von Ressourcen, die ähnliche Aufgaben erfüllen | 1 |
| 12 | Leistung von einzelnen Ressourcen analysieren | Identifikation von Ressourcen, die miteinander kollaborieren | 3 |

| | Anwendungsszenario | Kurze Beschreibung | Reife-grad-profil |
|----|---|---|--------------------------|
| 13 | Vergleich von Planzeiten und tatsächlichen Verläufen | Vergleich der geplanten Zeiten in IT-Systemen mit der tatsächlichen Ausführung | 2 |
| 14 | Vergleich von BPMN mit realen Prozessen | Vergleich von existierenden BPMN-Prozessmodellen mit den Event Logs | 2 |
| 15 | Process Condition Monitoring | Erstellen eines Dashboards, in dem der Zustand eines Prozesses angezeigt wird | 5 |
| 16 | Effekte der Produktvarianten-Reduktion quantifizieren | Identifizieren Sie die Auswirkungen einer Prozessstandardisierung durch den Vergleich von Vorher- und Nachher-Daten | 4 |
| 17 | Automatisierungspotentiale identifizieren | Identifizierung von Prozessen, die für eine Automatisierung in Frage kommen, z. B. durch Robotic Process Automation | 1 |
| 18 | Prozessvarianten analysieren | Erkennen, wie sich verschiedene Prozessvarianten verhalten | 1 |

A3.1.8 Ergänzungen zu den typischen Handlungsmaßnahmen zur Reifegradsteigerung

In Abschnitt 4.5.4 werden die typischen Maßnahmen zur Leistungssteigerung von PM Initiativen vorgestellt. In den nachfolgenden Tabellen Tabelle A-9, Tabelle A-10, Tabelle A-11, Tabelle A-12 und Tabelle A-13 sind alle Maßnahmen nach den Handlungsfeld im P3M aufgelistet.

Tabelle A-9: Handlungsmaßnahmen zur Steigerung der Reife im Handlungsfeld Organisation

| Handlungsfeld: Organisation | | |
|-----------------------------|---|---|
| # | Maßnahme | Erklärung |
| A-O1 | Bewusstsein schaffen mit Management-Workshops | Lassen Sie das Top-Management Erfahrungen mit PM machen, z. B. durch einen Workshop, in dem sie einen künstlichen Montageprozess analysieren. |
| A-O2 | Bewusstsein schaffen in Managementkreisen | Präsentation der Ergebnisse von Process-Mining-Projekten vor der Geschäftsleitung. |
| A-O3 | Initiative zentral verankern | Eine zentrale Initiative bündelt alle Process-Mining-Aktivitäten innerhalb einer Organisation. |
| A-O4 | Initiative dezentral verankern | Eine dezentrale Initiative, z. B. in der Unternehmenszentrale und mehrere zusätzliche Initiativen in Niederlassungen. |
| A-O5 | Kommunikationskampagne über Prozesse und Daten mit dem Menschen im Fokus durchführen | Hervorhebung der Bedeutung von Daten und Prozessen, z. B. durch Veröffentlichung von kurzen Videos über tägliche Routinenabläufe im Intranet. |
| A-O6 | Frühzeitige Einbindung der IT | Frühzeitige Kommunikation mit der IT-Abteilung und Ermittlung der Vorteile für die IT-Abteilung. |
| A-O7 | Verbindung der Process-Mining-Initiative mit größeren Projekten zur digitalen Transformation | Nutzung größerer digitaler Transformationsinitiativen zur Validierung und Nutzung von PM in einer sicheren Umgebung. |

Tabelle A-10: Handlungsmaßnahmen zur Steigerung der Reife im Handlungsfeld Datengrundlage

| Handlungsfeld: Datengrundlage | | |
|-------------------------------|--|---|
| # | Maßnahme | Erklärung |
| A-D1 | Aufbau eines zentralen Datenspeichers | Die Einrichtung einer zentralen Dateninfrastruktur, z. B. eines Data Lakes, trägt dazu bei, Ereignisdaten aus verschiedenen Quellen zu sammeln. |
| A-D2 | Iterative Einbeziehung neuer IT-Systeme | Versuchen Sie nicht, alle IT-Systeme auf einmal einzubeziehen, sondern Schritt für Schritt. |
| A-D3 | Implementation von Konnektoren zu den Datenquellen | Process-Mining-Anbieter bieten Konnektoren zur Verbindung mit den primären IT-Systemen an. |
| A-D4 | Erhöhung der (Stamm-) Datenqualität durch Automatisierung | Eine Implementierung von Automatisierung (z. B. RPA) zur automatischen Anpassung von Stammdaten kann die Datenqualität verbessern. |
| A-D5 | Mit manuellem Datenexport beginnen | Insbesondere bei On-Premise-Systemen ist die Verwendung von Konnektoren schwierig. Exportieren Sie die Daten zunächst manuell zur Validierung. |

Tabelle A-11: Handlungsmaßnahmen zur Steigerung der Reife im Handlungsfeld Wissen von Personen

| Handlungsfeld: Wissen von Personen | | |
|------------------------------------|--|--|
| # | Maßnahme | Erklärung |
| A-P1 | Bestimmung eines internen Multiplikators | Bestimmung einer Person oder Gruppe von Personen, die das Wissen über PM innerhalb der Organisation sammelt. |
| A-P2 | Wissenssammlung im Q-Wiki | Externalisierung von Wissen durch Dokumentation in einem internen Wiki-System. |
| A-P3 | Indirekte Schulung von Domänenexperten durch Einbeziehung in die Analysen | Das Wissen kann von geschulten PM Experten indirekt an Domänenexperten diffundiert werden. |
| A-P4 | Nutzung von Schulungsangeboten von Softwareanbietern | Durchführung von Trainings zu den jeweiligen PM Tools. |
| A-P5 | Gezielte, individuelle Schulungen von einzelnen Bereichen | Anpassung von Schulungen, z. B. für die IT mehr aus der Datenperspektive und für das Business mehr aus der Prozessperspektive. |
| A-P6 | Nutzung von Online-Kursen zum Selbststudium | Es gibt verschiedene Online-Kurse zum Thema PM, in denen sich Praktiker über bestimmte Aspekte des PMs informieren können. |
| A-P7 | Anfertigung einer technischen und einer funktionalen Dokumentation | Erstellung von Dokumentationen zu technischen und funktionalen Aspekten, wie z. B. verwendete Methoden oder durchgeführte Analyseschritte. |

Tabelle A-12: Handlungsmaßnahmen zur Steigerung der Reife im Handlungsfeld Umfang der PM Anwendung

| Handlungsfeld: Umfang der PM Anwendung | | |
|--|--|--|
| # | Maßnahme | Erklärung |
| A-S1 | Ermitteln Sie systematisch neue Anwendungsfälle für Ihre Initiative | Die Bestimmung von Anwendungsfällen ist eine Kombination aus Nutzen, Interesse und Daten, wobei jede Initiative einen anderen Schwerpunkt setzen kann. |
| A-S2 | Demonstration von Ergebnissen, um Nachfrage im Business zu erzeugen | Nutzen Sie Regel-Meetings, um die Möglichkeiten des PMs aufzuzeigen und die Aufmerksamkeit des Unternehmens zu wecken. |
| A-S3 | Einstieg mithilfe des Process Discoveries | Die Process-Discovery ist die Grundlage für viele andere Techniken, so dass die meisten Unternehmen damit beginnen. |
| A-S4 | Nutzung von klassischen Data Mining Techniken, um allgemeine Erkenntnisse zu gewinnen | Standardmäßige deskriptive Visualisierungen der Datenanalyse über die Prozesse sind oft sehr nützlich. |
| A-S5 | Iterativ neue Anwendungsfälle in die Initiative aufnehmen | Überfrachten Sie die Organisation nicht mit zu vielen Anwendungsfällen, sondern arbeiten Sie Schritt für Schritt. |

Tabelle A-13: Handlungsmaßnahmen zur Steigerung der Reife im Handlungsfeld Governance

| Handlungsfeld: Governance | | |
|---------------------------|--|--|
| # | Maßnahme | Erklärung |
| A-G1 | Kurzfristige Daten-nutzungvereinbarung erstellen | Erstellen Sie in Zusammenarbeit mit z. B. einem Betriebsrat ein schriftliches Dokument zur Durchführung erster Proof-Of-Concept-Projekte. |
| A-G2 | Abschluss eines Datennutzungsvertrags langfristig | In einem schriftlichen Dokument für mehrere Process-Mining-Projekte werden Daten- und Datenschutzbelange berücksichtigt. |
| A-G3 | Frühe Einbindung des Betriebsrats | Beziehen Sie den Betriebsrat in das Projekt ein, um zu zeigen, dass keine individuelle Leistung gemessen wird und keine Arbeitsplätze rationalisiert werden. |
| A-G4 | Rollenverteilung definieren | Neben den klassischen Rollen wie PM oder Domänenexperte kommen auch Rollen wie Analysis Dashboard User in Frage. |
| A-G5 | Das richtige Process-Mining-Tool auswählen | Berücksichtigen Sie bei der Auswahl eines Anbieters verschiedene Aspekte und zögern Sie nicht, mehrere Anbieter zu testen. |

A3.2 Ergänzungen zu den Forschungsmethoden

In diesem Abschnitt werden die verwendeten Forschungsmethoden des Abschnitts 4 im Detail vorgestellt. Die Reihenfolge folgt dem Aufbau der Arbeit. Falls nicht anders dargestellt, sind alle aufgeführten Forschungsmethoden eine direkte Übersetzung der entsprechenden Veröffentlichung.

