

Institut für Parallele und Verteilte Systeme
Abteilung Anwendersoftware

Universität Stuttgart
Universitätsstraße 38
D - 70569 Stuttgart

Masterarbeit Nr. 3417

**Entwicklung analysebasierter
Optimierungsmuster zur Verbesserung
von Fertigungsprozessen**

Moritz Dapperheld

Studiengang:	Master Wirtschaftsinformatik
Prüfer:	PD Dr. rer. nat. habil. Holger Schwarz
Betreuer:	M. Sc. Christoph Gröger
begonnen am:	15.10.2012
beendet am:	16.04.2012
CR-Klassifikation:	J.1

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	1
Abbildungsverzeichnis.....	3
Tabellenverzeichnis.....	5
Abkürzungsverzeichnis	6
Kurzfassung	8
1. Einleitung und Zielsetzung	9
2. Grundlagen der Produktion	11
2.1 Begrifflichkeiten und Abgrenzung	11
2.2 Geschäftsprozesse in Industrieunternehmen.....	12
2.3 IT-Systeme in der Produktion.....	12
2.4 Optimierung von Produktionsprozessen	14
3. IT-Konzepte zur Prozessoptimierung	16
3.1 Begrifflichkeiten und Abgrenzung	16
3.2 Business Intelligence	16
3.2.1 BI-Ordnungsrahmen	16
3.2.2 Data Warehouse.....	18
3.2.3 Data Mining	21
3.3 IT-basierte Optimierungsansätze	23
3.3.1 Descriptive Analytics.....	24
3.3.2 Predictive Analytics.....	24
3.3.3 Prescriptive Analytics.....	25
3.4 AdMA-Plattform.....	26
3.4.1 Konzept der AdMA-Plattform	26
3.4.2 Architektur	26
3.4.3 Ansatzpunkt der Erweiterung.....	29
4. Rahmenwerk zur musterbasierten Optimierung in der Fertigung.....	30
4.1 Überblick.....	30
4.1.1 Optimierungsablauf.....	30
4.1.2 Betrachtete Konzepte	31
4.1.3 Bewertungskriterien an die Optimierungsansätze.....	32
4.2 Produktionsgetriebene Ansätze	38
4.2.1 Theory of Constraints	39
4.2.2 Total Quality Management.....	45
4.2.3 Six Sigma	46
4.2.4 Lean Production.....	48

4.3	Workflowgetriebene Ansätze	61
4.3.1	Zusammensetzung von Informationsprozessen	61
4.3.2	Reihenfolge der Prozessschritte	62
4.3.3	Ablaufsteuerung.....	64
4.3.4	Ressourcenverwaltung	65
4.4	Dynamische Muster	67
4.5	Bewertung des Rahmenwerks	68
5.	Konzeption der proaktiven Handlungsoptimierung.....	71
5.1	Real-Time-Prediction	72
5.2	Vorbereitung der Empfehlungsgenerierung	73
5.2.1	Reichweite der Optimierungsempfehlung	73
5.2.2	Auswahl der Datengrundlage	74
5.2.3	Entscheidungsbaum-Erstellung	78
5.3	Baumanalyse und Regelableitung	85
5.4	Darstellung der Empfehlung.....	87
6.	Prototypische Implementierung.....	88
6.1	Grundlagen der Implementierung.....	88
6.2	Zielsetzung.....	89
6.3	Implementierung	89
7.	Einsatzmöglichkeiten der Ergebnisse	92
	Literaturverzeichnis	93

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Produktionssystem (in Anlehnung an Dyckhoff 2006)	11
Abbildung 2: Ebenen der Produktionsaktivitäten (in Anlehnung an Kletti 2007)	13
Abbildung 3: Kreislauf der Prozessoptimierung (in Anlehnung an Schmelzer/Sesselmann 2008)	15
Abbildung 4: BI-Ordnungsrahmen (in Anlehnung an Kemper et al. 2010).....	17
Abbildung 5: Architektur Zentrales Core Data Warehouse (in Anlehnung an Kemper et al. 2010)	19
Abbildung 6: Architektur Data Warehouse mit abhängigen Data Marts (in Anlehnung an Kemper et al. 2010)	19
Abbildung 7: ETL-Prozess.....	20
Abbildung 8: Data-Mining-Prozess (in Anlehnung an Kantardzic 2011)	21
Abbildung 9: Data-Mining-Problemtypen (in Anlehnung an Kemper et al. 2010)	22
Abbildung 10: CBR-System (in Anlehnung an Main et al. 2001)	25
Abbildung 11: Konzeptionelle Referenzarchitektur der AdMA-Plattform (in Anlehnung an Gröger 2011)	27
Abbildung 12: Data Mining-basierte Plattformfunktionalitäten (in Anlehnung an Gröger 2011)	28
Abbildung 13: Ablauf der Optimierung (in Anlehnung an Niedermann et al. 2011b) ..	31
Abbildung 14: Betrachtete Ansätze	31
Abbildung 15: Optimierungsebenen von Produktionsprozessen	34
Abbildung 16: Zieldimensionen der Produktion (in Anlehnung an Erlach 2010)	36
Abbildung 17: Segmente eines Optimierungsmusters.....	38
Abbildung 18: Übersicht produktionsgetriebene Ansätze	39
Abbildung 19: TOC-Komponenten	39
Abbildung 20: TOC: Schritte der Prozessverbesserung (in Anlehnung an Becker 2008)	41
Abbildung 21: Anwendungsschritte DBR-Muster.....	43
Abbildung 22: Bewertung: Theory of Constraints	45
Abbildung 23: TQM-Komponenten	45
Abbildung 24: Bewertung: TQM-Komponenten	46
Abbildung 25: Komponenten Six Sigma	47
Abbildung 26: Bewertung: Six-Sigma-Komponenten.....	48
Abbildung 27: Komponenten der Lean Production	49
Abbildung 28: Total Productive Maintenance (in Anlehnung an Kletti/Schumacher 2011)	50
Abbildung 29: SMED – Umstrukturierung (in Anlehnung an Kletti/Schumacher 2011)	51

Abbildung 30: Kanban-Gruppen	52
Abbildung 31: Produktions-Kanban (in Anlehnung an Erlach 2010).....	53
Abbildung 32: Bewertung: JIT	54
Abbildung 33: Schritte der Wertstromanalyse	54
Abbildung 34: Bewertung: Wertstromanalyse.....	56
Abbildung 35: Schritt des Wertstromdesigns.....	56
Abbildung 36: Bewertung: Wertstromdesign	59
Abbildung 37: Bewertung: Lean Production	60
Abbildung 38: Übersicht workflowgetriebene Ansätze.....	61
Abbildung 39: Bewertung: Zusammensetzung von Informationsprozessen	62
Abbildung 40: Bewertung: Reihenfolge der Prozessschritte.....	64
Abbildung 41: Bewertung: Ablaufsteuerung	65
Abbildung 42: Klassische Ressourcenauswahl (in Anlehnung an Niedermann et al. 2011a)	65
Abbildung 43: Verbesserte Ressourcenauswahl (in Anlehnung an Niedermann et al. 2011a)	66
Abbildung 44: Produktionsgetriebene Ansätze des Musterkatalogs.....	69
Abbildung 45: Workflowgetriebene und dynamische Ansätze des Musterkatalogs	70
Abbildung 46: Vorgehensübersicht.....	71
Abbildung 47: Definition der Datengrundlage	72
Abbildung 48: Auswahl der betrachteten Schritte.....	74
Abbildung 49: Entscheidungsbaum mit Regeln unterschiedlicher Länge	76
Abbildung 50: Auswirkung der Datengrundlage	78
Abbildung 51: Unterschiede bei Auswahl	80
Abbildung 52: Abhängigkeit der Entscheidungsregel	80
Abbildung 53: Binärbaumdarstellung mit Teilmengen	81
Abbildung 54: Baum der Höhe 1	82
Abbildung 55: Entscheidungsbaum ohne Pruning.....	83
Abbildung 56: Entscheidungsbaum nach Pre- oder Postprune-Vorgehen	84
Abbildung 57: Eingeschränkter Durchlauf des Entscheidungsbaumes	85
Abbildung 58: Auswahl der Regel	86
Abbildung 59: Implementierung des MIR (in Anlehnung an Vetlugin 2012)	88
Abbildung 60: Abschnitte der Implementierung	90
Abbildung 61: Schnittstellen des MIR (in Anlehnung an Vetlugin 2012).....	91

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Bewertungskriterien an die Optimierungsansätze (in Anlehnung an Gröger 2011)	32
Tabelle 2: Muster Drum-Buffer-Rope: Attribute	42
Tabelle 3: Dezentrale Bestandsorientierte Fertigungsregelung: Attribute	57
Tabelle 4: Muster Parallelisieren: Attribute	63
Tabelle 5: Muster Vorgezogener Prozessabbruch: Attribute	64
Tabelle 6: Muster Ressourcenzuweisung: Attribute	66
Tabelle 7: Muster Proaktive Optimierung: Attribute	68
Tabelle 8: Auswahl relevanter Attribute	75
Tabelle 9: Auswahl relevanter Instanzen	77
Tabelle 10: Kriterien an den Entscheidungsbaum	79
Tabelle 11: Mögliche Pruning-Anwendungen	83
Tabelle 12: Vergleich der Regeln	87

Abkürzungsverzeichnis

AdMA	Advanced Manufacturing Analytics
API	Application Programming Interface
BI	Business Intelligence
BPI	Business Process Intelligence
BPMS	Business Process Management System
CAD	Computer-Aided-Design
CAM	Computer Aided Manufacutring
CAP	Computer Aided Planning
CAX	Computer Aided x
CBR	Case-Based Reasoning
CRM	Customer Relationship Management
DAS	Data Staging Area
DBF	Dezentrale Bestandsorientierte Fertigungsregelung
dBOP	deep Business Optimization Platform
DBR	Drum-Buffer-Rope
DWH	Data Warehouse
ERP	Enterprise Resource Planning
IT	Informationstechnologie
JIT	Just In Time
MES	Manufacturing Execution Systems
MIR	Manufacturing Insight Repository
MWH	Manufacturing Warehouse
OLAP	Online Analytical Processing
PMML	Predictive Model Markup Language
PPS	Produktionsplanung- und Steuerung
SCM	Supply Chain Management
SMED	Single Minute Exchange of Die
TOC	Theory of Constraints

TPM	Total Productive Maintenance
TQM	Total Quality Management

Kurzfassung

Der Produktionsablauf in Industrieunternehmen muss u.a. kosten- und zeiteffizient gestaltet, transparent und flexibel sein. Somit stellen genau kalibrierte Prozesse in der Fertigung eine Grundlage für den Erfolg des Unternehmens dar. Um diese zu erreichen, steht mit der Verbesserung bestehender Fertigungsprozesse ein kritischer Ansatz zur Verfügung.

So existiert eine Vielzahl an Optimierungskonzepten im Produktionsbereich, die sich bereits durch erfolgreiche Umsetzung in der Praxis bewährt haben. Jedoch werden für den Optimierungsvorgang oft nur die zur Verbesserung gewählten Bereiche betrachtet, ohne dass eine Interaktion mit den zusammenhängenden Informationsflüssen entsteht.

Das Forschungsprojekt Advanced Manufacturing Analytics (AdMA) stellt einen Ansatz zur Verfügung, um eine Analyse und Optimierung von Fertigungsprozessen zu erzielen, indem auf eine Kombination von Ausführungsdaten und Daten aus operativen Systemen zugegriffen wird. Die Optimierung wird auf Basis von Optimierungsmustern ausgeführt.

Ziel dieser Arbeit ist Bewertung bestehender Verfahren zur Optimierung hinsichtlich einer Anwendung als Optimierungsmuster. Die Ansätze werden in einem Rahmenwerk zusammengefasst. Hierfür werden Best Practices aus dem Produktionskontext, workflowgetriebene Ansätze und dynamische Vorgehen betrachtet. Die Bewertung zeigt Anwendungsmöglichkeiten für Ansätze aus allen drei Gebieten, aber auch die Kriterien auf, die eine Umsetzung aufwendig oder unmöglich gestalten.

Es wird ein Konzept zur Umsetzung des Ansatzes der proaktiven Optimierung erstellt. Das Muster passt die Attribute von Prozessinstanzen an, indem eine Handlungsempfehlung generiert wird. Die Anpassung basiert auf der Erstellung und Auswertung von Entscheidungsbäumen. Auf das Konzept folgend, wird die prototypische Implementierung beschrieben.

1. Einleitung und Zielsetzung

Auch wenn die Anforderungen im globalen Wettbewerb an heutige Industrieunternehmen schon lange bestehen, so haben sie durch die steigende Anzahl an Konkurrenten aus Hoch- sowie Niedriglohnländern keinesfalls an Bedeutung verloren. Unternehmen benötigen eine kosten- und zeiteffiziente Produktion, welche Transparenz bietet, die Produktqualität definiert und trotzdem ausreichende Flexibilität bezüglich Herstellung und Varianz der Produktpalette zulässt (Erlach 2010).

Somit stellen genau kalibrierte Prozesse in der Fertigung eine Grundlage für den Erfolg des Unternehmens dar. Sie stehen im Fokus von Optimierungsvorgängen mit dem Ziel einer langfristigen Effizienzsteigerung. Populäre Verbesserungskonzepte wie beispielsweise Lean Production oder Theory of Constraints werden seit längerer Zeit erfolgreich umgesetzt. Jedoch wird ihnen vorgeworfen, dass sie die eigentlichen Herstellungsprozesse zwar sehr intensiv betrachten, allerdings wenig Interaktion mit den zusammenhängenden Informationsflüssen aufweisen (Kletti/Schumacher 2011). Es entsteht somit die Forderung nach einer gemeinsamen Basis für die Daten der Fertigung sowie den Daten aus Systemen zur Verwaltung und Steuerung.

Für das Feld der Optimierung von Fertigungsprozessen zielt die Entwicklung des Forschungsprojekts Advanced Manufacturing Analytics (AdMA) darauf ab, die beschriebene Lücke an Daten zu schließen und eine Verbesserung der Fertigungsprozesse zu ermöglichen. Durch die Integration von Daten zur Ausführung und operativen Fertigungsdaten können Prozesse durch Data-Mining-Funktionalitäten analysiert und Potentiale zur Verbesserung aufgedeckt werden.

Um die Optimierung auf Grundlage bestehender Verfahren und Philosophien durchzuführen, müssen diese betrachtet und hinsichtlich ihrer Umsetzungsfähigkeit bewertet werden. So lassen sich Optimierungsmuster aus dem Workflow-Kontext nur eingeschränkt auf den Fertigungsbereich übertragen. Auch produktionsgetriebene Verbesserungsansätze eignen sich nur unter Anpassungen oder Beschränkungen für eine automatisierte Anwendung.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Erstellung eines Rahmenwerks, das Vorgehensweisen der produktionsgetriebenen Ansätze, Workflow-Verbesserungen sowie weitere dynamische Verfahren zusammenfasst. Die Ansätze werden auf ihre Umsetzbarkeit innerhalb der AdMA-Plattform bewertet. Es wird diskutiert, ob und in welcher Form eine Umsetzung möglich ist, welche Anpassungen nötig sind und welche Potentiale dabei entstehen. Zudem wird ein Optimierungsansatz als konzeptionelles Muster beschrieben und umgesetzt.