A3.2.1 Forschungsmethode für die Definition und Strukturierung von PM Use Cases in Organisationen und die Steckbriefe der fortgeschrittenen Anwendungsszenarien

Die Definition und Strukturierung von PM Use Cases in Organisationen (vgl. Abschnitt 4.2) und die vorgestellten 18 fortgeschrittenen Anwendungsszenarien (vgl. Abschnitt 4.5.3) sind im gleichen Forschungs-Design im Rahmen der gleichen Publikation erarbeitet worden. Dies lässt sich mit dem durchgeführten Forschungsvorgehen begründen, das nachfolgend vorgestellt wird. Das Forschungsvorgehen umfasst drei Schritte.

Im **ersten Schritt** wurden Anwendungsszenarien für PM in der Produktentwicklung und -herstellung identifiziert. Dafür wurde der Brainstorming-Ansatz nach WILSON [Wil13] eingesetzt, da Brainstorming sehr effektiv zur Problemlösung und Ideenfindung beiträgt. Es wurden insgesamt zwei Brainstorming-Sitzungen mit zwei verschiedenen Unternehmen durchgeführt. Unternehmen A kommt aus dem Bereich des Maschinenbaus. Zwei Mitarbeiter aus dem Bereich Prozessmanagement nahmen an dem Brainstorming teil.

Unternehmen B kommt aus dem Bereich der Elektrotechnik. Zwei Prozess- und Werkzeugverantwortliche für das PLM nahmen an dem Brainstorming teil. Beide Brainstorming-Sitzungen wurden nach dem in Bild A-28 dargestellten Schema durchgeführt. Insgesamt wurden mehr Ideen und Probleme als die schlussendlichen 18 Anwendungsszenarien identifiziert. Deshalb wurde über eine Gruppierung und Abstimmung der Workshopteilnehmenden die Menge reduziert. Ferner wurden Ansätze ausgeschlossen, die nicht PM bezogen oder zu trivial waren. So wurden beispielsweise Best Practices für neue Geschäftsmodelle (z. B. digitale Dienstleistungen) oder die Frage, wie viele Prozessvarianten es gibt (eine sehr gewöhnliche Analysefrage im PM), ausgeschlossen.

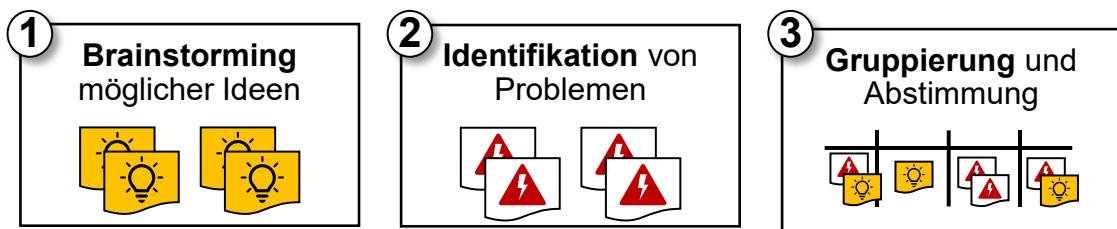


Bild A-28: Ablauf des Brainstormings in Anlehnung an WILSON [Wil13]

Im **zweiten Schritt** wurden die so identifizierten Anwendungsszenarien mit dem vorhandenen Wissen über Use Case Definitionen (vgl. Abschnitt 2.4.3) verglichen. Das Resultat dieses Vergleichs ist in Tabelle A-14 dargestellt. Für die ausführliche Diskussion ist an dieser Stelle auf die zugehörige Veröffentlichung [BEK+24] verwiesen.

Tabelle A-14: Identifizierte Anwendungsszenarien für PM in der Produktentwicklung und Fertigung. Typen: D = Discovery, CC = Conformance Checking, PA = Performance Analysis, PPM = Predictive PM, CPM = Comparative PM. Unternehmensmehrwerte: T = Transparenz, PI = Prozessverbesserung, A = Auditierung. KPI: C = Kosten, Q = Qualität, T = Zeit. BPM Lebenszyklus: PD = Process Discovery, PA = Process Analysis, PR = Process Redesign, PMC = Process Monitoring & Control. Domäne: DEV = Produktentwicklung, M = Fertigung.

| Nummer | Anwendungsszenario | Kurze Beschreibung | Typen [vdA22, S. 23ff.] | Unternehmensmehrwerte [KSS+20] | KPI [vdA16, S. 392] | BPM Lebenszyklus [DLM+18] | Vorwärts (F) / Rückwärts (B) | Live-Daten | Domäne |
|--------|---|---|-------------------------|--------------------------------|---------------------|---------------------------|------------------------------|------------|--------|
| 1 | Identifikation von Prozessmodellen innerhalb von Subprozessen | Identifizierung typischer Teilprozessabläufe (z. B. innerhalb von Stage-Gate-Prozessen) | D | T | - | PD | B | | DEV |
| 2 | Typical-Practice-Identifikation in Prozessen | Ermittlung ähnlicher Prozessaufträge innerhalb verschiedener Projekte | D | PI | - | PR | B | | DEV |
| 3 | Einhaltung des Vier-Augen Prinzips | Ermittlung der Häufigkeit in der der Fortschritt des Prozesses von weniger als zwei | CC | A | Q | PA | B | | DEV |

| Nummer | Anwendungsszenario | Kurze Beschreibung | Typen [vdA22, S. 23ff.] | Unternehmensmehrwerte [KSS+20] | KPI [vdA16, S. 392] | BPM Lebenszyklus [DLM+18] | Vorwärts (F) / Rückwärts (B) | Live-Daten | Domäne |
|--------|--|---|-------------------------|--------------------------------|---------------------|---------------------------|------------------------------|------------|--------|
| | | verschiedenen Personen genehmigt wurde | | | | | | | |
| 4 | Allgemeine Prozess Performance analysieren | Analyse von Engpässen, Varianten und Durchlaufzeiten | PA | PI | T | PA | B | | DEV/M |
| 5 | Frühwarnsystem bei kritischen Punkten (Prozessverzögerung) | Vorhersage der nächsten Prozessschritte | PPM | PI | Q | PMC | F | x | DEV/M |
| 6 | Erweiterung des monatlichen Reportings | Einbeziehung anspruchsvollerer KPIs, wie Ankunfts-raten, Anzahl der Instanzen, etc. | PA | - | M | PA | B | | DEV |
| 7 | Root-Cause-Analysis | Ermittlung von Korrelationen zwischen Prozessverhalten und Attributen | PA | PI | - | PA | B | | DEV/M |

| Nummer | Anwendungsszenario | Kurze Beschreibung | Typen [vdA22, S. 23ff.] | Unternehmensmehrwerte [KSS+20] | KPI [vdA16, S. 392] | BPM Lebenszyklus [DLM+18] | Vorwärts (F) / Rückwärts (B) | Live-Daten | Domäne |
|--------|--|---|-------------------------|--------------------------------|---------------------|---------------------------|------------------------------|------------|--------|
| 8 | IST-Prozesse für Workshops automatisch erstellen | Nutzung von mit PM erstellten Prozessmodellen in Workshops | D | T / EG | C | PD | B | | M |
| 9 | Workarounds identifizieren | Ermittlung wie und wann der normative Prozess umgangen wird | CC | T | Q | PA | B | | DEV |
| 10 | Interne Touch Points identifizieren | Identifikation von manuellen Eingriffen in den Prozess | D | T | Q | PA | B | | M |
| 11 | Cluster von Ressourcen identifizieren | Ermittlung von Ressourcen, die ähnliche Aufgaben erfüllen | D | T | - | PD | B | | M |
| 12 | Leistung von einzelnen Ressourcen analysieren | Identifikation von Ressourcen, die miteinander kolaborieren | PA | T | - | PA | B | | M |
| 13 | Vergleich von Planzeiten und | Vergleich der geplanten Zeiten in IT-Systemen mit | CC | - | Q | PA | B | | M |

| Nummer | Anwendungsszenario | Kurze Beschreibung | Typen [vdA22, S. 23ff.] | Unternehmensmehrwerte [KSS+20] | KPI [vdA16, S. 392] | BPM Lebenszyklus [DLM+18] | Vorwärts (F) / Rückwärts (B) | Live-Daten | Domäne |
|--------|---|--|-------------------------|--------------------------------|---------------------|---------------------------|------------------------------|------------|--------|
| | tatsächlichen Verläufen | der tatsächlichen Ausführung | | | | | | | |
| 14 | Vergleich von BPMN mit realen Prozessen | Vergleich von existierenden BPMN-Prozessmodellen mit den Event Logs | CC | PI | Q | PA | B | | DEV/M |
| 15 | Process Condition Monitoring | Erstellen eines Dashboards, in dem der Zustand eines Prozesses angezeigt wird | PA | PI | - | PMC | B | x | DEV/M |
| 16 | Effekte der Produktvarianten-Reduktion quantifizieren | Identifizierung der Auswirkungen einer Prozessstandardisierung durch den Vergleich von Vorher- und Nachher-Daten | CPM | - | - | PMC | B | | M |

| Nummer | Anwendungsszenario | Kurze Beschreibung | Typen [vdA22, S. 23ff.] | Unternehmensmehrwerte [KSS+20] | KPI [vdA16, S. 392] | BPM Lebenszyklus [DLM+18] | Vorwärts (F) / Rückwärts (B) | Live-Daten | Domäne |
|--------|---|---|-------------------------|--------------------------------|---------------------|---------------------------|------------------------------|------------|--------|
| 17 | Automatisierungspotentiale identifizieren | Identifizierung von Prozessen, die für eine Automatisierung in Frage kommen, z. B. durch Robotic Process Automation | D | PI | - | PR | B | | DEV/M |
| 18 | Prozessvarianten analysieren | Erkennen, wie sich verschiedene Prozessvarianten verhalten | PA | PI | - | PA | B | | M |