Die Arbeit gliedert sich in sieben Kapitel. Kapitel 2 beschreibt die Einordnung von Optimierungsansätzen in den Produktionsbereich. Es werden die Begrifflichkeiten der Produktion abgegrenzt, um aufbauend den Einsatz von IT(Informationstechnologie)-Systemen im Produktionskontext zu beschreiben. Anschließend werden die Optimierungsansätze für Produktionsprozesse vorgestellt.

Kapitel 3 betrachtet die Analyse- und Optimierungsmöglichkeiten IT-basierter Ansätze. Mit Business Intelligence (BI) wird ein Gesamtansatz zur Entscheidungsunterstützung vorgestellt und anhand seiner Komponenten beschrieben, wobei die Analysemöglichkeiten fokussiert werden. Die Konzepte zur Optimierung auf Basis von IT-Ansätzen werden aufgeführt und die primäre Betrachtung auf die musterbasierte Optimierung gelegt. Das AdMA-Forschungsprojekt stellt die Anwendungsmöglichkeit der muster-

basierten Optimierung im Fertigungsbereich zur Verfügung, weshalb das Kapitel mit der Beschreibung der Plattformarchitektur und den Ansätzen der Erweiterung endet.

Eine Bewertung von Optimierungsansätzen auf ihre Verwendbarkeit im Kontext der AdMA-Plattform wird in Kapitel 4 durchgeführt, um ein beschreibendes Rahmenwerk zu erstellen. Nach Vorstellung der Bewertungskriterien werden Ansätze zur Optimierung untersucht. Die Betrachtung gliedert sich in Best Practices zur Optimierung aus dem Produktionsbereich, in workflowgetriebene Ansätze und Umsetzungsmöglichkeiten dynamischer Ansätze auf Basis der Funktionalität der AdMA-Plattform.

In Kapitel 5 wird für den Optimierungsansatz der proaktiven Optimierung ein detailliertes Konzept erstellt. Eingegliedert in die Funktionalität der AdMA-Plattform wird der Ablauf zur Verbesserung von Prozessinstanzen beschrieben, die sich in der Ausführung befinden. Aufbauend auf das Konzept befasst sich Kapitel 6 mit der prototypischen Implementierung der proaktiven Optimierung.

Zum Ende der Arbeit wird eine abschließende Betrachtung sowie ein Ausblick in Kapitel 7 aufgeführt.

2. Grundlagen der Produktion

2.1 Begrifflichkeiten und Abgrenzung

Unter dem Begriff Produktion wird die Wertschöpfung verstanden, die durch die qualitative, quantitative, räumliche oder zeitliche Veränderung von Objekten erzielt wird. Diese Transformationen stellen eine der Kernfunktionen eines Betriebes dar, der das Ziel der Wertschöpfung verfolgt (Dyckhoff 2006).

Die industrielle Produktion eines Betriebes kann mit ihren Wirkungsgefügen als leistungserbringendes Subsystem des ökonomischen Systems und somit als Produktionssystem bezeichnet werden (Dyckhoff 2006). Für ein Produktionssystem können die Schnittstellen zu anderen Systemen sowie eine interne Struktur festgestellt werden (siehe Abbildung 1).

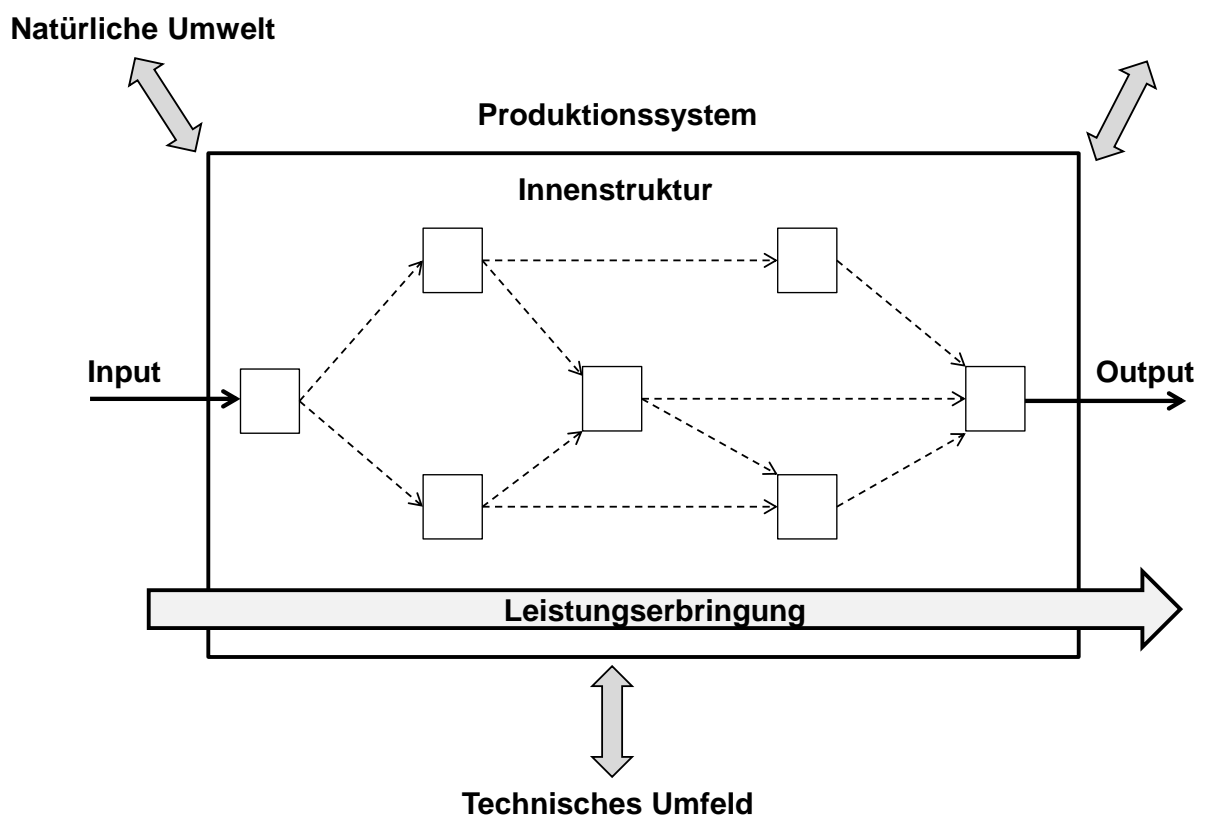


Abbildung 1: Produktionssystem (in Anlehnung an Dyckhoff 2006)

Die zur Produktion eingesetzten Güter werden als Inputgüter oder Ressourcen bezeichnet. Güter, die als Ergebnis des Produktionsprozesses entstehen, heißen Outputgüter. Als Inputgüter der Produktion existieren Sachgüter und Dienstleistungen. Sachgüter stellen Güter materieller Art dar und umfassen Nutzungs- und Gebrauchsgüter, z.B. Gebäude oder Maschinen sowie Umsatzgüter, z.B. Rohstoffe oder Hilfsstoffe. Dienstleistungen treten in immaterieller Art auf und können Transporte oder menschliche Arbeitsleistung sein. Menschliche Arbeitsleistung, Betriebsmittel und Werkstoffe, die als Inputgüter eingesetzt werden, bezeichnet man als Elementarfaktoren. Dies umfasst allerdings nur die menschliche Arbeitsleistung in Form von ausführenden Tätigkeiten im Betrieb. Die Leistung in Form von Planung und Steuerung wird als dispositiver Faktor bezeichnet. Outputgüter können in Form von Sachgütern und

Dienstleistungen auftreten, wobei der Fokus dieser Arbeit auf der Erstellung von Sachgütern liegt (Fandel 2005).

Ein Unterscheidungsmerkmal zur Charakterisierung der Produktion ist die Produktionstechnologie, bei der zwischen Fertigungstechnik und Verfahrenstechnik unterschieden wird. Die Fertigungstechnik umfasst die Erstellung von Halbfabrikaten (z.B. Gussteile), die Fertigung von Teilen (z.B. Gehäuse) sowie die Montage der Enderzeugnisse aus Einzelteilen. Die Verfahrenstechnik stellt eine chemische Technologie dar und befasst sich mit der Gewinnung von chemischen Grund- und Spezialstoffen (Vahrenkamp 2008). Der Fokus dieser Arbeit liegt auf der Fertigungstechnik.

2.2 Geschäftsprozesse in Industrieunternehmen

Nach Staud 2006 (S. 9) besteht ein Geschäftsprozess „aus einer zusammenhängenden abgeschlossenen Folge von Tätigkeiten, die zur Erfüllung einer betrieblichen Aufgabe notwendig sind“. Geschäftsprozesse verwalten die Umwandlung von Produktionsfaktoren in Produkte oder Dienstleistungen und beschreiben die Wertschöpfungskette des Unternehmens. Geschäftsprozesse sind auf den Kunden ausgerichtet. Als Kunden können externe Kunden des Unternehmens, aber auch andere Unternehmensbereiche (interne Kunden) auftreten (Staud 2006).

Geschäftsprozesse werden in Kernprozesse und unterstützende Prozesse unterteilt. Kernprozesse sind zentrale Prozesse, die zur direkten Wertschöpfung im Unternehmen beitragen. Sie schaffen direkten Nutzen und nehmen die meisten Ressourcen in Anspruch. Unterstützende Prozesse ermöglichen die Ausführung der Kernprozesse. Sie besitzen nur interne Kunden und stellen den Kernprozessen ihre Leistungen zur Verfügung (Staud 2006).

In dieser Arbeit werden Fertigungsprozesse sowie die Ausführung von Informationsprozessen als Workflow betrachtet. Durch den Einsatz von Workflow-Management-Systemen können die Informationsflüsse der Prozesse verfeinert und als Modell dargestellt werden. Workflows beschreiben die Funktionen, Aktivitäten und Definitionen der Prozesse. Fertigungsprozesse stellen hingegen konkrete Arbeitsvorgänge, Arbeitspläne, Belegungen von Betriebsmitteln und Verfolgung von Aufträgen dar (Loos 1998).

2.3 IT-Systeme in der Produktion

Zur Erfüllung der Aufgaben eines Produktionsprozesses werden die Aktivitäten des Industriebetriebs in drei Ebenen gegliedert (siehe Abbildung 2). Ziel der Gliederung ist die Integration der für die Ausführung verantwortlichen IT-Systeme, da die drei Ebenen abweichende Detaillierungsgrade und Reichweiten der Planung aufweisen (Kletti 2007).

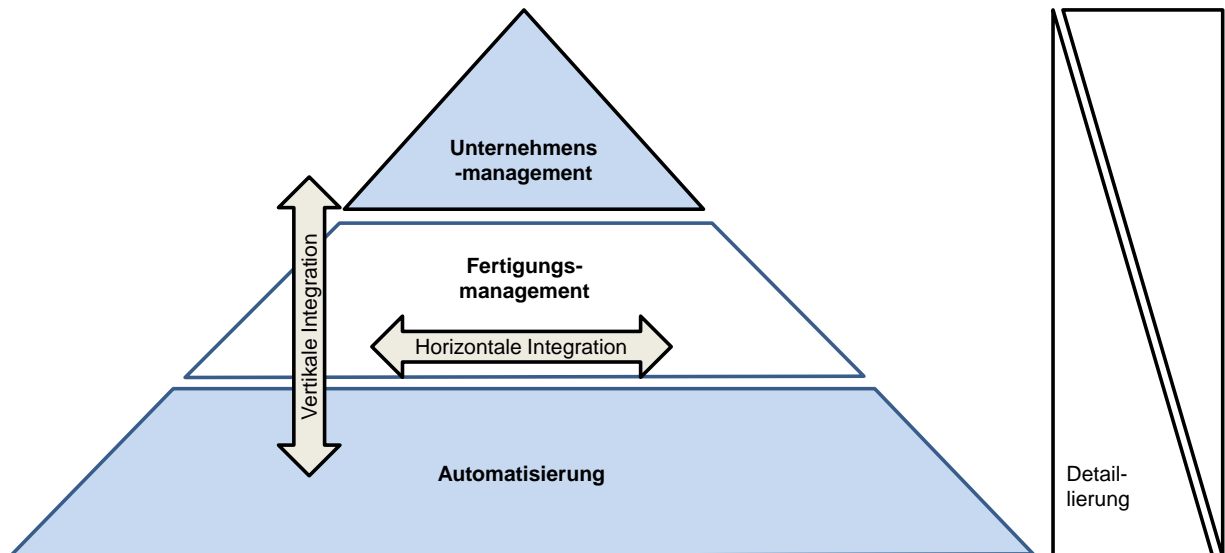


Abbildung 2: Ebenen der Produktionsaktivitäten (in Anlehnung an Kletti 2007)

Unternehmensmanagement

Das Unternehmensmanagement erstellt aus den Vertriebsaktivitäten und der Produktgestaltung die abhängigen Programm- und Mengenplanungen. Es gestaltet die grobe Planung für die Auftragsfreigabe und die daraus abgeleitete Planung von Terminen und Kapazitäten (Kletti 2007).

Die IT-Unterstützung der Konstruktionstätigkeiten wird von Computer-Aided-Design (CAD)-Systemen ausgeführt. Die Tätigkeiten umfassen Berechnungen, Simulationen und die Gewinnung von Informationen für die Erstellung eines Produktmodells. Das umfasst alle Entwicklungs- und Konstruktionsvorgänge, um neue Produkte zu entwerfen oder bestehende Produkte zu verbessern (Hehenberger 2011).

Computer Aided Engineering verwaltet Aufgaben zur rechnergestützten Auslegung von Produkten. Das beinhaltet die Erstellung von rechnerinternen Lösungen um Berechnungsaufgaben durchzuführen oder Optimierungsmöglichkeiten zu erkennen. CAE-Systeme sind eng mit CAD-Systemen verbunden und oft in die CAD-Systeme integriert (Hehenberger 2011).

Systeme zum Computer Aided Planning (CAP) generieren aus den Daten der CAD- und CAE-Systeme Organisations- und Steuerungsdaten für die Fertigung. Die Erstellung umfasst alle fertigungsbezogenen Aufgaben zur Planung, wie z.B. zeitlicher Abläufe, die Belegung der Maschinen oder die verwendeten Ressourcen. Des Weiteren können auch Werkzeuge und Maschineneinstellungen vorgegeben werden (Hehenberger 2011).