Im **dritten Schritt** wurde das Ergebnis dieses Vergleichs ausführlich diskutiert. Daraus ist die Definition und Strukturierung von PM Use Cases in Organisationen (vgl. Abschnitt 4.2) entstanden. Die Diskussion findet sich in [BEK+24].

A3.2.2 Forschungsmethode für die Workshopmethode zur Identifikation von PM Use Cases in Fertigungsprozessen

In diesem Abschnitt wird die verwendete Forschungsmethode zur Erforschung der in Abschnitt 4.3.2 vorgestellten Workshopmethode zur Identifikation von PM Use Cases in Fertigungsprozessen vorgestellt.

Die Erforschung der Workshopmethode folgt PEFFERS ET AL. [PTR+07]. Die Erforschung erfolgt in Zusammenarbeit mit zwei realen Organisationen. Der Forschungseinstieg ist

probleminduziert, sodass der Entwicklungszyklus mit der Problemidentifikation und Motivation beginnt.

PM bietet eine große Vielfalt an Einsatzmöglichkeiten. Zudem sind Fertigungsunternehmen individuell, sodass der Nutzen der Einsatzmöglichkeiten von Unternehmen zu Unternehmen variiert. Für Fertigungsunternehmen ist es von großer Bedeutung, einen geeigneten Use Case auszuwählen. Auf dieser Problemidentifikation basierend können vier Anforderungen an die Workshopmethode identifiziert werden:

- **Erstens** muss eine mögliche Lösung in der Praxis anwendbar sein.
- **Zweitens** sollte eine mögliche Lösung den möglichen Lösungsraum an Anwendungsfällen ausloten, ohne ihn zu früh einzuschränken.
- **Drittens** sollte eine mögliche Lösung die Traditionen der Fertigungsprozessverbesserung, wie z.B. das Lean Management, anerkennen.
- **Viertens** sollte die Methode auf den neuesten Erkenntnissen der Literatur beruhen.

Wie in Abschnitt 3.2 gezeigt wurde, erfüllt keine der in der Literatur vorhandenen Lösungen diese Anforderungen. In Zusammenarbeit mit zwei Unternehmen wurden zwei Design-Iterationen durchlaufen. In der **ersten Iteration** wurden die 18 fortgeschrittenen Anwendungsszenarien (vgl. Abschnitt 4.5.3) als Vorlagen verwendet. Den Anwendern von Unternehmen A, einem Lebensmittelhersteller mit rund 400 Mitarbeitern, gelang es nicht, diese erfolgreich zu nutzen. Es fehlte ihnen an Kreativität, um die Anwendungsszenarien in ihren Arbeitsalltag zu übertragen und sie diskutierten oft über mögliche Prozesse, statt über Anwendungsszenarien. Die fortgeschrittenen Anwendungsszenarien (z. B. die Nutzung von PM als Input für den digitalen Zwilling) sind für ein Team von Anwendern mit wenig Erfahrung im Bereich PM zu komplex. Obwohl die erste Entwurfs-Iteration Verbesserungspotenziale aufwies, gelang es, einen relevanten Use Case für Organisation A zu identifizieren und in die nächsten Phasen der PM Projekte einzusteigen. Daher wurde die zweite Design-Iteration mit Unternehmen B, einem Hersteller von Sattelaufiegern, durchgeführt. Die Lösung der **zweiten Iteration** setzt einen Schwerpunkt auf einfache Anwendungsszenarien und einen stärkeren Bezug zu etablierten Analyseansätzen in der Fertigung, z. B. die Identifizierung von Verschwendungen aus dem Lean Management. Dieser Workshop erwies sich als nützlich und stellt die finale Version der Methode dar. Das **Handout mit typischen Fragen** in Fertigungsprozessen ist eine Kombination verschiedener Literaturquellen zu PM ([MLM+22], beschrieben in Abschnitt 3.2.2), Lean Management ([HFS21], beschrieben in Abschnitt 2.3.2), Six Sigma ([Mas11]) und allgemeiner Prozessoptimierung in der Fertigung ([JEA+19]).

A3.2.3 Forschungsmethode für die PM Data Canvas

In diesem Abschnitt wird die verwendete Forschungsmethode zur Erforschung der in Abschnitt 4.4.2 vorgestellten PM Data Canvas vorgestellt.

Die Erforschung der PMDC folgt PEFFERS ET AL. [PTR+07]. Zwei Iterationen der Entwicklung wurden mit der Prozessmanagement- und der IT-Abteilung eines Maschinenbauunternehmens mit weltweit rund 3.500 Mitarbeitenden durchgeführt. In der **ersten Entwicklungsiteration** wurde die Datenlandkarte von Joppen et al. [JEK+19] (vgl. Abschnitt 3.3.2) verwendet. Die Datenlandkarte wurde an PM spezifische Fragestellungen angepasst, indem bspw. die Auslöser für Prozesse oder die Event Log Datenelemente aufgenommen wurden. Bei der Verwendung der Datenlandkarte stellten die Anwender fest, dass für viele Prozessschritte die Auslöser und Datenelemente identisch waren. Daher gruppierten die Anwender die Prozessschritte auf Basis der Interaktion der Nutzer mit dem Prozess und dem IT-System. Außerdem stellten die Anwender fest, dass das Mapping von Prozessen und Daten (die zentrale Idee der Datenlandkarte) in PM Projekten kontraintuitiv ist, da PM in der Lage ist, Prozesse auf der Grundlage von Event Logs automatisch zu entdecken. Daher wurde in der **zweite Entwicklungsiteration** die Datenlandkarte so eingesetzt, dass nur noch prozessbezogene Datensilos identifiziert wurden. Die Anwender mussten nicht mehr alle Prozesse modellieren, sondern vielmehr die relevanten Datensilos identifizieren. In der zweiten Bewertungsphase stellten die Anwender zwei Dinge fest. Erstens, dass viele relevante Informationen über Prozesse bereits in den entsprechenden Dokumentationen vorhanden sind. Zudem wurde hervorgehoben, dass die Verbindung der Datensilos ein wichtiger Aspekt für die spätere Verbindung der extrahierten Daten ist. Zweitens ist die Identifizierung der genauen Datentabellen, in denen die Informationen gespeichert sind, eine zeitaufwändige Aufgabe. Oft kann diese nur von der IT-Abteilung, jedoch nicht der PM- oder Domänenexperten, beantwortet werden kann. Daher stellt dies eine Herausforderung in sehr frühen Phasen eines PM Projekts dar. Darüber hinaus gab es viele Diskussionen über die Datenqualität und ihre Zuverlässigkeit. Dieses Feedback wurde bei der Gestaltung der **dritten und letzten Iteration** der PMDC berücksichtigt.

A3.2.4 Forschungsmethode für das Rahmenwerk zur Vorverarbeitung von Sensordaten

In diesem Abschnitt wird die verwendete Forschungsmethode zur Erforschung des in Abschnitt 4.4.3 vorgestellten RVM vorgestellt.

Die Erforschung des RVM folgt dem sogenannten Action-Design-Research (ADR) Ansatz nach SEIN ET AL. [SHP+11]. Das ADR-Team besteht aus Forschern und verschiedenen Abteilungen von einem Unternehmen aus der Lebensmittelindustrie. Diese Abteilungen umfassen die Digitale Transformation, die IT und die Produktion. Das detaillierte Forschungsvorgehen, die Design-Iterationen und die finale Generalisierung ist in Tabelle A-15 dargestellt. Die Forschung erstreckte sich über ein halbes Jahr.