Die Pläne der CAP-Systeme stellen eine Quelle für Systeme der Produktionsplanung- und steuerung (PPS) dar. PPS-Systeme werden zur Optimierung der Produktionsabläufe eingesetzt. Sie umfassen die Planung von Produktionsprogrammen, Bedarfsplanungen und Maßnahmen zur Produktionssteuerung (Schuh/Stich 2012).

Die Planung und Steuerung der Unternehmensressourcen wird von Systemen des Enterprise Resource Planing (ERP) ausgeführt. ERP-Systeme sind eine Weiterentwicklung der PPS-Systeme und zeichnen sich durch ihre unternehmensübergreifende

Unterstützung der Geschäftsprozesse aus. Grundlage dafür ist eine gemeinsame Datenbasis, die Ressourcen und Informationsflüsse erfasst (Schuh/Kampker 2011).

Fertigungsmanagement

Auf der Ebene des Fertigungsmanagements stellen Manufacturing Execution Systems (MES) die vertikale Integration zwischen den Systemen des Unternehmensmanagements und der Automatisierungsebene dar. Während auf der höheren Hierarchieebene mittel- bis langfristige Entscheidungen getroffen werden, agiert die Automation im Sekundenbereich. Durch Datenverdichtungen und Entscheidungsvorlagen wird die Informationsversorgung der ERP-Systeme sichergestellt und die Entscheidungsbildung auf Ebene des Fertigungsmanagements unterstützt. Durch die permanente Abbildung der verwendeten Materialien, Maschinen und Hilfsmittel der operativen Ebene ermöglicht das MES die Feinplanungssteuerung des Fertigungsmanagements. Durch die Informationsdichte besteht die Möglichkeit, auf Änderungen zu reagieren und die Planung anzupassen (Kletti 2007).

Automatisierung

Systeme für das Computer Aided Manufacturing (CAM) sind auf der Ebene der Automatisierung aufgeführt und bearbeiten Aufgaben, die Fertigung und Montage direkt betreffen. Es werden Pläne zur Bearbeitung erstellt, Betriebsmittel verwaltet und die Ausführung numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen kontrolliert (Schuh/Stich 2012).

2.4 Optimierung von Produktionsprozessen

Für die Leistungssteigerung von Geschäftsprozessen existieren zwei Ansätze, die unter dem Begriff der Prozessoptimierung zusammengefasst werden:

- Erneuerung von Prozessen
- Verbesserung von Prozessen

Prozesserneuerungen streben einen aufwendigen Neuentwurf der Prozesse an, indem die Existenzberechtigung der bestehenden Prozesse neu bewertet wird. Sie werden angewendet, wenn grundlegende Veränderungen der Prozesslandschaft und bedeutende Verbesserungen der Leistung gefordert sind. Das kann der Fall sein, wenn sich das unternehmerische Umfeld oder die strategische Ausrichtung geändert haben und sich diese Änderungen auf die Wettbewerbsfähigkeit auswirken. Prozesserneuerungen werden von der oberen Managementebene in Auftrag gegeben und in Projektform durchgeführt (Schmelzer/Sesselmann 2008, Koch 2011). Die bekannteste Umsetzungsform der Prozesserneuerung ist Business Process Reengineering (Hammer/Champy 2003).

Prozessverbesserungen stellen hingegen einen kontinuierlichen Verbesserungsansatz dar. Ausgerichtet an den bestehenden Prozessen werden beständige Verbesserungsaufgaben durchgeführt, ohne dass ein hohes Maß an Risiko eingegangen wird (Schmelzer/Sesselmann 2008).

Die in dieser Arbeit betrachteten Optimierungsansätze basieren auf dem Konzept der Prozessverbesserung, da diese Form der Optimierung in der AdMA-Plattform angewendet wird. Somit bezeichnet Prozessoptimierung in dieser Arbeit den Ansatz zur

Verbesserung von Prozessen. Für die Erstellung des Rahmenwerks werden Optimierungsansätze aus den Methoden Theory of Constraints, Total Quality Management, Six Sigma und Lean Production betrachtet.

Die Durchführungsform einer Prozessoptimierung baut auf dem PDCA-Zyklus auf, der sich aus den Phasen Planen (Plan), Umsetzen (Do), Überprüfen (Check) und Verbessern (Act) zusammensetzt. Der Zyklus bildet die Grundlage jedes Verbesserungsvorgangs, da er eine systematische Problemlösung beschreibt. In den einzelnen Phasen werden hierbei folgende Aktivitäten ausgeführt:

1. **Plan:** Durch eine Analyse der Ist-Situation wird ein Plan zur Verbesserung erstellt und die zu erreichenden Ziele definiert.
2. **Do:** Die Verbesserungen werden durchgeführt.
3. **Check:** Nach der Umsetzung wird ausgewertet, ob die Ziele der Planphase erreicht wurden.
4. **Act:** Wenn die definierten Ziele erreicht wurden, wird der neue Prozess standardisiert, um das Erreichen der gewünschten Leistung auch in Zukunft sicher zu stellen.

Nach Durchführung der Verbesserungsphase wird der Zyklus erneut durchlaufen um eine kontinuierliche Verbesserung sicherzustellen (Schmelzer/Sesselmann 2008, Koch 2011).

Auf Basis des PDCA-Zyklus wird der Kreislauf der Prozessoptimierung abgeleitet (siehe Abbildung 3). Der Kreislauf beschreibt im ersten Schritt die Problemauswahl der betrachteten Prozesse. Darauf folgt eine Analyse der Ursachen des Problems. Im dritten Schritt wird basierend auf den Ursachen eine Lösung für das Problem gesucht und umgesetzt. Anschließend wird die Umsetzung auf ihre Zielerreichung geprüft und bei erfolgreicher Durchführung standardisiert (Schmelzer/Sesselmann 2008).

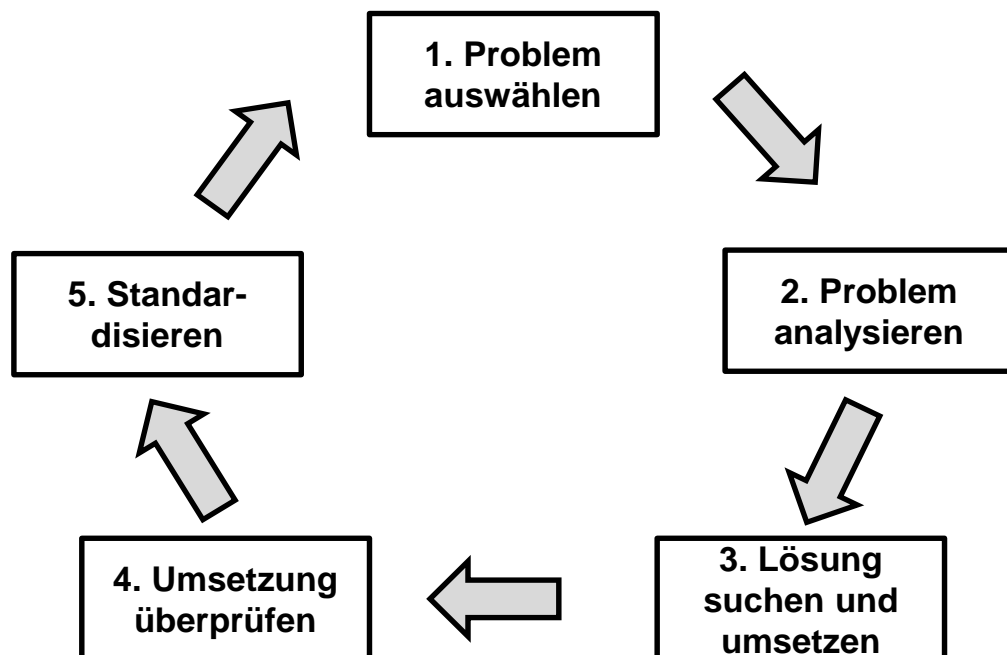


Abbildung 3: Kreislauf der Prozessoptimierung (in Anlehnung an Schmelzer/Sesselmann 2008)

3. IT-Konzepte zur Prozessoptimierung

3.1 Begrifflichkeiten und Abgrenzung

Der Begriff Business Intelligence (BI) bezeichnet nach Kemper et al. 2010 (S. 9) einen „integrierten, unternehmensspezifischen, IT-basierten Gesamtansatz zur betrieblichen Entscheidungsunterstützung.“ Er umfasst Anwendungen, um die Aktivitäten der Planung und Steuerung des Managements zu unterstützen. Dabei reicht der Einsatzgrad von der Unterstützung von oberen Führungskräften bis zur Planungs- und Steuerungsebene der operativen Gesamteinheiten. Zusätzlich werden auch Organisationseinheiten die dem Management bei der Entscheidungsbildung zuarbeiten (z.B. das Controlling) durch BI-Anwendungen unterstützt. Der Ansatz umfasst sowohl Anwendungen, welche die Entscheidungsfindung direkt unterstützen, wie Online Analytical Processing (OLAP), als auch Applikationen, die eine indirekte Auswirkung auf die Entscheidungsunterstützung haben (Kemper et al. 2010).

Nach diesem Ansatz liefern operative Systeme zwar die Daten, die von BI-Anwendungen aufbereitet und analysiert werden, aber die gewonnenen Informationen werden primär in Hinblick auf strategische Entscheidungen eingesetzt, ohne dass eine Unterstützung der operativen Tätigkeiten ausführlich betrachtet wird (Bucher/Dinter 2008). Um eine Eingliederung der operativen Entscheidungen in den Unterstützungsbereich der BI-Aktivitäten zu erreichen, wird Business Process Intelligence (BPI) betrachtet. BPI fasst Konzepte zur Auswertung von Prozessdaten zusammen. Während der Fokus der BI-Analysen auf vergangenheitsorientierten Auswertungen liegt, erweitert BPI den Ansatz um Auswertungen auf Basis aktueller Ausführungsdaten sowie Ex-post-Analysen (Mutschler/Reichert 2006).

Im Folgenden werden ausgewählte Business-Intelligence-Konzepte beschrieben, IT-Konzepte zur Prozessoptimierung vorgestellt und der Ansatz der musterbasierten Optimierung als Komponente der AdMA-Plattform dargestellt.

3.2 Business Intelligence

Das folgende Kapitel umfasst die Einordnung der BI-Ansätze in einen Ordnungsrahmen um eine Strukturierung zu erzielen. Zudem wird das Data-Warehouse-Konzept genauer aufgeführt und die Analysemöglichkeiten durch Data Mining vorgestellt.

3.2.1 BI-Ordnungsrahmen

Da der Business-Intelligence-Ansatz nur unternehmensspezifisch angewendet werden kann, existiert ein generisches Konzept in Form eines Ordnungsrahmens, um eine Strukturierung der BI-Konzepte zu ermöglichen. Hierfür wird der dreischichte BI-Ordnungsrahmen nach Kemper et al. 2010 verwendet (siehe Abbildung 4).

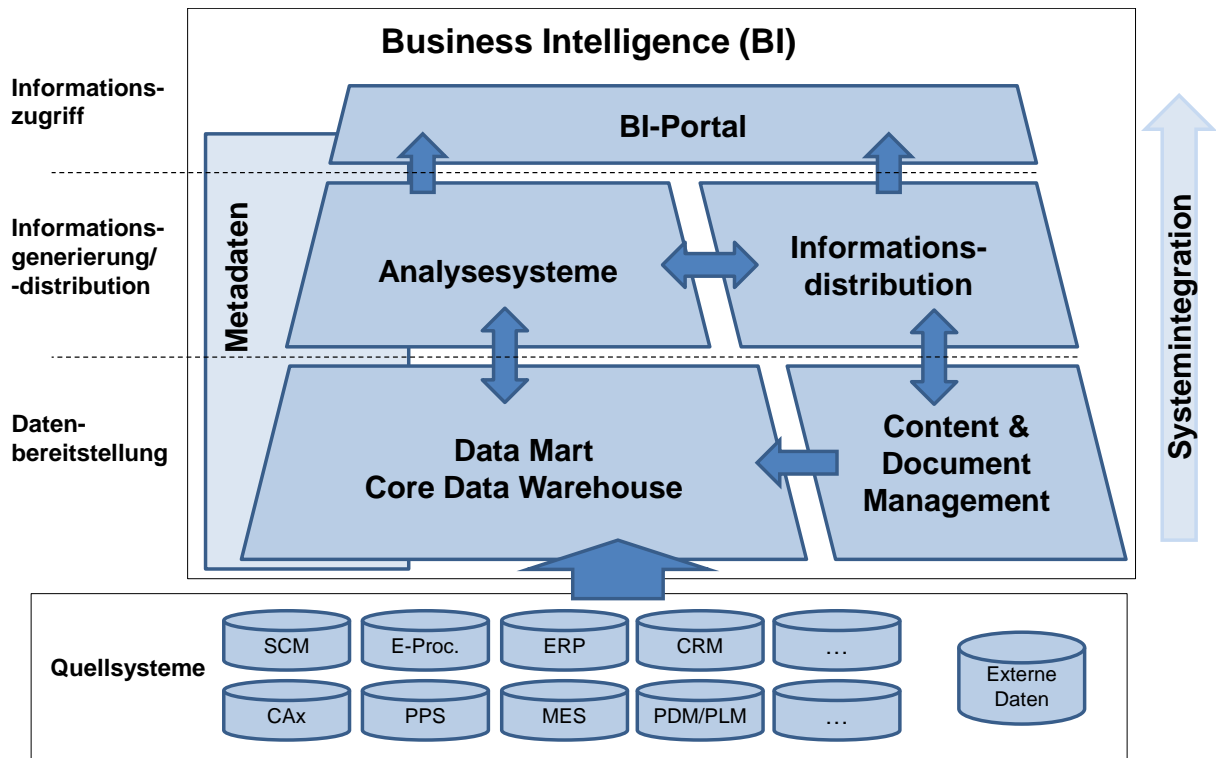


Abbildung 4: BI-Ordnungsrahmen
(in Anlehnung an Kemper et al. 2010)

Der Ordnungsrahmen besteht aus drei Schichten, die den Informationszugriff, die Generierung und Distribution von Informationen sowie eine Bereitstellung der Daten abdecken.

Die Quellsysteme werden hierbei dem Ordnungsrahmen vorgelagert. Die Quellsysteme setzen sich aus verschiedenen Bereichen mit strukturierten sowie unstrukturierten Daten zusammen. ERP-Systeme verwalten die Daten für den Einsatz von Ressourcen in operativen Prozessen. SCM-Systeme (Supply Chain Management) stellen Daten zur Lieferkette des Unternehmens bereit und aus dem CRM-System (Customer Relationship Management) werden kundenspezifische Daten ausgewertet. Um die Daten aus dem Produktionskontext aufzunehmen, wird u.a. auf Komponenten wie CAx-Systeme, PPS-Systeme und MES zugegriffen (siehe Kapitel 2.3). Zudem werden organisationsexterne Quellen mit einbezogen wie z.B. Marktdaten oder Ergebnisse aus Meinungsforschungen.

In der Datenbereitstellungsschicht des Ordnungsrahmens werden die Daten der Quellsysteme in einer konsistenten Form abgelegt. Hierbei werden strukturierte Daten in Data Marts oder Data Warehouses abgelegt, um eine dauerhafte Bereitstellung sicherzustellen. Unstrukturierte Daten werden in Content- und Document Management Systems gespeichert. Sie können Form von beliebigen elektronischen Darstellungsformen sowie als unstrukturierte, digitalisierte Dokumente auftreten.

Die mittlere Schicht des Ordnungsrahmens beinhaltet Systeme zur Informationsgenerierung und Informationsdistribution. Informationen werden durch Analysesysteme generiert und in das betriebliche Wissensmanagement integriert.

Die Schicht für den Zugriff auf die Informationen stellt Schnittstellen und spezifizierte Oberflächen zum Abrufen der Informationen zur Verfügung.

Die Optimierungsfunktionalität der AdMA-Plattform basiert auf einer Umsetzung des Data-Warehouse-Konzepts und verschiedenen Analysesystemen, die in den folgenden Kapiteln beschrieben werden.

3.2.2 Data Warehouse

Das Data-Warehouse-Konzept ist ein Ansatz zur dispositiven Datenhaltung. Während operative Daten die Aktivitäten der Geschäftsfelder des Unternehmens abbilden, stellen dispositive Daten das Datenmaterial dar, das für die Entscheidungsunterstützung des Managements zur Verfügung stehen muss. Die Daten liegen somit verdichtet, transformiert und angereichert vor und sind in einer konsistenten Form dargestellt (Kemper et al. 2010).

Das Data Warehouse (DWH) agiert getrennt von den operativen Quellsystemen. Nach Inmon 2005 ist das DWH durch die Merkmale der Themenorientierung, der Integration, des Zeitraumbezugs und der Nicht-Volatilität geprägt (Kemper et al. 2010):

- **Themenorientierung:** Die verwalteten Daten orientieren sich an den benötigten Informationen des Managements, um einen direkten Informationszugriff zu ermöglichen.
- **Integration:** Die aus den operativen und externen Quellsystemen entnommenen Daten müssen zu einer gemeinsamen Datenbasis zusammengefügt werden. Hierfür müssen Form und Inhalt der Daten aufeinander angepasst werden.
- **Zeitraumbezug:** Die Daten einzelner Transaktionen und Ausführungen werden zusammengefasst um einen vorgegebenen Zeitraum zu beschreiben.
- **Nicht-Volatilität:** Veränderungen von Daten werden erfasst und gespeichert, um die historisierten Daten weiterhin für Analysen verwenden zu können.

Architekturvarianten von DWH-Lösungen

Die Architektur beschreibt die Funktion und Kombination der einzelnen Bestandteile von Data-Warehouse- und Data-Mart-Variationen. In der Praxis existiert eine Vielzahl von Varianten, die teilweise auf die Entwicklung des Business-Intelligence-Konzepts des Unternehmens zurückgeführt werden können, allerdings auch auf die Aufgaben des BI-Systems ausgerichtet sind (Kemper et al. 2010).

Für das Konzept der AdMA-Plattform sind zwei Architekturvarianten relevant: Die Form eines zentralen DWH sowie ein DWH mit abhängigen Data Marts (Gröger 2011).

Bei der Verwendung eines Core-DWH werden die dispositiven Daten in einem DWH zusammengeführt, wobei das DWH die Basis für jede Abfrage darstellt (siehe Abbildung 5). Dieser monolithische Ansatz legt den Fokus auf die Datenauswertung, da nur ein Datenmodell verwendet wird. Durch die zentrale Rolle des DWH weist der Ansatz bei steigenden Anfragen und Datenvolumen Schwächen in der Performance auf (Jarke 2003, Kemper et al. 2010).

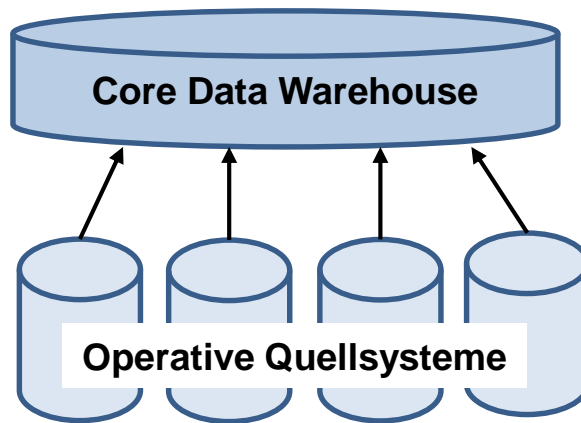


Abbildung 5: Architektur Zentrales Core Data Warehouse
(in Anlehnung an Kemper et al. 2010)

Data Marts stellen kleinere Datenpools dar, auf denen Anwendungen für bestimmte Benutzer bereitgestellt werden. Die Daten der Data Marts werden hierbei aus dem Core Data Warehouse extrahiert und für Analysen aggregiert und vorstrukturiert. Data Marts können als relationale Datenbank oder als multidimensionale Datenstruktur realisiert werden. Die Auswertung der Daten auf der Ebene der Data Marts erlaubt schnellere Zugriffszeiten und reduziert die Datenbasis auf die zur Auswertung benötigte Menge. Zudem erhöht die verwendete Architektur die Flexibilität, da das Data-Warehouse-Konzept skalierbarer wird (Jarke 2003, Kemper et al. 2010).

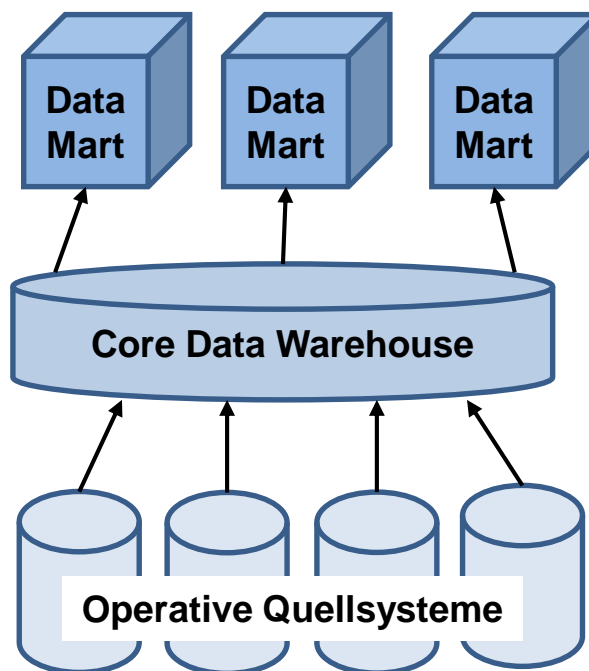


Abbildung 6: Architektur Data Warehouse mit abhängigen Data Marts
(in Anlehnung an Kemper et al. 2010)

Transformation operativer Daten

Um eine inhaltlich widerspruchsfreie dispositive Datenbasis zu erhalten, müssen die Daten der operativen Systeme, welche in ihrer Struktur auf das operative Geschäft ausgelegt sind, mit Hilfe gezielter Umwandlungsaktivitäten aufbereitet werden. Der

Transformationsprozess besteht aus den Schritten Extraktion, Transformation und Laden (siehe Abbildung 7) und wird als ETL-Prozess bezeichnet (Kemper et al. 2010).

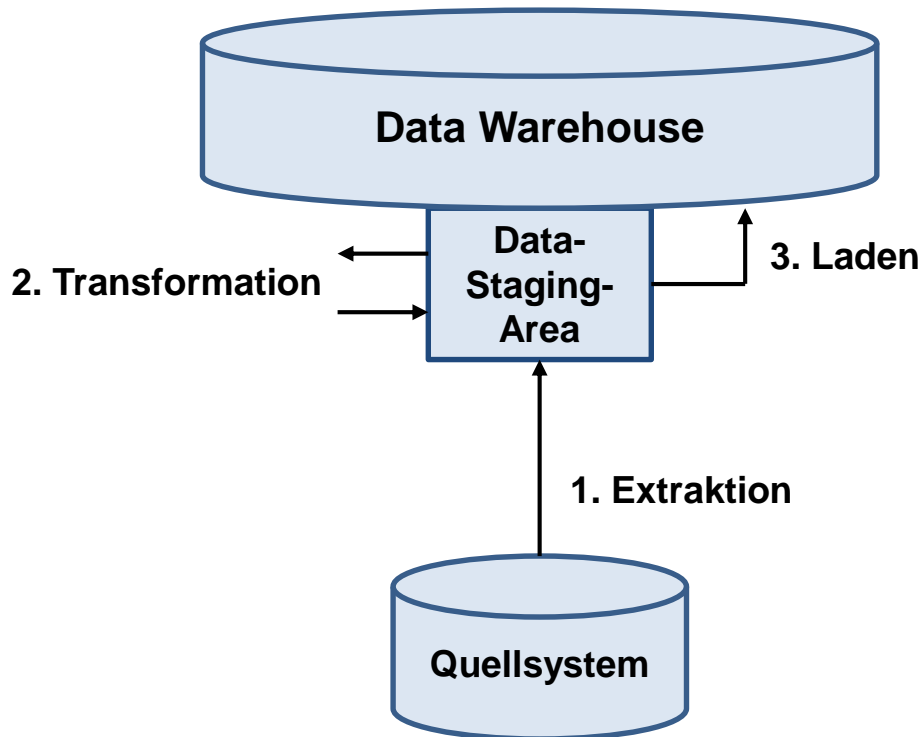


Abbildung 7: ETL-Prozess

Die Extraktion dient der Bereitstellung relevanter Daten für das DWH, die in Form neuer Daten oder in der Änderung vorhandener Daten besteht. Die relevanten Daten und Datenstrukturen werden aus den Quellsystemen in die Data-Staging-Area (DSA) des DWH geladen. Um die Extraktion zu ermöglichen, muss festgelegt werden, in welcher Form das DWH-System auf die Quellsysteme zugreift, z.B. über ein Datenbank Management System und zu welchen Zeitpunkten die Datenextraktion durchgeführt wird. Mögliche Zeitpunkte sind z.B. periodische oder ereignisgesteuerte Extraktionen (Farkisch 2011).

Die Phase der Transformation dient der Umwandlung der operativen Daten und umfasst die Schritte Filterung, Harmonisierung, Aggregation und Anreicherung (Kemper et al. 2010):

- Die Filterung bereinigt syntaktische und semantische Fehler wie fehlende Werte oder Formatanpassungen.
- Im Harmonisierungsschritt werden die gefilterten Daten aufeinander abgestimmt.
- Die Aggregation erweitert die Daten um Verdichtungsstrukturen, z.B. durch Einteilung in hierarchische Gruppen.
- Im letzten Schritt werden die Daten durch die Integration von berechneten Kennzahlen angereichert.

Nachdem die Daten transformiert wurden, werden sie in das Data Warehouse oder in entsprechende Data Marts geladen.

3.2.3 Data Mining

Data Mining umfasst Methoden um aus Datenmengen aussagekräftige Muster zu identifizieren. Die Methoden sind hierbei aus den Bereichen der Statistik, der Künstlichen Intelligenz, des Maschinellen Lernens und der Mustererkennung abgeleitet, ohne dass vom Anwender Angaben über die gesuchten Inhalte gemacht werden müssen (Hippner/Wilde 2008).

Data-Mining-Prozess

Die Vorgehensweise bei der Anwendung von Data-Mining-Vorgehen gliedert sich in fünf Schritte (siehe Abbildung 8). Das Vorgehen ist ein iterativer Prozess, da oftmals mehrere Anwendungen notwendig sind, um das gewünschte Ergebnis zu erzielen (im Folgenden Kantardzic 2011):

1. **Problemdefinition:** Im ersten Schritt wird festgelegt, welches Ziel erreicht werden soll und welche Abhängigkeiten bestehen.
2. **Datenselektion:** Die auszuwertende Datenbasis wird bestimmt und ihr Einfluss auf die spätere Auswertung betrachtet.
3. **Datentransformation:** Die Daten werden aus den Quellen geladen und für die Auswertung angepasst, z.B. durch Skalierung und Umformung.
4. **Modellerstellung:** Das Data-Mining-Modell wird erstellt. Der Schritt kann die Erstellung mehrerer Modelle und die endgültige Auswahl eines Modells beinhalten.
5. **Ergebnisauswertung:** Das Modell wird durch den Anwender interpretiert und das generierte Wissen abgeleitet.

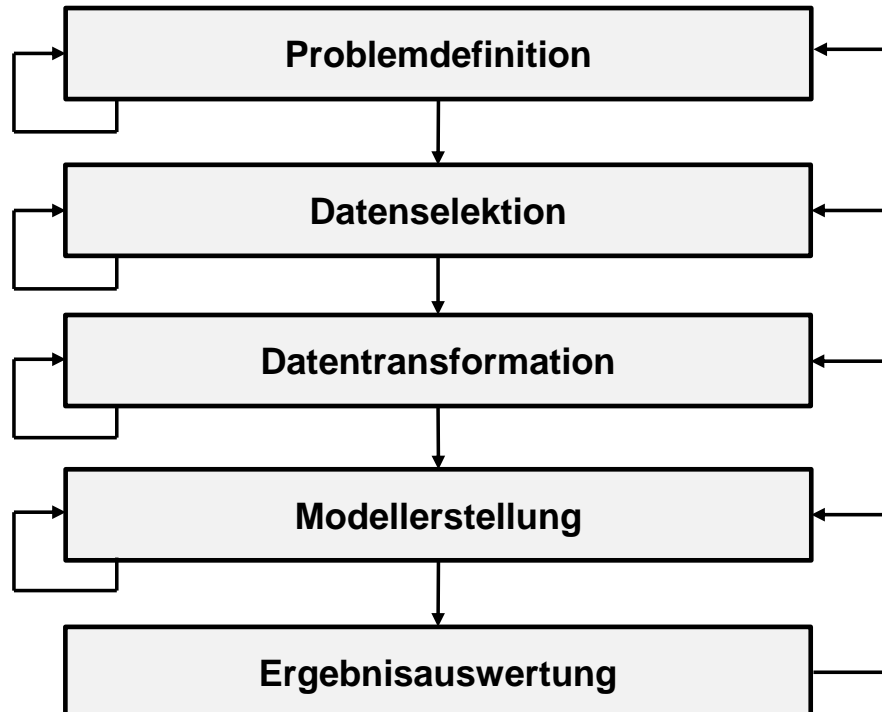


Abbildung 8: Data-Mining-Prozess (in Anlehnung an Kantardzic 2011)

Data-Mining-Problemtypen

Die Data-Mining-Problemtypen lassen sich in die Kategorien der Beschreibungs- und der Prognoseprobleme aufteilen. Beschreibungsprobleme befassen sich mit der

Aufdeckung relevanter Strukturen in den Daten. Prognoseprobleme hingegen nutzen bekannte Ausprägungen eines Datensatzes, um unbekannte oder zukünftige Merkmale abzuleiten.