Tabelle A-15: Zusammenfassung des ADR-Prozesses zur Erforschung des RVM

| Stufen und Grundsätze | Artefakt | |
|---|--|--|
| Stufe 1: Problemformulierung | | |
| Grundsatz 1: Von der Praxis inspirierte Forschung | Ausschlaggebend für die Forschung war der Bedarf an Maschinendaten, die mit PM analysiert werden sollten und die Herausforderungen, die sich bei der Erstellung eines Event Logs ergaben. | |
| Grundsatz 2: Theorie-Verankertes Artefakt | Die untersuchte Literaturbasis und die Taxonomie der Event-Abstraktion von VAN ZELST ET AL. [vML+21] dienen als Grundlage. | |
| Stufe 2: Aufbau, Intervention und Bewertung | | |
| Grundsatz 3: Wechselseitige Formgebung | Die anfängliche Nutzung war nicht so geradlinig, wie es der endgültige Rahmen vermuten lässt. Stattdessen wurden die einzelnen Phasen in Zusammenarbeit mit den Fachleuten ständig überarbeitet und verallgemeinert. Insbesondere die Bestimmung der Case ID erwies sich als Herausforderung. Es wurden mehrere Ansätze ausprobiert. | Der erste Analyseansatz führte zu einem Event Log, der nur das Verhalten einzelner Maschinen erfasste, aber nicht mehrere Maschinen mit der Herstellung des selben Produkts in Verbindung bringen konnte. Ein zweiter Analyseansatz mit einer Verfeinerung der Maschinendaten und einem kollaborativen Durchbruch bei der Zuordnung von Fällen zum Maschinenverhalten führte zu einem Event Log, der alle zur Herstellung eines Produkts erforderlichen Maschinenanstrengungen widerspiegeln. Am Ende von Stufe 2 existierte die technologische Fähigkeit, die Daten in einen Event Log umzuwandeln. |
| Grundsatz 4: Gegenseitige Beeinflussung der Rollen | Das ADR-Team bestand aus Forschern, Fachleuten und PM Experten, sowohl aus der Wissenschaft als auch aus der Praxis. Die Leitung des ADR-Projekts liegt bei der Forschungseinrichtung. | |
| Grundsatz 5: Authentische und gleichzeitige Bewertung | Es wurde eine technische Lösung für die Nutzung abgeleitet, die mit realen Maschinendaten arbeitet. Es konnte ein verwertbarer Event Log erstellt werden. | |
| Phase 3: Reflektion und Lernen | | |

| Stufen und Grundsätze | | Artefakt |
|--|--|---|
| Grundsatz 6: Ge-führte Emergenz | Der Hersteller erkannte, dass eine Standardisierung des Verfahrens notwendig war, um die Ergebnisse in verschiedenen Maschinenbereichen zu reproduzieren. Das ADR-Team führte verschiedene Brainstorming-Sitzungen durch, um die wichtigsten Maßnahmen zur Erreichung des Projektziels zu analysieren. | Am Ende von Phase 3 wurde eine schematische Beschreibung unserer technischen Lösung erstellt . |
| Phase 4: Formalisierung des Lernens | | |
| Grundsatz 7: Ver-allgemeinerte Ergebnisse | Es wurde eine schematische Beschreibung der Aktionen synthetisiert, indem die einzelnen Schritte zusammengefasst und die einzelnen Lösungen gekürzt wurden. | Das Artefakt der Stufe 3 ist der Rahmen für die Nutzung von Maschinensensordaten im PM. |

A3.2.5 Forschungsmethode für das P3M und die typischen Maßnahmen zur Reifegradsteigerung

In diesem Abschnitt wird die verwendete Forschungsmethode zur Erforschung des in Abschnitt 4.5.2 vorgestellten P3Ms dargestellt⁵⁹. Im Rahmen der Forschung zum Reifegradmodell ist auch ein Katalog an typischen Maßnahmen zur Reifegradsteigerung entstanden, welche in Abschnitt 4.5.4 beschrieben wird.

Die Forschung folgt der etablierten Methode zur Entwicklung von Reifegradmodellen nach BECKER ET AL. [BKP09]. Das Reifegradmodell wurde in einem 30-monatigen Zeitraum in Kollaboration zwischen zwei Unternehmen und zwei Forschungseinrichtungen im Rahmen des it's OWL Innovationsprojekts BPM I4.0 erarbeitet. Die Entwicklung unterteilt sich in fünf Phasen, die durch die verschiedenfarbigen Kästchen dargestellt sind. Das auf unsere Forschung instanzierte Vorgehen ist in Tabelle A-16 dargestellt.

Tabelle A-16: Vorgehen zur Entwicklung des P3Ms in Anlehnung an [BKP09]

| Phase | Schritt | Beschreibung | Instanzierte Aktivitäten |
|-------|---------------------------|------------------------------|---|
| 1 | Problem-definition | Definition des Problems, des | Aufgrund des interdisziplinären Charakters von PM haben viele Unternehmen Schwierigkeiten bei der Anwendung und benötigen |

⁵⁹ Die Beschreibung der Forschungsmethode ist eine direkte Übersetzung der Originalquelle [BLB+23].

| Phase | Schritt | Beschreibung | Instanzierte Aktivitäten |
|-------|---|---|--|
| | | <p>Zielbereichs und der Benutzergruppe.</p> <p>Skizzierung der grundlegenden Dimensionen und des strukturellen Aufbaus.</p> <p>Begründung der Relevanz des Modells.</p> | Hilfe, um ihren Reifegrad zu verbessern. Es sind jedoch keine spezifischen PM-Reifegradmodelle verfügbar. |
| | Vergleich der bestehenden Reifegradmodelle | <p>Vergleich benachbarter Reifegradmodelle für den Zielbereich.</p> <p>Festlegung des Umfangs des neuen Reifegradmodells.</p> | Da PM in Unternehmen mit dem BPM zusammenhängt, wurde die Wissensbasis von BPM-Reifegradmodellen untersucht. |
| | Festlegung der Entwicklungsstrategie | Festlegung der Entwicklungsmethode, z.B. Erstellung eines völlig neuen Entwurfs als Erweiterung eines bestehenden Modells oder als Kombination verschiedener Modelle | Das daraus resultierende Modell ist eine Kombination aus bestehenden BPM-Modellen, die mit PM-spezifischen Merkmalen angereichert wurden. Somit kann es als eine Anpassung positioniert werden [GH13]. |
| 2 | Entwicklung Iteration I | Definition des Problems, des Zielbereichs und der Benutzergruppe. | Die erste Version von P3M wurde entwickelt mit sechs Handlungsfeldern (HF) und 31 Handlungselementen (HE), die jeweils fünf Reifegrade aufweisen. |
| | Evaluation Iteration I | Skizzierung der grundlegenden Dimensionen und des strukturellen Aufbaus. | Es wurden zwei Workshops durchgeführt, einer mit einem Produktionsunternehmen und einer mit Akademikern, mit dem Ergebnis, dass mehrere Aspekte sich als unpraktisch erwiesen, wie etwa die Verwendung des BPM-Lebenszyklus [DLM+18]. Darüber hinaus sorgten das Extrahieren-Transformieren-Laden-Schema für die Faktor- |

| Phase | Schritt | Beschreibung | Instanzierte Aktivitäten |
|-------|---|--|---|
| | | | Datenbasis und die Definition der Faktor-Methoden in PM-Projekten für Verwirrung. |
| 3 | Entwicklung Iteration II | Begründung der Relevanz des Modells. | <p>Die zweite Version von P3M wurde mit den folgenden Aktualisierungen entwickelt:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Für eine intuitivere Handhabung wurden Beispiele pro HE hinzugefügt. • Die Methoden in PM-Projekten wurden von einem HF zu einem HE herabgestuft. • Das HE „Datenbasis“ wurde auf der Grundlage von [AAM+12] und [Law17] neu strukturiert. • Die PM-Typen von [vdA22] wurden für den Faktor Scope der PM-Aktivität integriert. |
| | Evaluation Iteration II | Definition des Problems, des Zielbereichs und der Benutzergruppe. | <p>Ein zweiter Workshop mit einem Fertigungsunternehmen wurde durchgeführt, der zu der Rückmeldung führte, dass ...</p> <ul style="list-style-type: none"> • ... die Testbenutzer ein unterschiedliches Verständnis von PM-Anwendungsfällen hatten, was zu Missverständnissen während der Bewertung führte. • ... das HE Business Excellence Capability (BEC) nicht die Notwendigkeit darstellte, interdisziplinäre Teams zu bilden. • ... das HF Datenbasis immer noch unter Unklarheiten litt. |
| 4 | Konzeption der Übertragung und Bewertung | Skizzierung der grundlegenden Dimensionen und des strukturellen Aufbaus. | <p>Die endgültige Version von P3M wurde mit den folgenden Aktualisierungen entwickelt:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ein PM-Anwendungsfall ist definiert als eine Kombination aus der Prozessart, dem Prozess und dem gewünschten Nutzen. |

| Phase | Schritt | Beschreibung | Instanzierte Aktivitäten |
|-------|---|---|--|
| | | | <ul style="list-style-type: none"> Das Element BEC wurde durch das HE Center of Excellence in Anlehnung an [RGE+22] ersetzt. <p>Um die Zugänglichkeit des Reifegradmodells zu verbessern, wurde eine Online-Umfrage entwickelt. Die Online-Umfrage enthält Fragen zu den wichtigsten Aspekten des Reifegradmodells und ermöglicht eine erste Selbsteinschätzung.</p> |
| | Evaluation / Potenzielle Ablehnung | Begründung der Relevanz des Modells. | <p>Eine abschließende Bewertung wurde mit einem Elektronikunternehmen durchgeführt und ergab die Rückmeldung, dass ...</p> <ul style="list-style-type: none"> ... Organisationen eine Sammlung von Maßnahmen brauchen, die sie einsetzen können, um die PM-Bereitschaft für bestimmte HF zu erhöhen. |
| 5 | Verbesserung der Transfermedien | Definition des Problems, des Zielbereichs und der Benutzergruppe. | <p>Die vorangegangene Phase führte zu den folgenden Erkenntnissen:</p> <ul style="list-style-type: none"> Das Modell allein lieferte keine ausreichenden Informationen darüber, wie der Übergang von einer Reifegradstufe zur nächsten erfolgen sollte, so dass man stark auf das Wissen der beteiligten Mitarbeiter angewiesen war. <p>Um das Reifegradmodell umfassender zu gestalten, wurden elf Interviews mit Anwendern aus verschiedenen Branchen durchgeführt. Daraus ergaben sich Erkenntnisse über die organisatorischen und technischen Maßnahmen, die die Unternehmen zur Verbesserung ihres PM-Reifegrads durchgeführt haben. Auf der Grundlage dieser Daten wurden die Maßnahmen den endgültigen HF zugeordnet und in Kategorien eingeteilt.</p> |