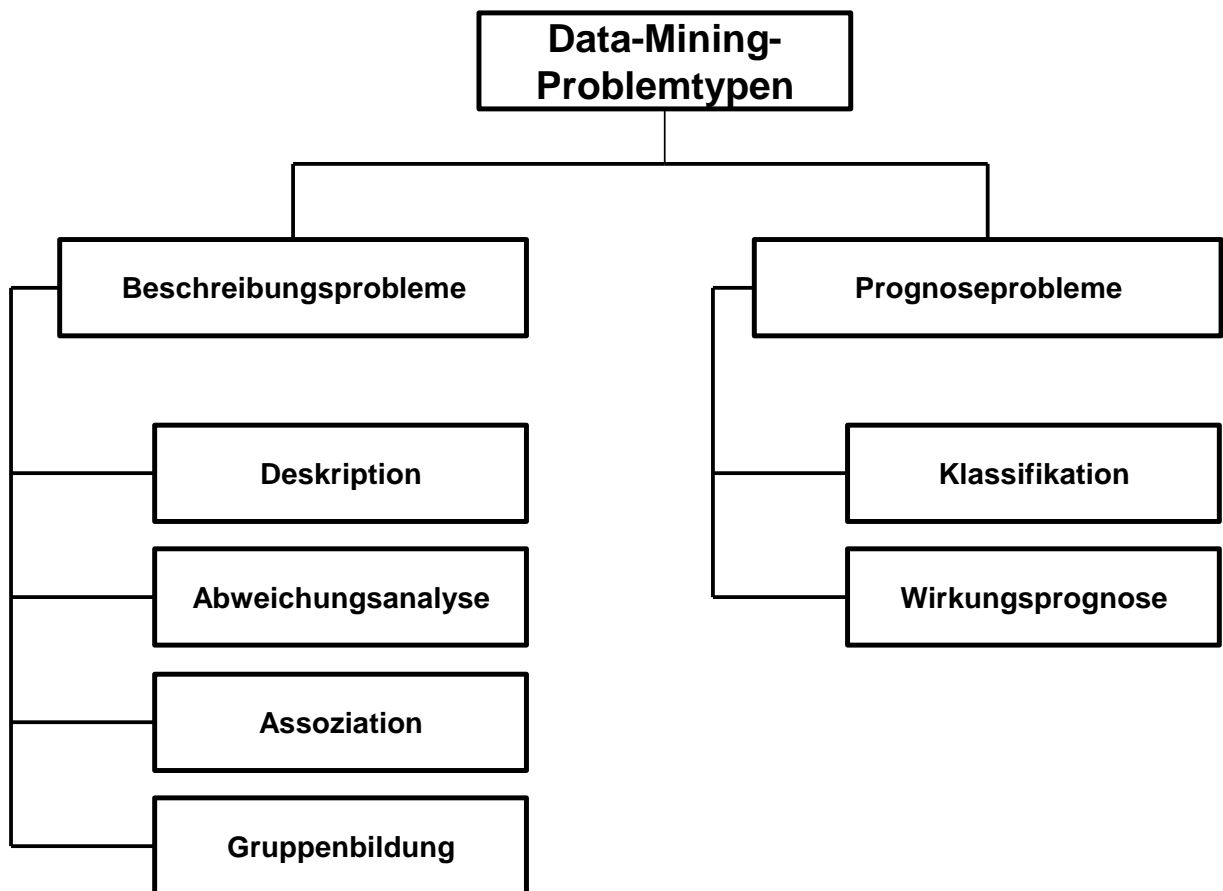


Abbildung 9: Data-Mining-Problemtypen
(in Anlehnung an Kemper et al. 2010)

Abbildung 9 beschreibt die weitere Aufteilung der Kategorien (basierend auf (Hippner/Wilde 2008 und Kemper et al. 2010):

- **Deskription:**
Durch statistische Methoden werden Strukturen aufgezeigt, die eventuell von Bedeutung sein könnten, jedoch durch weiterführende Analysen ausgewertet werden müssen, bevor handlungsrelevante Ergebnisse erzielt werden. Die Deskription stellt einen Übergangszustand zwischen explorativer Datenanalyse und eigentlichem Data-Mining-Vorgehen dar.
- **Abweichungsanalyse:**
Abweichende Werte von erwarteten Ergebnissen werden in der Abweichungsanalyse identifiziert, was sowohl extreme Ausprägungen als auch fehlerhafte Werte mit einschließt. Die Abweichungen müssen ebenfalls weiterführend ausgewertet werden, um handlungsrelevante Ergebnisse zu erzielen.
- **Assoziation:**
Die Assoziation identifiziert Abhängigkeiten oder in Kombination auftretenden Ausprägungen, z.B. durch eine Korrelationsanalyse oder eine Assoziationsana-

lyse. Die Ergebnisse können als handlungsrelevante Ergebnisse verwendet werden, benötigen allerdings oftmals weitere Analysen.

- **Gruppenbildung:**
Die Datensätze werden in Gruppen (Clustern) gegliedert, um gemeinsame Ausprägungen aufzuzeigen. Ziel ist es, Datensätze mit ähnlichen Ausprägungen in Clustern zusammenzufassen, aber eine hohe Heterogenität zwischen den Clustern zu erzielen.
- **Klassifikation:**
Bei der Klassifikation werden neue Datensätze schon bestehenden Gruppen mit abhängigen Zielgrößen zugeordnet. Die Zuordnung erfolgt durch Auswertung der unabhängigen Merkmale. Ein Anwendungsfall ist die Bonitätsanalyse der Kreditvergabe. Hier werden Kunden einem Bonitätszustand (abhängige Zielgröße) zugewiesen und die Zuweisung durch Auswertung demographischer oder soziographischer Merkmale getroffen.
- **Wirkungsprognose:**
Vorhersage einer unbekanntenen Ausprägung eines Datensatzes durch Auswertung der bekannten Ausprägungen. So können z.B. Annahmen über die Laufzeit einer aktuell ausgeführten Fertigungsinstanz getroffen werden, indem die Ausprägungen der Instanz mit abgeschlossenen Instanzen verglichen werden.

3.3 IT-basierte Optimierungsansätze

Die Auswertung von Daten, um Informationen für die Entscheidungsunterstützung zu gewinnen, wird als Business Analytics (BA) bezeichnet, wobei keine spezifische Methode, sondern der generelle Auswertungsvorgang beschrieben wird. Business Analytics basiert auf automatisierten Auswertungsvorgängen, setzt den Fokus allerdings auf die Unterstützung von Entscheidungen (Lustig et al. 2010). Es stellt somit eine wichtige Komponente des Business-Intelligence-Ansatzes dar, um aufbauend auf der Auswertung von Daten wichtige Informationen zu identifizieren und Vorhersagen zu treffen. Die zentralen Bestandteile der Business Analytics bilden die Datenintegration und Data Mining (Bose 2009).

Zur Auswertung strukturierter Daten gliedert Lustig et al. 2010 die Vorgehensweise in drei Ansätze: Descriptive Analytics, Predictive Analytics und Prescriptive Analytics.

- Descriptive Analytics bezeichnen Vorgehen zur Analyse von Daten, wobei das Ziel ein besseres Verständnis der Geschäftstätigkeiten ist.
- Predictive Analytics fassen Ansätze zusammen, um auf Basis der Daten Vorhersagen zu erstellen und die Auswirkung möglicher Handlungen zu bestimmen.
- Prescriptive Analytics generieren zusätzlich Handlungsempfehlungen, die bestehende Einschränkungen miteinbeziehen und zur Lösung der Problemstellung umgesetzt werden können.

Für die Ansätze werden bestehende Anwendungsformen betrachtet, speziell die Anwendungsmöglichkeiten im Fertigungsbereich.

3.3.1 Descriptive Analytics

Descriptive Analytics beinhalten die Vorgehensweise durch Analyse und Beschreibung der Daten ein besseres Verständnis für die Situation zu gewinnen. So werden standardisierte Berichte erzeugt und dem Anwender die Möglichkeit gegeben, Ad-hoc-Abfragen auszuführen. Zudem werden Navigationsmöglichkeiten innerhalb der Berichte zur Verfügung gestellt (Lustig et al. 2010).

Die Ansätze können auf einfachen Softwarelösungen z.B. in Form einer Generierung von standardisierten Berichten basieren, profitieren allerdings auch von der Ausführung in komplexen Systemen. So können die vorhandenen Daten mit Analyse-Werkzeugen wie OLAP ausgewertet werden.

Im Fertigungsbereich wird die Form der beschreibenden Analyse durch Systeme wie z.B. MES ausgeführt. Die zur Steuerung der Fertigungsprozesse benötigten Daten werden aus den Systemen der Betriebsdatenerfassung, der Personalzeiterfassung, der Qualitätssicherung sowie der Fertigungsfeinplanung erfasst und mit den fertigungsrelevanten Daten zu Ausführung und Planung aus dem ERP-System kombiniert (für die Beschreibung von MES siehe Kapitel 2.3).

3.3.2 Predictive Analytics

Unter dem Begriff Predictive Analytics werden Ansätze zusammengefasst, welche die Analyse um zusätzliche Informationen, die aus den vorhandenen Daten abgeleitet werden, erweitern. Predictive Analytics umfassen nach Lustig et al. 2010 unter anderem:

- Aufzeigen von Datenkorrelationen
- Identifikation von Fehlern durch Mustererkennung
- Anwendung einer Ursachenanalyse
- Vorhersagen der Entwicklung als Reaktion auf ausgewählte Handlungen

Eine Anwendungsform der Predictive Analytics ist der Einsatz von Data-Mining-Verfahren, welche die genannten Aufgaben abdecken (siehe Kapitel 3.2.3). Während Data-Mining-Ansätze zur Entscheidungsunterstützung in Bereichen wie dem Finanz- oder dem Marketingsektor stark verbreitet ist, gibt es wenige Anwendungsfälle im Fertigungsbereich, obwohl eine große Menge an Daten zur Fertigung zur Verfügung steht (Gröger et al. 2012a).

Nach Gröger et al. 2012a werden Data-Mining-Ansätze in der Fertigung für Gebiete wie die z.B. Auswirkung von Fertigungsparametern auf die Produktqualität, die Analyse von Störungen sowie die Optimierung von Wartungsvorgängen und Planungsressourcen eingesetzt. Diese Anwendungsfälle bauen jedoch meistens auf manuell ausgewählten Datensätzen auf und liefern Informationen zu zuvor festgelegten Aspekten, ohne dass ein übergreifender Ansatz besteht.

Anwendungsmöglichkeiten für den Einsatz von Data-Mining-Verfahren in der Fertigung liefert die AdMA-Plattform. Im Bereich der indikationsbasierten Fertigungsoptimierung existieren vier Anwendungsfälle, die auf Einsatz von Data-Mining-Funktionalitäten basieren (beschrieben in Kapitel 3.4.2).

3.3.3 Prescriptive Analytics

Um die Vorhersagen durch eine Handlungsempfehlung zu erweitern, wird das Konzept der Prescriptive Analytics betrachtet. Hierbei werden Optimierungsvorschläge generiert, um die Vorhersagen zu beeinflussen und das Ergebnis zu verbessern. Die Ansätze finden einen Einsatz in Situationen, in denen eine manuelle Auswertung aller Ausgangssituationen zu aufwendig wäre oder zu viel Zeit in Anspruch nehmen würde.

Eine Umsetzungsform stellt das Konzept des Case-Based Reasoning (CBR) dar. Der Ansatz hierbei ist, Probleme auf Basis bereits umgesetzter Anwendungsfälle zu lösen. Grundlage hierfür ist eine Basis an bereits umgesetzten Fällen. Tritt ein Problem auf, wird betrachtet, welche Fälle sich auf die Situation anwenden lassen. Existiert bereits eine Lösung für die betrachtete Problemstellung, so kann diese vorgeschlagen werden. Weicht die Problemstellung von dem betrachteten Fall ab, werden diese Abweichungen identifiziert und die Lösung entsprechend angepasst. Dabei werden die Schritte der Fallauswahl und Fallanwendung meistens getrennt ausgeführt (siehe Abbildung 10) (Main et al. 2001).

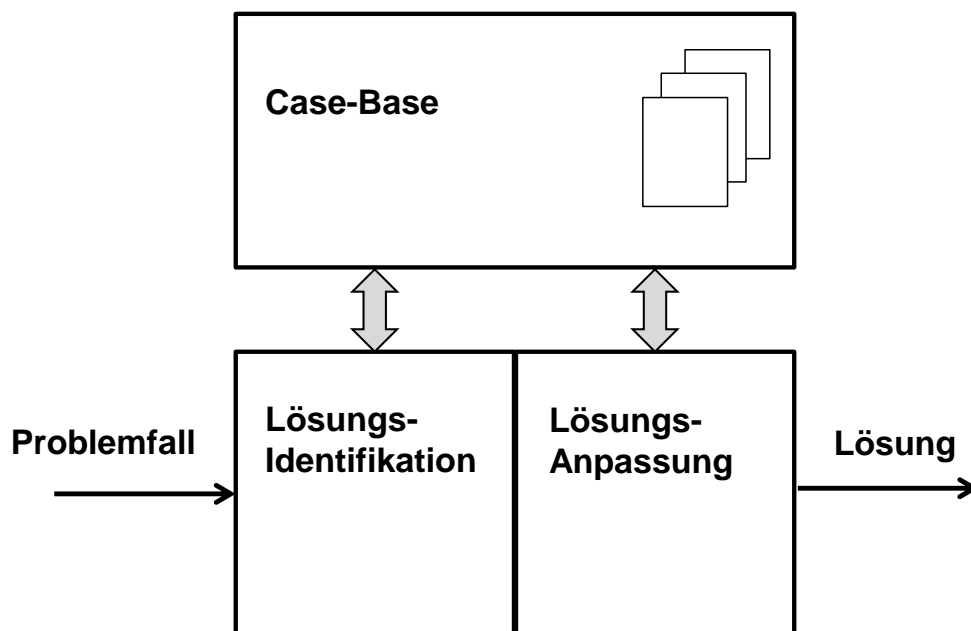


Abbildung 10: CBR-System (in Anlehnung an Main et al. 2001)

Fischer et al. 2000 stellen eine Umsetzungsmöglichkeit des CBR-Ansatzes im Fertigungsbereich vor. Hierbei werden Problemen mögliche Ursachen zugewiesen. Im Störfall werden die Ursachen abhängig von der auftretenden Problemsituation ermittelt, und mit Hilfe der gleichen Vorgehensweise wird eine Lösung ausgewählt. Dabei werden Informationen über die Anwendung in vorhergehenden Fällen in die Auswahlentscheidung mit einbezogen.