In der **ersten Phase** wird das Problem definiert, bestehende Reifegradmodelle untersucht und die Forschungsstrategie definiert. Als Forschungsstrategie wurde die Exaptation nach

GREGOR UND HEVNER [GH13] festgelegt, welche besagt, dass bestehende Reifegradmodelle aus anderen Domänen auf die PM Domäne übertragen und ausgebaut werden.

Die **zweite, dritte und vierte Phase** beschreiben Entwicklungsiterationen des Reifegradmodells. Gemäß der Entwicklungsstrategie der Exaptation wurde in der ersten Iteration ein erstes Reifegradmodell auf der Grundlage eines Literatur-Screenings und verschiedener Brainstorming-Sitzungen erstellt. Das erste Modell enthielt sechs Handlungsfelder und 31 Handlungselemente (HE). Jedes HE erhielt eine Definition und fünf **Reifegradstufen**, da etablierte Reifegradmodelle wie das CMMI ([SEI10] vgl. Abschnitt 3.4.3) auch fünf Reifegradstufen besitzen. Wenngleich es nicht geplant war, fünf Reifegradstufen beizubehalten, erwies sich diese Design-Entscheidung aus zwei Gründen als vorteilhaft. Erstens waren die Anwender das Konzept der fünf Reifegradstufen aus verschiedenen anderen Modellen gewohnt. Zweitens verwenden auch andere Modelle das Fünf-Stufen-Konzept (z. B. die Event Log Reifegradstufen [AAM+12] oder das STANFORD DATA GOVERNANCE [Law17]). Nachfolgend werden die Grundlagen und Entwicklungsschritte des Reifegradmodells kurz auf Basis der Handlungsfelder umrissen.

Die erste Version umfasste die sechs **Handlungsfelder** (HF) Organisation, Menschen, Governance, Methoden in PM Projektphasen, PM Anwendung und Datenverfügbarkeit. Die ersten drei HF Organisation, Menschen und Governance mit ihren jeweiligen HE basieren auf den etablierten BPM Fähigkeiten, die in ROSEMANN UND DE BRUIN [RB05] und KERPEDZHIEV ET AL. ([KKR+21] vgl. Abschnitt 3.4.4) vorgeschlagen und überarbeitet wurden.

Innerhalb des **HF Organisation** wurden die Elemente Purpose ([Rei20]) und Business Excellence Capability (BEC) hinzugefügt. Business Excellence Capability wurde hinzugefügt, um den Einfluss von bereits bestehenden Strukturen wie BPM, Lean Management oder einem kontinuierlichen Verbesserungsprozess zu berücksichtigen. Sie wurde in der letzten Entwicklungsiteration zugunsten eines Centers of Excellence ([RGE+22] vgl. Abschnitt 2.4.4) verworfen, da Gespräche mit Anwendern ergaben, dass die Organisationsstruktur die Bedürfnisse besser widerspiegelt.

Die HE für das **HF Mensch** sind inspiriert von der Gliederung des PM Standardwerks von VAN DER AALST [vdA16]. Im Buch werden verschiedene, wesentliche Aspekte des PMs vorgestellt und um weitere relevante Disziplinen wie Data Mining ergänzt.

Das **HF Governance** hat während der Entwicklung keine nennenswerte Überarbeitung erfahren.

Das **HF Umfang der PM Anwendung** basierte ursprünglich auf dem BPM Lebenszyklus von DUMAS ET AL. ([DLM+18], vgl. Abschnitt 2.3.3), mit der Idee, dass PM jede Lebenszyklusphase von BPM unterstützen kann. In der ersten Evaluierungsphase wurden viele Diskussionen über die Anwendung von PM in der Re-Design- und Implementierungsphase des BPM Lebenszyklus (vgl. Abschnitt 2.3.3) geführt. Daher wurde diese Grundannahme verworfen. Stattdessen wurden fortan die sechs PM Typen von VAN DER AALST

([vdA22, S. 23ff.] vgl. Abschnitt 2.4.2) verwendet. Während die ersten drei PM Typen ein eigenes HE bekommen haben, wurden die letzten drei PM Typen zu einem HE zusammengefasst.

Das **HF Datenverfügbarkeit** wurde mehrfach angepasst. Ursprünglich war die Idee, abzubilden, wie gut eine Organisation Event Logs extrahieren, transformieren und laden kann. In der zweiten Entwicklungsphase wurde diese Idee verworfen und um die Event Log Reifegradstufen [AAM+12] und die an LAWRENCE [Law17] angelehnten Aspekte „Zugänglichkeit der Daten“ und „Umfang der Daten“ erweitert. In diesem Zusammenhang wurde der Name des HF in die finale „Datenverfügbarkeit“ geändert.

In der ersten Version des Reifegradmodells existierte ein sechstes **HF Methoden in PM Projektphasen**. Es wurde in Anlehnung an die BPM Fähigkeiten (vgl. Abschnitt 3.4.4) und aufgrund des Rufs nach mehr Methodenunterstützung ([vLL+15, EAt19] vgl. Abschnitt 2.4.4) aufgenommen. In der Praxis hat sich gezeigt, dass Anwender einen hohen Erklärungsbedarf für dieses HF benötigt haben. Um die Komplexität zu reduzieren, wurde das HF in ein einfaches HE innerhalb des HF Organisation umgewandelt.

In der **fünften Phase** wurden Maßnahmen zur Verbesserung der PM Reife in Organisationen ermittelt. Dafür wurden mit elf Anwendern von PM qualitative Interviews nach MYERS UND NEWMAN [MN07] durchgeführt. Eine Übersicht der Interviewteilnehmer ist in Tabelle A-17 gegeben. Es wird zwischen zwei Gruppen von PM Anwendern unterschieden: die erste Gruppe (auch "interne" Nutzer genannt) umfasst Teilnehmer, die PM intern innerhalb ihrer Organisation einsetzen.

Die zweite Gruppe („externe“ Nutzer) umfasst Teilnehmer, deren Organisationen andere Unternehmen bei ihren PM Initiativen beraten und unterstützen. Alle internen Nutzer waren für die Initialisierung von PM Initiativen in ihren jeweiligen Organisationen beteiligt. Jedes Interview dauerte etwa 60 Minuten. Es wurden Fragen zu den verschiedenen HF und HE des P3Ms hinsichtlich Herausforderungen, Lösungen und Aktivitäten gestellt. Anschließend wurden die Transkripte gründlich hinsichtlich Aussagen bezüglich konkreter Maßnahmen zur Verbesserung der PM Initiativen analysiert und die entsprechenden Aussagen herausgearbeitet. Die somit identifizierten Aussagen wurden in vier Schritten bearbeitet: Erstens wurde für jede Aussage ein Titel festgelegt (z. B. "Klarheit über die organisatorische Einbettung"). Zweitens wurden alle Titel einem HF von P3M zugeordnet (z. B. alle "Klarheit schaffen"-Aussagen wurden dem HF Organisation zugeordnet). Drittens wurden die Titel überarbeitet und ähnliche Titel gruppiert (z. B. wurde der Titel geändert in "organisatorische Einbettung klären"). Viertens wurden die Namen der Gruppen in umsetzbare Ratschläge umgewandelt, indem sie und die ihnen zugrunde liegenden Aussagen mit der vorhandenen Wissensbasis verglichen wurden (z. B. wurde der Name in 'Anchor initiative in a hybrid setup' umgewandelt, basierend auf [RGE+22] (vgl. Abschnitt 2.4.4). Während der vier Schritte wurden alle Aussagen, Titel und Gruppen beibehalten, und es wurde nichts ausgeschlossen. Sobald eine Maßnahme einmalig erwähnt wurde, wurde sie beibehalten. Daher beziehen sich einige Gruppen nur auf ein Interview.

Eine vollständige Liste der Aussagen aus den Interviews, ihre Titel und die daraus abgeleiteten handlungsrelevanten Erkenntnisse finden sich in der originalen Veröffentlichung [BBL+24].