Die Optimierungsansätze, die in dieser Arbeit im Mittelpunkt stehen basieren auf einem musterbasierten Vorgehen. Der musterbasierte Ansatz baut auf der Optimierungsschicht der Deep Business Optimization Platform (dBOP) auf. Basierend auf der Integration von Ausführungs- und operativen Daten werden Informationsprozesse beschrieben und analysiert. Durch die Anwendung von Data-Mining-Verfahren werden Informationen gewonnen, die als Grundlage für die Anwendung von Optimierungsmustern dienen. Aus den zur Verfügung stehenden Optimierungsmustern wird ein Muster ausgewählt, das sich auf den analysierten Prozess anwenden lässt. Auf Basis

des Musters werden Verbesserungsansätze erzeugt und der Prozess neu strukturiert (siehe Niedermann et al. 2011b). Die Anwendung der Optimierungsmuster im Kontext der AdMA-Plattform wird in Kapitel 4.1.1 beschrieben.

Die musterbasierte Optimierung ermöglicht den Einsatz von Optimierungsmustern in einem breiten Anwendungsbereich, wobei in dieser Arbeit die Optimierungsmöglichkeiten im Fertigungsbereich erläutert werden. Basierend auf operativen sowie prozessspezifischen Daten lassen sich Anpassungen und Empfehlungen generieren, die den Fokus wahlweise prozessübergreifend legen, Prozessschritte betrachten oder den Einsatz einzelner Ressourcen beeinflussen.

3.4 AdMA-Plattform

3.4.1 Konzept der AdMA-Plattform

Während Business Intelligence im Dienstleistungsbereich erfolgreich umgesetzt wird, existiert noch kein umfassender Ansatz für den Fertigungsbereich. Durch die im Vergleich zu Geschäftsprozessen komplexere Struktur der Fertigungsprozesse und die Herausforderungen in der Zuweisung von Ressourcen und Aktivitäten, lassen sich vorhandene BI-Ansätze nicht einfach auf den Fertigungsbereich übertragen (Gröger et al. 2012b).

Die Advanced-Manufacturing-Analytics(AdMA)-Plattform stellt ein Konzept zur Anwendung von Business-Intelligence-Ansätzen für den Fertigungsbereich dar. Es wird ein holistischer Ansatz verfolgt, um Fertigungsprozesse zu analysieren und zu verbessern. Das Konzept baut auf der dBOP-Plattform auf, erweitert den Ansatz und transferiert ihn in den Fertigungskontext (Gröger et al. 2012b).

3.4.2 Architektur

Die Architektur der AdMA-Plattform setzt sich aus den drei Schichten Datenintegration, Prozessanalyse und Prozessoptimierung zusammen (siehe Abbildung 11). Vergleiche dazu im Folgenden Gröger 2011, Gröger et al. 2012c.

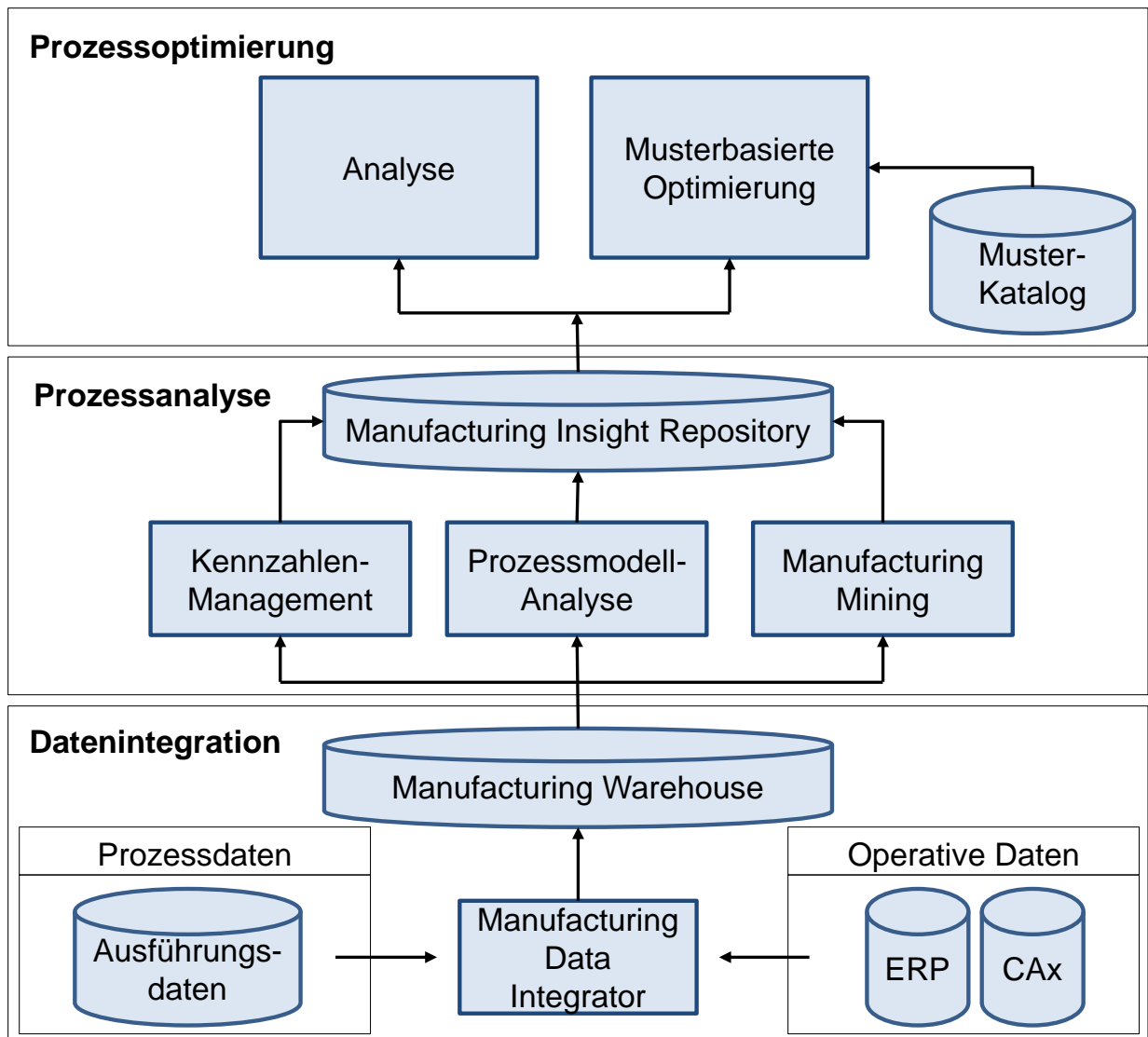


Abbildung 11: Konzeptionelle Referenzarchitektur der AdMA-Plattform
(in Anlehnung an Gröger 2011)

Datenintegration

Auf der Ebene der Datenintegration werden Prozessdaten der Fertigung und operative Fertigungsdaten in einem zentralen Data Warehouse integriert, dem Manufacturing Warehouse (MWH). Als Prozessdaten werden Daten zur Prozessausführung sowie Daten zum Prozessmodell gespeichert. Daten zur Ausführung werden aus dem MES gewonnen, was auch die Systeme der Production Data Acquisition zur Datenerfassung sowie CAQ-Systeme umfasst. Prozessmodelldaten werden aus MES, ERP- sowie CAP-Systemen extrahiert. Die operativen Daten, speziell produkt- sowie kundenbetreffende Daten und Produktionspläne werden von ERP-, CRM und CAD-Systemen zur Verfügung gestellt. Die Daten werden im Manufacturing Data Integrator zusammengeführt und in das Manufacturing Warehouse geladen.

Prozessanalyse

In der Analyseschicht werden Werkzeuge zur Informationsgenerierung zur Verfügung gestellt und die Informationen im Manufacturing Insight Repository (MIR) abgelegt. Das MIR kann als Ergänzung des MWH-Schemas betrachtet werden.

Das Kennzahlen-Management verwaltet abgeleitete Kennzahlen, basierend auf den Basiskennzahlen im MWH. Es werden vordefinierte Kennzahlen aus dem Produktionskontext zur Verfügung gestellt, wobei die Kennzahlen den Zieldimensionen der Produktion zugeordnet werden.

Die Prozessmodellanalyse identifiziert Bereiche des Fertigungsprozesses, bei denen Optimierungspotentiale bestehen, durch eine statistische Analyse. Die Analyse zielt primär auf die Hervorhebung von Verknüpfungen der Fertigungsschritte zur Prozessdurchführung, der Abhängigkeiten von Zwischenprodukten sowie vorhandener Ressourcenabhängigkeiten.

Im Manufacturing Mining werden, an die Plattform angepasst, Data-Mining-Aufgaben ausgeführt. Die Funktionalitäten (siehe Abbildung 12) orientieren sich an den Data-Mining-Problemtypen (siehe 3.2.3).

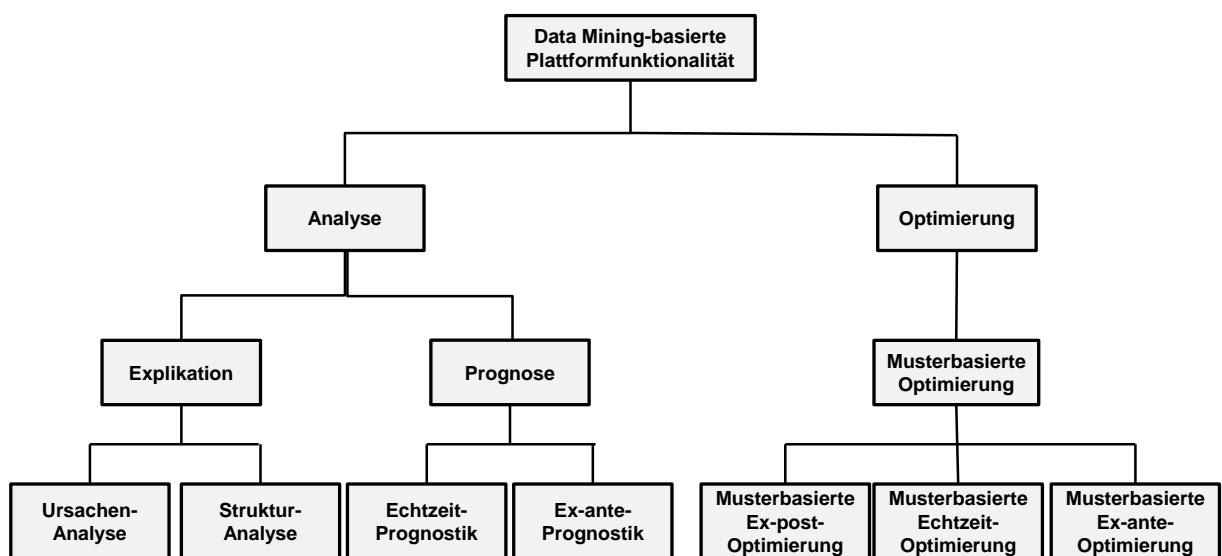


Abbildung 12: Data Mining-basierte Plattformfunktionalitäten (in Anlehnung an Gröger 2011)

Die Analysefunktionalitäten werden in Explikations- und Prognosefunktionalitäten unterschieden.

- Die Ursachen-Analyse erzeugt Modelle, um die Ursachen für Eigenschaften einer Prozessausführung darzustellen. Die zu betrachtenden Eigenschaften werden vom Benutzer ausgewählt. Eine Anwendungsform ist ein Entscheidungsbaum, der z.B. die Ursachen für eine Laufzeitüberschreitung angibt.
- Die Strukturanalyse zeigt auffällige Gruppenbildungen und Abweichungen auf, ohne dabei speziell vorgegebene Eigenschaften zu untersuchen.
- Die Echtzeit-Prognostik liefert Vorhersagen zu einer vorgegebenen Eigenschaft für Prozessinstanzen, die sich in der Ausführung befinden. Die Data-Mining-Modelle werden hierbei auf Grundlage vergangener Ablaufdaten generiert.
- Bei der Ex-ante-Prognostik werden Vorhersagen vor der erstmaligen Prozessausführung getroffen, indem vergleichbare Prozesse identifiziert und die Ablaufdaten ausgewertet werden.

Die musterbasierte Optimierung umfasst die Anwendung von Best Practices zur Optimierung, die auf der Analysefunktionalität aufbauen.

Prozessoptimierung

In der Prozessoptimierungsschicht werden die Ergebnisse der Prozessanalyse- schicht zur Optimierung angewendet. Die Schicht umfasst die Komponenten zur Analyse sowie zur musterbasierten Optimierung.

Die Komponente der Analyse bildet die Data-Mining-Funktionalitäten der Plattform ab. Es wird auf die generierten Einsichten, die im MIR abgelegt wurden, zugegriffen. Darauf aufbauend werden Maßnahmen zur Verbesserung vom Benutzer abgeleitet.

Die musterbasierte Optimierung verwaltet die Musteranwendung zur Prozessoptimie- rung. Der Anwender wählt für einen Prozess die zu optimierende Kennzahl aus, worauf die Anwendungsmöglichkeiten der vorhandenen Muster geprüft und ein Muster angewendet wird. Die Schritte der musterbasierten Optimierung werden in Kapitel 4.1.1 genauer beschrieben.

Die vorhandenen Muster werden im Musterkatalog verwaltet. Der Katalog stellt die Optimierungsmuster zur Verfügung und ermöglicht dem Benutzer die Anpassung und Ergänzung der Muster.

3.4.3 Ansatzpunkt der Erweiterung

Ein Ziel der Arbeit ist die Bewertung von Best-Practice-Ansätzen auf ihre Umsetzbar- keit als Optimierungsmuster für den Musterkatalog. Dafür werden die Kriterien der musterbasierten Optimierung betrachtet und bestimmt, wie sich Optimierungsvorgän- ge aus der Praxis darauf anwenden lassen.

Für die Bewertung sind die Funktionalitäten der Analyse- sowie der Optimierungs- schicht relevant. Es wird identifiziert, in welcher Form die Optimierungsansätze die Funktionalität nutzen können und welche Anpassungen notwendig sind.

4. Rahmenwerk zur musterbasierten Optimierung in der Fertigung

Die Prozessoptimierungsschicht der AdMA-Plattform gliedert sich in den Bereich der Analyse und der musterbasierten Optimierung (siehe Kapitel 3.4). Als Grundlage für die Verwaltung der Angaben zur Mustererkennung und Musteranwendung dient der Musterkatalog. Ziel des Kapitels ist es, Optimierungsansätze zu betrachten und auf ihre Verwendbarkeit im Musterkatalog zu bewerten. Dafür werden Ansätze aus folgenden Bereichen untersucht:

- Best Practices aus dem Bereich der Optimierung von Produktionsprozessen
- Geschäftsprozessoptimierungen
- Dynamische Ansätze zur Optimierung

Die Ansätze werden auf ihr Potential untersucht, als formales Muster abgelegt zu werden um eine Anwendung auf ausgewählte Prozesse zu ermöglichen.