Tabelle A-17: Interviewteilnehmer für die Identifikation der typischen Maßnahmen zur Reifesteigerung der PM Initiativen

| # | PM Benutzer | Industrie | Abteilung der Initiative | # Mitarbeiter | # Mitarbeiter in der Initiative | Erfahrung des Unternehmens mit PM | Position |
|-----|-------------|----------------------|---------------------------|---------------|---------------------------------|-----------------------------------|---|
| I1 | Extern | Softwareentwicklung | Softwareentwicklung | 10 | 2 | 3,5 Jahre | Geschäftsführer |
| I2 | Intern | Maschinelle Ausleihe | Auftragsverwaltung | 67 | 4 | 2,5 Jahre | Controlling & Buchhaltung |
| I3 | Intern | Elektronik | PLM-Prozesse und -Tools | 6000 | 2 | 1,5 Jahre | Bereichsübergreifende Leitung für Digitalisierung |
| I4 | Intern | Energie | Zählstand-Messbetrieb | 1095 | 10 bis 15 | 3 Jahre | Digitalisierungsexperte für Prozessautomatisierung |
| I5 | Intern | Ingenieurwesen | BPM | 3500 | 5 | 1,5 Jahre | Leitung Geschäftsprozess-Optimierung |
| I6 | Intern | Ingenieurwesen | IT & BPM | 18143 | 5 | 2,5 Jahre | Senior Vizepräsidentin Corporate BPM |
| I7 | Intern | Elektronik | Datenwissenschaft | 9000 | 18 | 2 Jahre | Teamleiter Komplexitätsmanagement & Datenwissenschaften |
| I8 | Extern | Beratung | Datenwissenschaft und BPM | 190 | 5 bis 10 | 3 Jahre | Beratung |
| I9 | Extern | Softwareentwicklung | Softwareentwicklung | 112000 | 100 | 8 Jahre | Beratung |
| I10 | Intern | Landtechnik | Digitalisierung | 5500 | 3 | 3 Jahre | Prozessmanagement |
| I11 | Intern | Elektronik | Finanzen & Controlling | 6500 | 2 | 3 Jahre | Controlling |

A3.2.6 Forschungsmethode für die Herleitung der Reifegradprofile

In diesem Abschnitt wird der durchgeführte Forschungsansatz zur Identifikation der in Abschnitt 4.5.3 vorgestellten fünf Reifegradprofile dargelegt. Das Vorgehen zur Erforschung von Reifegradmodellen nach BECKER ET AL. [BKP09] (vgl. Anhang A3.2.5) empfiehlt eine empirische Auswertung von ausgefüllten Reifegradmodellen, um typische Reifegradausprägungen festzustellen. Zum Zeitpunkt der Abgabe der vorliegenden Arbeit liegt noch keine ausreichende empirische Datenbasis vor, um dieses Vorgehen zu unterstützen. Um Organisationen trotzdem eine Hilfestellung bei der Bestimmung des Soll-Reifegrads zu ermöglichen, wurden anhand der Literatur fünf Reifegradprofile gebildet. Diese Reifegradprofile wurden nicht veröffentlicht, da sie von der theoretischen Seite zu

wenig Neuheitsgrad bieten und eher für die praktische Anwendung Vorteile bieten. Die Erarbeitung dieser Reifegradprofile wird nachfolgend kurz erläutert. Zunächst wurde eine Matrix gebildet, bei der die Zeilen die sechs PM Typen nach VAN DER AALST [vdA22, S. 23ff.] (vgl. Abschnitt 2.4.2) umfassen. Die Spalten stellen den BPM Lebenszyklus nach DUMAS ET AL. [DLM+18, S. 16ff.] dar (vgl. Abschnitt 2.3.3). Anschließend wurden die 18 Anwendungsszenarien in diese Matrix eingeordnet. Das Resultat ist in Tabelle A-18 dargestellt.

Tabelle A-18: Einordnung der Nummern der 18 identifizierten Anwendungsszenarien in die sechs PM Typen nach VAN DER AALST [vdA22, S. 23ff.] und dem BPM Lebenszyklus nach DUMAS ET AL. [DLM+18, S. 16ff.]

| | Process Discovery | Process Analysis | Process Redesign | Process Implementation | Process Monitoring & Controlling |
|----------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------------|----------------------------------|
| Process Discovery | 1, 8, 11 | 4, 10, 18 | 2, 17 | | |
| Conformance Checking | | 3, 9, 13, 14 | | | |
| Performance Analysis | | 4, 12 | | | 6, 7 |
| Comparative PM | | | | | 16 |
| Predictive PM | | | | | 5, 15 |
| Action-Oriented-PM | | | | | |

Es ist zu beobachten, dass sich die Anwendungsszenarien grob in fünf Bereiche unterteilen. Die erste Gruppe nutzt den PM Typen der Process Discovery im gleichnamigen BPM Lebenszyklus sowie der Prozessanalyse. Die zweite Gruppe nutzt den PM Typen des Conformance Checkings, um Prozessanalysen durchzuführen. Die dritte Gruppe nutzt den PM Typen der Performanceanalyse zur Prozessanalyse sowie für das Monitoring und Controlling. Die vierte Gruppe nutzt den Haupttypen des Comparative-PMs, um ein Monitoring und Controlling zu ermöglichen. Die fünfte Gruppe nutzt prädiktives-PM, um

ein Monitoring und Controlling zu ermöglichen. Da keine realen Anwendungsszenarien für den PM Typen des Action-Oriented PMs identifiziert wurden, wird dieser Typ nicht adressiert.

Vor dem Hintergrund dieser fünf Gruppen wurde anschließend von einem Forschungsteam bestehend aus zwei PM Experten⁶⁰ das P3M so ausgefüllt, dass der Reifegrad die Durchführung der Anwendungsszenarien in der jeweiligen Gruppe ermöglichen würde. Dies betrifft daher vor allem die technischeren Aspekte, bspw. das Wissen der Personen zu fortgeschrittenen Anwendungsszenarien oder die Verfügbarkeit der Daten.

Die so für die fünf Gruppen bewerteten Reifegradmodelle sind die als Referenz genutzten Reifegradprofile. Sie wurden in zwei Workshops im Rahmen des it's OWL Innovationsprojekts BPM I4.0 und des it's OWL Transferpilotens PM4Opt angewendet. Es hat sich gezeigt, dass wenngleich die Reifegradprofile nicht die Aussagefähigkeit von empirisch belegten Reifegradprofilen besitzen, sie den Organisationen eine gute erste Orientierung bieten und die Diskussion beleben.

A3.2.7 Forschungsmethode zur interviewbasierten Evaluation der Systematik

In diesem Abschnitt wird der Forschungsansatz zur interviewbasierten Evaluation der Systematik in Abschnitt 5.2.2 und 5.2.3 vorgestellt. Der Anleitung von MYERS UND NEWMAN [MN07] folgend wurden acht Interviews mit Akteuren aus Wissenschaft und Praxis durchgeführt. Eine Übersicht der Interviewteilnehmer ist in Tabelle A-19 gegeben. Jedes Interview dauerte 40 bis 60 Minuten. In den Interviews wurde die erarbeitete Systematik zunächst vorgestellt. Anschließend wurde semi-strukturiert über die Lösung diskutiert. Es wurden positive und negative Aspekte, der Einfluss der Systematik auf die Leistungssteigerung und der zukünftiger Forschungsbedarf für die Systematik abgefragt.

Tabelle A-19: Interviewteilnehmer für die Evaluation. Entwicklungsbeteiligung beschreibt, ob der Interviewteilnehmer an der Entwicklung einzelner Artefakte beteiligt war. Systematikverständnis ist eine Selbsteinschätzung, wie gut die Systematik verstanden wurde.

| Kürzel | Position | Erfahrung | Zuordnung | Branche | Mitarbeiter | Entwicklungsbe- teiligung? | Systematik-verständnis |
|--------|-------------------------------------|-----------|-----------|--------------|-------------|----------------------------|------------------------|
| I1 | Head of Software & Data Engineering | 8 Jahre | Industrie | Lebensmittel | <500 | Ja | 85% |

⁶⁰ Ein Experte hat drei, der andere zwei Jahre Erfahrung im PM. Beide waren an der Entwicklung des P3M beteiligt.

| Kürzel | Position | Erfahrung | Zuordnung | Branche | Mitarbeiter | Entwicklungsbeteiligung? | Systematik-verständnis |
|--------|---|-----------|------------------|--------------------|-------------|--------------------------|------------------------|
| I2 | Product Management Lead | 4 Jahre | Softwareanbieter | Softwarehersteller | <50 | Nein | 70% |
| I3 | Koordinator Technologie, Prozesse, Organisation | 2 Jahre | Industrie | Hausgeräte | >20.000 | Nein | 70% |
| I4 | Post-Doc | 8 Jahre | Wissenschaft | Forschung | <50 | Ja | 90% |
| I5 | Senior Director Prozessoptimierung | 4 Jahre | Industrie | Maschinenbau | >3000 | Ja | 80% |
| I6 | Projektmanager PLM Prozesse | 3 Jahre | Industrie | Elektrotechnik | >6000 | Ja | 85% |
| I7 | PMO Office | 5 Jahre | Industrie | Softwarehersteller | <500 | Nein | 80% |
| I8 | Manufacturing Intelligence Engineer | 5 Jahre | Industrie | Pharma | >50.000 | Nein | 75% |

Alle Interviews wurden auf Deutsch geführt, wobei Interviewteilnehmer 8 bei einem Unternehmen im Ausland tätig ist. Interviewteilnehmer 7 hat die PM Initiative eines fertigenden Industriebetriebs aufgebaut, ist mittlerweile jedoch bei einem Softwarehersteller tätig. Während des Interviews wurden relevante Aussagen mitgeschrieben. Im Anschluss an die Interviews wurden diese Mitschriften, das automatisch erstellte Transkript und die Videoaufzeichnung aufgearbeitet, um relevante Aussagen zu identifizieren und Zitate zu erstellen. Vor dem Hintergrund der vier oben genannten Themen, die diskutiert wurden, sind die Aussagen der Interviewteilnehmer in Tabelle A-20 zusammenfassend dargestellt. Eine Diskussion und Einordnung der Aussagen findet in Abschnitt 5.3 statt.