4.1 Überblick

Während sich die Schicht der Prozessanalyse der AdMA-Plattform mit den Aufgaben des Kennzahlen-Managements, der Prozessmodell-Analyse und dem Manufacturing Mining beschäftigt (siehe Kapitel 3.4.2), unterstützt die Prozessoptimierungsschicht konkrete Vorgehen zur Optimierung von Fertigungsprozessen. Hierfür wird auf die Informationen aus dem Manufacturing Insight Repository zugegriffen (Gröger et al. 2012b). Die Schicht lässt sich in die Komponenten der Analyse und der musterbasierten Optimierung aufgliedern. Die Analysefunktionalität bietet die Möglichkeit, Attribute der Fertigungsprozesse zu erläutern und vorherzusagen (siehe Kapitel 3.3.2), wohingegen die musterbasierten Optimierungsfunktionalitäten eine Umgestaltung der Fertigungsprozesse anstreben (Gröger et al. 2012a).

Die Optimierungsfunktionalität basiert auf dem Konzept, Best Practices zur Optimierung von Fertigungsprozessen formalisiert im Muster-Katalog abzulegen. Mit Unterstützung von Analysefunktionalität und Data-Mining-Ansätzen können sie auf konkrete Prozesse angewendet werden. Die Anwendungsszenarien können vor, während und nach Ausführung des Prozesses auftreten (Gröger 2011).

4.1.1 Optimierungsablauf

Der Ablauf eines Optimierungsvorgehens basiert auf dem Konzept der musterbasierten Optimierung der dBOP-Plattform (siehe Niedermann et al. 2011b) und wird in Abbildung 13 dargestellt.

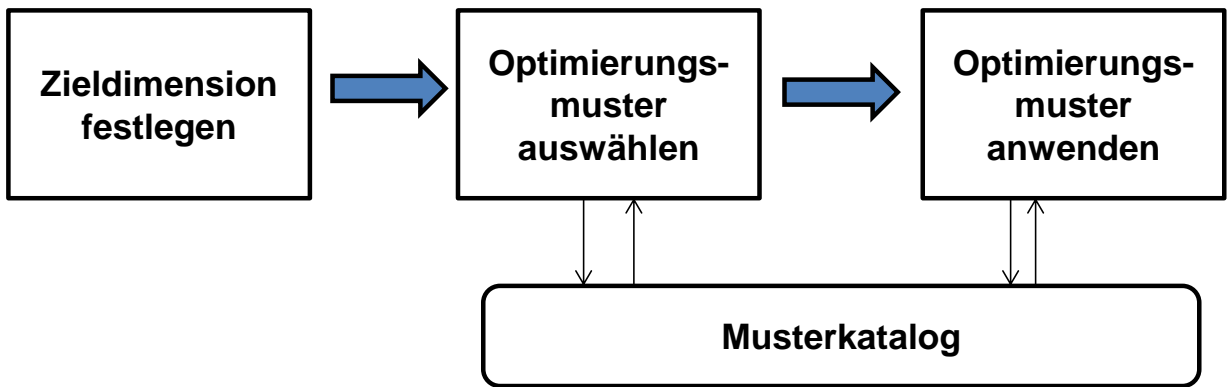


Abbildung 13: Ablauf der Optimierung (in Anlehnung an Niedermann et al. 2011b)

Im ersten Schritt wird festgelegt, welche Zieldimension verbessert werden soll. Die Auswahl basiert auf den Zieldimensionen der Produktion (beschrieben in Kapitel 4.1.3). Die Optimierungsmuster können die verschiedenen Ziele positiv, negativ oder gar nicht beeinflussen, wobei für das Konzept nur die Richtung der Beeinflussung und keine konkreten Werte betrachtet werden.

Es wird ein Muster aus dem Musterkatalog ausgewählt, welches sich auf den betrachteten Prozess anwenden lässt. Die Auswahl wird von der gewählten Zieldimension, sowie durch weitere Einschränkungen durch des Prozesses (z.B. Zustand der Prozessausführung, Ebene der der Optimierung, vorhandene Datengrundlage) beeinflusst.

Mit Hilfe des Optimierungsmusters werden Verbesserungsansätze erzeugt. Diese können in Form einer Umstrukturierung des Prozesses auftreten, können Prozessparameter beeinflussen oder nur aus einer schriftlichen Empfehlung an den Anwender bestehen.

4.1.2 Betrachtete Konzepte

Für den Musterkatalog werden Konzepte verschiedener Verbesserungsansätze betrachtet (siehe Abbildung 14).

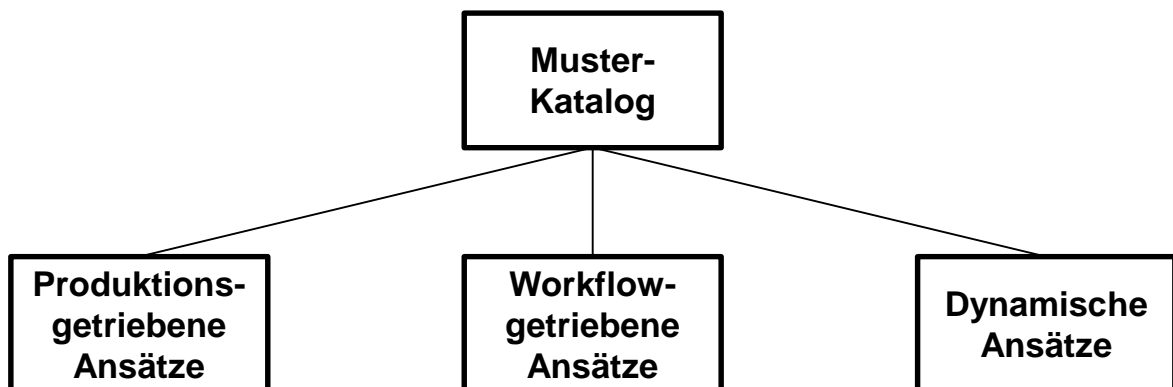


Abbildung 14: Betrachtete Ansätze

Im Rahmen der betrachteten Ansätze liegt der Schwerpunkt auf Verbesserungen innerhalb der Produktion. Dafür werden Lösungsansätze zur Prozessverbesserung betrachtet, die in der Praxis angewendet werden und zu Erfolgen geführt haben. Das Ziel der Betrachtung ist hierbei:

- die Bewertung, in welcher Form sich die Ansätze auf das AdMA-Konzept übertragen lassen, um eine Anwendung in der Prozessoptimierungsschicht zu ermöglichen, und welche Anpassungen der Plattform dafür vorgenommen werden müssen
- festzustellen, zu welchem Grad eine automatische Analyse und Anwendung möglich ist und welcher Nutzen hierbei erzielt wird, hierbei wird auch der Vergleich zur aktuellen Anwendung des Ansatzes betrachtet
- erstellen eines Anwendungsfalls, wenn Potential für eine Umsetzung besteht

Des Weiteren werden Ansätze aus dem Bereich der Geschäftsprozessoptimierung als Muster in Betracht gezogen. Dafür werden vorhandene Ansätze zur Optimierung von Workflows betrachtet und die Möglichkeit bewertet, diese Konzepte auf den Fertigungskontext zu übertragen.

Zusätzlich werden Muster in Betracht gezogen, die auf der Analysefunktionalität der AdMA-Plattform aufbauen. Die vorgestellten Konzepte basieren auf Ergebnissen von Data-Mining-Funktionen und werden auf Basis ihrer Unterstützung des Fertigungsprozesses bewertet.

4.1.3 Bewertungskriterien an die Optimierungsansätze

Da die Muster aus Optimierungsansätzen abgeleitet werden, die in verschiedenen Gebieten der Prozessoptimierung existieren, besteht kein einheitliches Format, in dem die Ansätze vorliegen. Dem folgt, dass keine einheitliche Form, Anwendung oder Beschreibung der Voraussetzungen existiert. Um einen Vergleich der Muster zu ermöglichen, werden diese an einheitlichen Kriterien (siehe Tabelle 1) bewertet, die auf der Arbeit Gröger 2011 aufbauen.

Attribut	Attributausprägung			
Optimierungshorizont	Ex-ante	Echtzeit	Ex-post	
Optimierungsebene	Gestaltung	Planung	Steuerung	Ausführung
Optimierungsfokus	Prozess	Fertigungsschritt	Ressource	
Anwendungsfeld	Klassischer Massenfertiger	Serienfertiger mit Fließproduktion	Serienfertiger mit Gruppenproduktion	
Zieldimension	Zeit	Qualität	Wirtschaftlichkeit	Variabilität
Datengrundlage	Operative Daten	Prozessbezogene Daten	(zusätzlich) Plandaten	
Automatisierungsgrad	Empfehlung	Anpassung der Parameter	Umstrukturierung des Prozesses	

Tabelle 1: Bewertungskriterien an die Optimierungsansätze (in Anlehnung an Gröger 2011)

Optimierungshorizont

Der Optimierungshorizont beschreibt den Zeitpunkt, zu dem der Optimierungsvorgang ausgeführt wird, wobei zwischen einem Ablauf Ex-ante, in Echtzeit und Ex-post unterschieden wird.

Die Optimierung Ex-ante kennzeichnet die Optimierung von Prozessen, bevor diese das erste Mal ausgeführt wurden. Das Vorgehen basiert hierbei auf einer Ähnlichkeitsanalyse, die den betrachteten Prozess mit bereits ausgeführten Prozessen vergleicht und im Rahmen der Ex-ante-Optimierung der dBOP-Plattform in Niedermann et al. 2010 beschrieben wird.

Die musterbasierte Optimierung in Echtzeit greift in laufende Fertigungsprozesse ein, um Verbesserungen zu erzielen. Hierbei werden z.B. Informationen verwertet, die erst nach Start der Prozessinstanz generiert wurden und mit der vorhandenen Datenbasis in einen Kontext gesetzt werden, um die Instanz anzupassen. Optimierungen in Echtzeit beeinflussen die aktuell ausgeführte Prozessinstanz (z.B. durch eine Empfehlung in der Ressourcenzuordnung), haben jedoch keinen dauerhaften Einfluss auf das Prozessmodell.

Die Ex-post-Optimierung beschreibt die Optimierung bereits ausgeführter Prozesse. Prozessmodell sowie die Grundlage an ausgeführten Prozessinstanzen und operative Daten dienen als Ausgangspunkt der Optimierung. Nach Auswahl der Zieldimension durch den Anwender werden die Anwendungsmöglichkeiten der vorhandenen Muster geprüft und die Optimierungsoptionen durch Anwendung des gewählten Musters angezeigt. Als Folge besitzen Ex-post-Optimierungen die weitreichendsten Änderungsmöglichkeiten für das Muster des Fertigungsprozesses sowie für zugewiesene Ressourcen.

Optimierungsebene

Prozesse lassen sich nach Becker 2008 in vier verschiedenen Ebenen verbessern (dargestellt in Abbildung 15). Dadurch werden in Abhängigkeit der Ebene unterschiedliche Handlungsmöglichkeiten generiert, die Optimierungen für den Prozess ermöglichen.

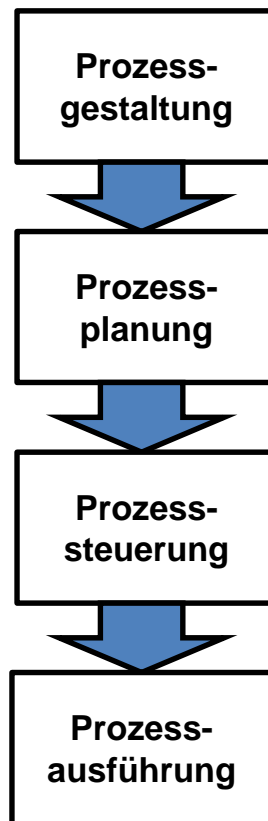


Abbildung 15: Optimierungsebenen von Produktionsprozessen

Die unterste Ebene beschreibt die Optimierung der eigentlichen Prozessausführung. Das Ziel hierbei ist, eine gleichmäßige Prozessleistung zu erreichen, welche die vorgegebenen Standards erfüllt, in Kombination mit einer Reduzierung von Fehlern in der Ausführung.

Die zweite Ebene ist die Prozesssteuerung. Die Prozesssteuerung führt die kurzfristige Verteilung von Ressourcen durch, vergibt Prioritäten in der Ausführung, reagiert auf Sonderfälle und plant das Vorgehen für anstehende Prozessinstanzen. Die koordinierte Freigabe von Aufträgen, einschließlich der Vermeidung von resultierenden Wartezeiten, fällt ebenfalls in den Aufgabenbereich der Prozesssteuerung.

Auf der Ebene der Prozessplanung werden die erforderlichen Kapazitäten für die Prozesse dimensioniert. Das Augenmerk liegt dabei auf der Bewerksstelligung zukünftiger Aufträge und auf einer langfristigen Stabilisierung der Prozessleistungen.

Die Prozessgestaltung stellt die oberste Ebene dar. Sie bietet den größten Handlungsspielraum für Optimierungen der Prozesse, da das eigentliche Prozessmodell betrachtet wird. Es können Prozessschritte verändert werden sowie Ressourcen hinzugefügt oder entfernt werden.

Optimierungsfokus

Der Optimierungsfokus beschreibt den zur Optimierung betrachteten Bereich des Prozesses. Es besteht die Möglichkeit, sowohl den gesamten Fertigungsprozess oder nur einzelne Teilschritte des Prozesses zu betrachten. Liegt der Fokus auf den Ressourcen, so werden Personal- oder Betriebsmittel und deren Zuordnung konfiguriert.

Anwendungsfeld

Das Anwendungsfeld kennzeichnet das Produktionssystem, auf das der Optimierungsansatz ausgelegt ist. Die Auswahl wird auf Basis von Gröger 2011 auf die Typen Massenfertiger, Serienfertiger mit Fließproduktion und Serienfertiger mit Gruppenproduktion beschränkt.

Die klassische Massenfertigung bezeichnet die kontinuierliche Produktion großer Ausbringungsmengen ohne geplante Unterbrechungen im Produktionsprozess. Es wird für einen anonymen Markt produziert, und der Aufwand pro Einzelprodukt ist im Vergleich zu den anderen Produktionssystemen gering (Louis 2009, Westkämper 2006).

Bei einer Serienfertigung hingegen wird eine begrenzte Anzahl identischer Erzeugnisse hergestellt. Hierbei wird zwischen Fließproduktion und Gruppenproduktion unterschieden. Das hat zur Folge, dass Maschinen zwischen Produktionszyklen umgerüstet werden müssen, bei der Fließproduktion zwischen Serien, bei der Gruppenproduktion eventuell auch innerhalb des Ablaufes. Die Fließproduktion weist in diesem Fall einen höheren Grad an Automatisierung auf, wohingegen die Gruppenproduktion ein höheres Maß an Flexibilität ermöglicht (Günther/Tempelmeier 2012, Zelewski et al. 2008).