Tabelle A-20: Aussagen der Interviewteilnehmer zu der entwickelten Systematik

| Themenbereich | Zitat |
|---------------------------------------|---|
| Positive Aussagen über die Systematik | <p>"Für mich ist das Ziel des Ganzen sehr klar" ~I1-1</p> <p>"Definitiv positiv meiner Meinung nach ist, dass du allgemeine Konzepte des Projektmanagements nimmst und gießt diese nochmal in PM spezifische Anwendung." ~I1-5</p> <p>"Das Reifegradmodell ist ein bisschen wie eine Retrospektive im agilen Arbeiten: Du gehst in dich und fragst dich, wie man es beim nächsten Mal besser machen kann" ~I1-8</p> <p>"In dem Framework hast du es mit dem „Ancient“ gehalten, das gibt mir dann ein gutes Gefühl" ~I1-6</p> |

| Themenbereich | Zitat |
|---------------|--|
| | <p>"Solche [PM] Initiativen sind für den Standort Deutschland sehr wichtig. [...] Wegen des demographischen Wandels haben wir weniger Leute, also ist die Produktivitätssteigerung ein Schlüsselfaktor, um unseren Wohlstand zu halten." ~I1-13</p> <p>"Man hat da [mit der Systematik] ein standardisiertes Vorgehen, das man anwenden kann. Sowohl für den Dienstleister als auch für den Kunden." ~I2-1</p> <p>"Das Reifegradmodell würde ich am gesetztesten sehen. Das ist schnell erstellt, aber man hat den Wert viel länger. Und aktualisieren ist immer leichter als neu zu erstellen." ~I3-2</p> <p>"Wenn der Fachbereich auf uns [als Dienstleistungsabteilung] zu kommt, dann ist so ein Vorgehen immens wichtig [...]. Dann kann man vorne rein schon zeigen, wo man hinwill, da holt man die Leute viel besser ab." ~I3-3</p> <p>"Ich glaube gewisse Adaptionen sind unternehmensspezifisch ganz normal, dann streicht man was raus oder passt das an, weil man einen anderen Schwerpunkt hat" ~I3-4</p> <p>"Ich glaube, dass es [die Systematik] sehr nützlich sein kann für Unternehmen und die sich genau diese Fragen stellen. Das Problem, mit dem du gestartet bist, ist ja: In den ersten zwei Use Cases funktioniert PM immer super, weil das die Standardprozesse sind. [...] Aber viele hören dann auch wieder auf, weil sie danach nicht mehr weitermachen. Und genau da steigst du ja ein." ~I4-1</p> <p>"Ich glaube es [die Systematik] ist sehr gut anwendbar für Unternehmen. Gerade vor dem Hintergrund deiner Zielgruppe" ~I4-2</p> <p>"Die drei Säulen sind ja die Säulen, die Unternehmen typischerweise bearbeiten wollen." ~I4-3</p> <p>"Auch sehr schön ist, dass es [die Systematik] typische Projektmanagementstrukturen hat. Alle die schon in einem Unternehmen sind, würden genau das erwarten. Es ist ja sehr schön, wenn man an bekanntes anknüpft." ~I4-4</p> <p>"Es [die Systematik] ist sehr angeschlussfähig zu dem wie in Unternehmen solche oder ähnliche Projekte [durchgeführt werden]. In letzter Instanz kann man es ja auch in Prozessmanagement oder Data Science Projekt verorten. Die würden damit klarkommen und wüssten bei den Dingen, dass das das ist, was die sonst auch machen." ~I4-5</p> <p>"Mit der Arbeit werden genau die aktuellen Gedankengänge hier [im Unternehmen] abgedeckt." ~I5-1</p> <p>"Das ganze Thema der Prozesseffizienzmessung ist ein Riesenthema für uns. Wie misst man das, wie kommt man an die Daten dran, welche Projekte macht man?"~I5-2</p> |

| Themenbereich | Zitat |
|---------------------------------------|---|
| | <p>"Positiv finde ich durchaus immer die strukturierte Vorgehensweise. [...] Jemand der nicht so viel mit PM zu tun hat, findet sich da wieder" ~I6-1</p> <p>"Den Quick Check finde ich super jemanden mitzugeben, der noch gar keine Ahnung hat" ~I6-3</p> <p>"Ich finde das immer schwammig, wenn jemand ankommt und sagt 'Ich möchte hier die Prozesse analysieren', aber dir nicht sagen kann wie" ~I6-4</p> <p>"Dafür [die Zielgruppe] passt es und ist eine gute Orientierung"~I7-2</p> <p>"Ich kann die Motivation der Arbeit sehr gut nachvollziehen. [...] Also einfach dieser ganzheitliche Ansatz des Versuchs der Strukturierung von PM Projekten sowohl auf sehr detaillierten Ebenen als auch für das gesamte Unternehmen finde ich auf jeden Fall relevant."~I8-1</p> |
| Negative Aussagen über die Systematik | <p>"Die Rollenzuweisung ist für mich vielleicht nicht so deutlich. Es gibt sehr viele Rollen und es [die Systematik] ist auch sehr umfassend. Wo jede Rolle in jedem Prozessschritt mitwirkt [müsste klarer sein]." ~I1-2</p> <p>"Wie kann ich sicherstellen, dass ich nicht falsch abgebogen bin in dem ganzen Prozess? [...] Du sagst mir, was ich zu tun habe, aber nicht, ob ich das gut gemacht habe." ~I1-7</p> <p>"Wie hilfst du mir wirklich? [bspw. beim RVM] [...], sagst du, dass man die Case ID mit dem Fachexperten definiert. Aber hilfst du mir da wirklich und sagst, wie man das machen kann." ~ I1-9</p> <p>"Man muss das [den Inhalt der Systematik] auch erstmal transportiert kriegen. [...]. Das verstanden wird, was hinter all diesen Punkten dann zu sehen ist, wie man das ausfüllen muss oder was da sinnvoll ist." ~I2-2</p> <p>"Was in der fertigenden Industrie immer eine große Herausforderung ist, ist wie man die Inhalte transportiert kriegt, die man generiert. [...] Macht das dann der Data Scientist oder kann das die Fachabteilung eigenständig durchführen?" ~I2-3</p> <p>"Wenn du das [in der Praxis] durchführen lassen willst, dann würde ich das digital unterstützen wollen, bspw. in einem Tool. Dass das schneller wiederholbar ist, weil sonst, wenn das einen Workshopcharakter hat, dann ist das so ein totes Ding." - I3-1</p> <p>"Man hat wenig Zeit. Viele Unternehmen haben bestimmt schon eine PM Initiative. Viele Unternehmen werden aber über die Data Analytics Initiative gehen." ~I3-5</p> <p>"Man muss die Experten schnell wieder in ihre Facharbeit bringen. [...] Das ist für mich der Gradmesser des Erfolgs von solchen Aktionen: Wie schnell kann ich das Wissen der Leute abziehen und schnell für sie auch wieder eine Handlungsaufgabe definieren." ~ I3-6</p> |

| Themenbereich | Zitat |
|---------------|--|
| | <p>"Am Ende [ist] die Operationalisierung [ein Problem]. Wer macht das jetzt eigentlich, wann, wie? [...] So braucht man letztendlich diesen einen Experten oder Berater, der einem sagt, wie es gemacht wird." ~I4-6</p> <p>"Ein Thema ist die Datenqualität. Wie kann ich das [im Vorfeld] messen? [...] Sind die Zeitstempel alle verfügbar, dass ich das nutzen kann?" ~I5-3</p> <p>"Ich muss das ja alles in Einklang bringen. Ich habe viele Parallelprojekte. Wo bringe ich das sinnvoll ein?" ~I5-4</p> <p>"Thema Betriebsräte: Nicht alle Daten, die wir messen, dürfen wir ja auch verwenden." ~I5-5</p> <p>"Der Gedankengang in der Produktion, dass man das als Hilfs-Tool anerkennt und nicht denkt, dass das ein Kontrollmechanismus ist." ~I5-6</p> <p>"Wie bekomme ich ein Bild der End-To-End Produktionsprozesse hin? Manchmal taucht man in irgendwelche Sub-System ab. Am Anfang des Tages muss man am Anfang auch schon Klarheit über die Prozesslandschaft haben, um zu wissen, wo man was macht." ~I5-7</p> <p>"Man muss das nicht als Sprint, sondern als Marathon sehen. Nur dann kann das auch langfristig im Unternehmen aufgebaut werden" ~I5-8</p> <p>"Wo ich das Bottleneck sehe, ist Organisation und Teams. [...] Es ist immer schwierig die passenden Stakeholder dafür zu finden" ~I6-2</p> <p>"Das Thema Daten ist dann auch immer kritisch. Welche Daten nimmt man jetzt heran? Das gibt einem die Systematik nicht vor. [...]. Beispielsweise bei den Silos [bei der PMDC] könnte man ja schon sagen man braucht die und die Datenstränge." ~I6-4</p> <p>"Was mir in dem Moment gefehlt hat: Was ist eigentlich die Frage, die du mit dem Set an Hilfsmitteln beantworten willst? [...] Jetzt ist es ein bisschen so: tolle Lösung, ich weiß aber gar nicht ob ich das passende Problem habe. [...] Es fehlt so eine Art Ablauf: Wo bin ich eigentlich auf meiner PM Reise?" ~I7-1</p> <p>"Es bräuchte an Inspirationsset von KPI für Fertigungsunternehmen. [...] Welche Ziele und welche KPI sind da für ein Fertigungsunternehmen relevant?" ~I7-3</p> <p>"Eine Person, die Interesse an PM hat, könnte deine Systematik jetzt nicht anwenden, da müsste wahrscheinlich wirklich ein CoE oder eine Interessengruppe aufgebaut werden. Das benötigte die Überzeugung von höherer Managementebene." ~I8-2</p> <p><i>"Roles and Responsibilities:</i> Wenn man so eine Systematik anwendet, bräuchte man wahrscheinlich auch Menschen, die die Systematik betreuen und repräsentieren und nicht zwingend in den einzelnen Projekten arbeiten. [...] Im Software-Engineering würden wir da von Evangelisten sprechen." ~I8-3</p> |

| Themenbereich | Zitat |
|---|--|
| Einfluss der Systematik auf die Leistungssteigerung | <p>"Meiner Meinung nach gibt deine Systematik einer Firma ein strukturiertes Vorgehen, um die Leistungssteigerungsfaktoren zu identifizieren und zu implementieren und zu Ende zu bringen." ~I1-10</p> <p>"Schlussendlich hilft einem PM ja nicht eine Leistungssteigerung zu bewirken, sondern man muss die Ergebnisse dann immer noch in einen Kontext setzen, interpretieren und dann Maßnahmen ableiten. Also ich denke, es [die Systematik] ist mehr so ein Schritt in die Richtung, dass man mit PM diese Maßnahmen ableiten kann." ~I2-4</p> <p>"Irgendwie Verschwendungen reduzieren oder Durchlaufzeiten oder irgendwie Wartezeiten reduzieren, dann ist das eine Leistungssteigerung, oder?" - I3-7</p> <p>"Die Frage ist: Was kann PM leisten und was nicht? Und es kann ja eigentlich nur Information verfügbar machen, auf dessen Basis ich Entscheidungen treffe. Es kann sein, dass du den Prozess besser streaminst, der dazu führt, dass du eine [bessere Prozessqualität hast]." ~I4-7</p> <p>"Häufig hilft erstmal die Transparenz und das Sprechen über die Prozesse schon, dass die Kollegen [in der Produktion] Optimierungsansätze sehen." ~I5-9</p> <p>"Trägt eine Systematik überhaupt zur Leistungssteigerung bei, oder das Ergebnis [der Systematik]?" ~I6-5</p> <p>"Nur weil du eine Systematik hast, heißt es ja nicht automatisch, dass du nachher deinen Prozess verbesserst. [...] Vielleicht ist ja auch ein Ergebnis der Systematik, dass sich der Prozess gar nicht verbessern lässt." ~I6-6</p> <p>"Das hängt nicht vom Process Mining, sondern von den Initiativen ab, die man unternimmt oder unterlässt. Das Process Mining an sorgt nur dafür, wie ist oder war die Situation und wo sind wir heute. Und dann kann sich jedes Unternehmen fragen, ist es mit dem Status Quo zufrieden oder nicht. [...]" ~I7-4</p> <p>"Was erstmal das Process Mining machen kann, ist lediglich die Transparenz zu erhöhen. [...] Du hast dann mehr Punkte, an denen du den Status Quo eines Systems bewerten kannst. Davon hast du aber noch keine einzige Maßnahme gemacht und davon bist du noch kein Stück besser." ~I7-5</p> <p>"Für das Continuous Improvement ist das Process Mining so wichtig. Denn hinter jeder Maßnahme steht eine Hypothese [was sich verändert]. [...] Dadurch kannst du den Erfolg von Maßnahmen endlich messen. [...]" ~I7-6</p> <p>"Prinzipiell ja. Weil generell ist es gut eine Struktur zu haben, wie man an etwas rangeht." ~I8-5</p> |

| Themenbereich | Zitat |
|------------------------------|--|
| Zukünftiger Forschungsbedarf | <p>„Was noch ein spannender Untersuchungspunkt wäre, ist welche Unternehmensgrößen am besten für die Arbeit geeignet sind. Braucht man wirklich eine dedizierte PM Initiative?“ ~I1-3</p> <p>„Ein Vorschlag [für zukünftige Forschung] wäre, dass man das nochmal untersucht. Wie kann man sowas [eine PM Initiative] auf die Beine stellen? Was sind die Erfolgsautoren?“ ~ I1-4</p> <p>„Die Daten und der Log müssten mir doch den Prozess anzeigen. Ohne den Maschinenführer Fragen zu müssen. [...] Und dann kann man sich den Prozess zusammenreimen.“ ~I1-11</p> <p>„GenAI ist auch ein Riesenpotential. Man kann die LLMs nutzen, um die Semantik von einem Prozess bspw. durch Dokumente tatsächlich verstehen zu können.“~I1-12</p> <p>„Wo es ja immer eine große Herausforderung gibt, sind kontinuierliche Prozesse. Also alles, wo es keine diskreten Eventdaten gibt. Wie kann in so einer Umgebung eine Wertstromanalyse stattfinden? Ich glaube, das ist auf jeden Fall ein spannendes Feld.“ ~I2-5</p> <p>„Es wird ja immer davon ausgegangen, dass man die Daten hat, die man so braucht. Erstmal festzustellen ob man alle Daten zur Verfügung hat, das ist ja für Process Mining auch enorm wichtig.“ ~I3-8</p> <p>„Ist PM eigentlich wirklich anders als Data Science oder BPM Projekte? Ist es nicht eigentlich nur ein Sub-Typ. [...] Ist es jetzt konzeptionell wirklich was Anderes oder Neues?“ ~I4-8</p> <p>„Vielleicht ist eine Ausbaustufe der Arbeit ein Lifecycle. Auf Dauer wäre es schon cool, wenn man so einen PM Lifecycle hätte.“ ~I4-9</p> <p>„Tools, um die Datenqualität noch besser zu machen.“ ~I5-10</p> <p>„Thema Schnittstellen: Wie baue ich eine IT-Landschaft auf und das [PM] auch nutzen zu können.“ ~I5-11</p> <p>„Ich glaube, dass die Organisatorische Verankerung, also das Thema Betriebsmodell, Zusammenarbeit, Zusammenspiel, Erwartungshaltung [...], dass da noch ein Riesenerfolgsfaktor drinsteckt, ob eine Initiative erfolgreich ist oder nicht.“ ~I7-7</p> <p>„Generell in der Fertigung gibt es noch nicht so viel Forschung. [...] Weil wahrscheinlich von Fertigungsprozesse ganz schön unterschiedlich sein können. Wohingegen Einkaufs und Vertriebsprozesse schon sehr ähnlich sind. Und die Datenstruktur in Fertigungsprozessen eher schwieriger sind. “~I8-4</p> <p>„Wir brauchen für Process Mining in der Fertigung Benchmark [Datensätze].“ ~I8-6</p> |

Zum Abschluss der Interviews wurden die Interviewpartner gebeten, vier Evaluationskriterien nach PRAT ET AL. auf einer Skala von 1 bis 4 zu bewerten, wobei 1 schlecht und 4 gut ist [PCA14]. Eine Übersicht der abgegebenen Bewertungen ist in Tabelle A-21 gegeben.

Tabelle A-21: Abgegebene Bewertungen zu verschiedenen Evaluationskriterien

| Interview | Verständlich-keit | Fit zum Unter-nehmensalltag | Vollständig-keit | Minimalis-mus |
|---------------|-------------------|-----------------------------|------------------|---------------|
| I1 | 4 | 3 | 3 | 4 |
| I2 | 3 | 2 | 3 | 2 |
| I3 | 3 | 4 | 3 | 4 |
| I4 | 3 | 3 | 3 | 4 |
| I5 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| I6 | 4 | 3 | 3 | 3 |
| I7 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| I8 | 3 | 4 | 3 | 3 |
| Durch-schnitt | 3,125 | 3 | 2,875 | 3,25 |