Zieldimension

In der Zieldimension wird beschrieben, welche Produktionsziele durch den Optimierungsansatz beeinflusst werden. Als Grundlage dienen die vier Dimensionen Zeit, Qualität, Wirtschaftlichkeit und Variabilität, die das Zielsystem der Produktion darstellen (Erlach 2010).

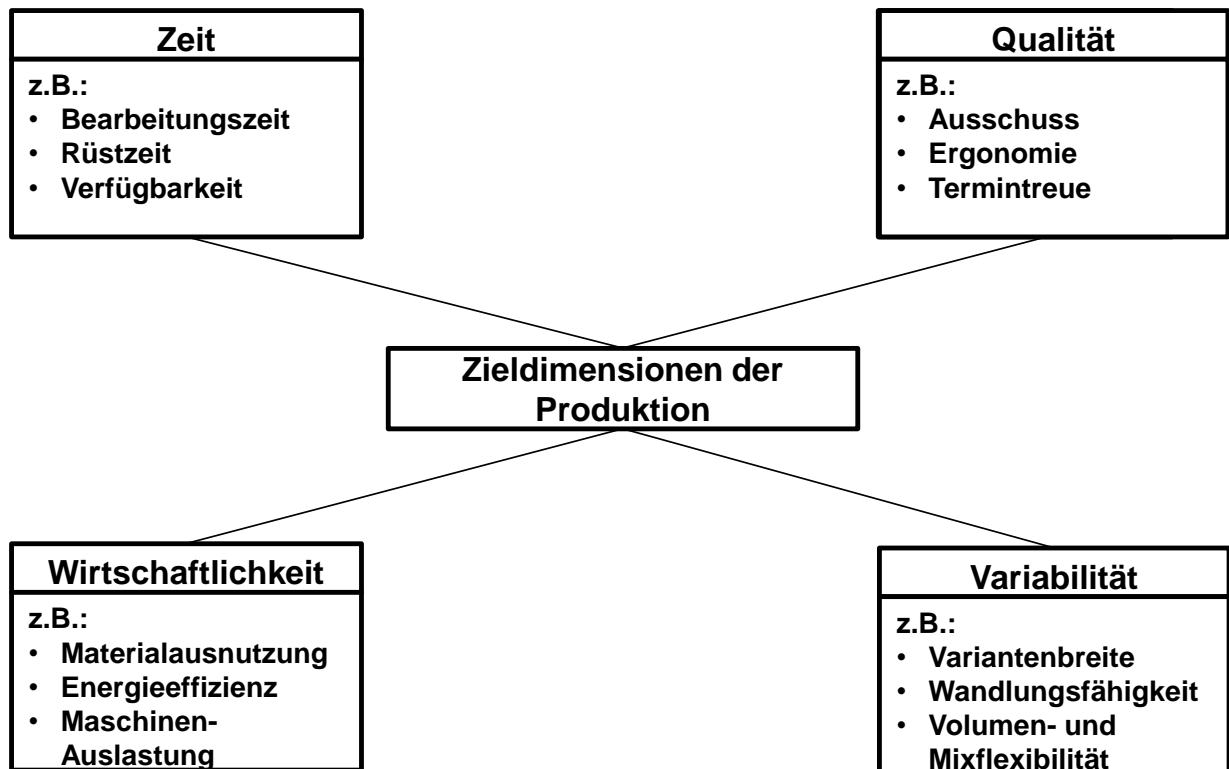


Abbildung 16: Zieldimensionen der Produktion (in Anlehnung an Erlach 2010)

Die Zieldimension Zeit beschreibt den benötigten Zeitaufwand, der für die Erfüllung eines Prozessschrittes notwendig ist sowie den Aufwand für unterstützende Nebentätigkeiten, wie z.B. Umrüstungen. Die Gesamtdurchlaufzeit stellt eine kritische Größe für den Prozessdurchlauf dar, da neben wertschöpfenden Aktivitäten auch nicht wertschöpfende Aktivitäten wie Wartezeiten, Transport oder Lagerung betrachtet werden (Töpfer 2009).

Die Dimension Qualität gibt an, wie zuverlässig die Produktionsprozesse arbeiten. So wird zum einen der Ausschuss pro Durchlauf bewertet, zum anderen ob der Prozess vorgegebene Toleranzen einhält. Auch die Bewertung, ob benötigte Mengen in genau in der angegebenen Stückzahl produziert werden können, ist ein Qualitätskriterium (Erlach 2010).

Die Zieldimension Wirtschaftlichkeit beschreibt das Verhältnis von monetär quantifizierbaren Kosten zur gemessenen Leistung (Kletti 2007). Somit wird hier die Auslastung von Maschinen, die Ausnutzung von Material oder die Produktivität der Arbeitskräfte im Verhältnis zu Kosten und Qualität betrachtet (Erlach 2010).

Die Variabilität gibt an, wie flexibel auf neue Anforderungen reagiert werden kann, z.B. bis zu welchem Grad Änderungen erfüllt werden können. Das Spektrum an verschiedenen Ausbringungsvarianten und die Möglichkeit Volumengrößen flexibel anzupassen, fällt ebenfalls in den Bereich der Variabilität. Auch die Anzahl der Varianten, in der ein Produkt hergestellt werden kann, und die Kombinationsmöglichkeiten der verschiedenen Varianten bei der Herstellung werden beschrieben (Erlach 2010).

Die vier Zieldimensionen können in wechselseitigen Einschränkungen zueinander stehen, so dass die Verbesserung einer Dimension positive oder negative Auswirkungen auf andere Zieldimensionen hat. Für die Kriterien der Optimierungsansätze werden Entwicklungen in beide Richtungen der Zieldimensionen aufgezeigt.

Datengrundlage

Im Kriterium Datengrundlage wird beschrieben, auf welchen Datenquellen der Optimierungsansatz aufbaut. Es wird hierbei unterschieden, ob der Ansatz Daten aus den Produktionsprozessen oder aus operativen Systemen verwendet. Da die Datenquellen im Manufacturing Warehouse zusammengeführt werden (siehe Kapitel 3.4.2), ist eine gemeinsame Betrachtung möglich. Zusätzlich wird angegeben, ob weitere Plandaten aus ERP- und PPS-Systemen für die Auswertung benötigt werden. Die Datengrundlage ist nicht exklusiv, für einen Ansatz können Daten aus verschiedenen Quellen hinzugezogen werden.

Automatisierungsgrad

Der Automatisierungsgrad gibt an, in welcher Form die Optimierung generiert wird. Die Optimierung kann als Empfehlung an den Ausführenden ausgegeben werden, kann sich mit der Anpassung der Prozessparameter befassen oder das Prozessmuster direkt beeinflussen.

Bei einer Optimierungsempfehlung erhält der Ausführende schriftliche Informationen und Anpassungsanweisungen. Das kann der Fall sein, wenn das Prozessmodell und die Eigenschaften des Prozesses nicht verändert werden, aber physische Anpassungen ausgeführt werden müssen oder nicht alle Faktoren betrachtet werden konnten. In diesem Fall hat der Anwender die Wahl, ob er die Empfehlungen ausführt.

Die Anpassung der Parameter beschreibt den Vorgang, bei dem der Prozessablauf nicht verändert wird, aber durch eine Veränderung der verwendeten Größen eine Verbesserung erzielt werden kann. Das kann z.B. in Form einer Änderung der verwendeten Betriebsstoffe, der Anpassung von Maschinenwerten oder einer Veränderung der Ausbringungsmenge sein. Es besteht die Möglichkeit, diese Änderungen im System automatisch vorzunehmen, jedoch wird in den meisten Fällen eine Bestätigung des Ausführenden benötigt.

Bei der Umstrukturierung des Prozesses wird das eigentliche Prozessmodell optimiert. Die Anpassung kann nötig sein, wenn (Teil-)Prozessschritte hinzugefügt, entfernt oder in ihrer Ausführungsreihenfolge verändert werden. Eine Umstrukturierung in dieser Form kann große Anpassungen mit sich bringen, so dass jede Änderung von einem zuständigen Experten geprüft und in der empfohlenen Form umgesetzt wird.

Bestandteile von Optimierungsmustern

Ein Optimierungsmuster setzt sich aus drei Segmenten zusammen, die Meta-Informationen zum Optimierungsmuster, Angaben zur Mustererkennung und Angaben zur Musteranwendung beinhalten (basierend auf Gröger 2011).



Abbildung 17: Segmente eines Optimierungsmusters

Die Meta-Informationen (siehe Abbildung 17) beschreiben die Attributausprägungen des Musters. Es wird aufgeführt, welche Zieldimensionen beeinflusst und welche Nebenbedingungen betrachtet werden.

Die Angaben zur Mustererkennung beschreiben die Informationen, die benötigt werden, wenn für einen bestimmten Produktionsprozess ein Optimierungsmuster gesucht wird. Die Informationen werden verwendet, um abzugleichen, ob die Verbesserungen in den gewählten Zieldimensionen von dem Muster erfüllt werden. Zudem wird verglichen, ob das Muster für die entsprechende Produktionsinstanz anwendbar ist, z.B. ob Anforderungen zusätzlich zu den genannten Kriterien erfüllt werden müssen.

Nachdem ein Muster ausgewählt wurde, wird in dem Segment zur Musteranwendung aufgeführt, in welcher Form das Muster angewendet wird. Es wird beschrieben, in welcher Form die Optimierungen generiert werden. Zudem wird die Interaktion mit dem Anwender beschrieben, z.B. wie Empfehlungen ausgegeben werden oder welche Bestätigungen zur Umsetzung der Optimierung nötig sind. Sofern eine automatische Umsetzung möglich ist, wird die Durchführung hier beschrieben.

4.2 Produktionsgetriebene Ansätze

In diesem Abschnitt werden Optimierungsvorgehen betrachtet, die auf Verbesserungskonzepten für den Produktionskontext basieren. Um die Auswahl auf Vorgehen zu beschränken, die sich in der Praxis etabliert haben, werden auf Basis einer Literaturrecherche die populären Best-Practice-Vorgehen bewertet.

Die betrachteten Bereiche (siehe Abbildung 18) sind in die vier Kategorien Theory of Constraints, Total Quality Management, Six Sigma und Lean Production aufgegliedert.

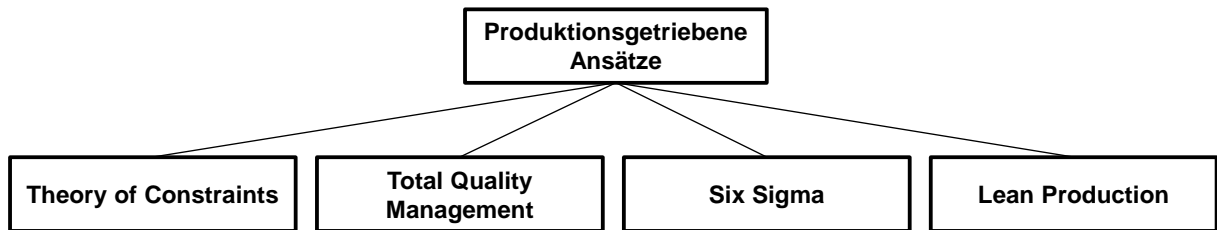


Abbildung 18: Übersicht produktionsgetriebene Ansätze

4.2.1 Theory of Constraints

Die Theory of Constraints (TOC) wurde zunächst in der Form der Produktionssteuerungsmethode Optimized Production Technology von Eli Goldratt entwickelt und erstmals 1987 unter dem Begriff Theory of Constraints vorgestellt (Rahman 1998).

Die Theory of Constraints basiert auf dem Ansatz, dass in jedem Fertigungsprozess ein Engpass existiert, der die Leistungsfähigkeit des Prozesses begrenzt. Dieser Engpass besteht unabhängig von der aktuellen Leistungsfähigkeit, so dass auch bei einer Leistungssteigerung stets mindestens ein begrenzender Faktor existiert. Die TOC maximiert den Durchsatz des Prozesses, indem die Engpässe identifiziert und beseitigt werden (Pegels/Watrous 2005).

Die TOC lässt sich in zwei grundlegende Komponenten aufteilen (Rahman 1998):

- eine Sammlung von Modellen zur konstanten Verbesserung und Auftragsfreigabe
- Denkprozesse: Vorgehen zur Identifikation und Beseitigung von Beschränkungen abseits der physischen Ausführung

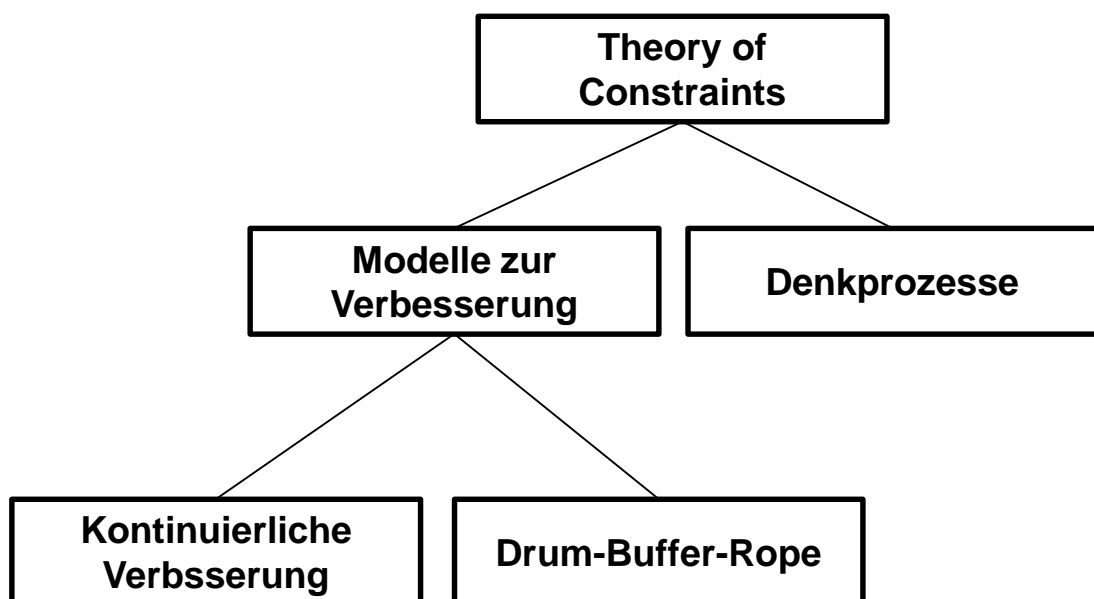


Abbildung 19: TOC-Komponenten

Für die Bewertung zur Umsetzung in ein Optimierungsmuster werden zwei Ansätze der Verbesserungsmodelle (siehe Abbildung 19) betrachtet:

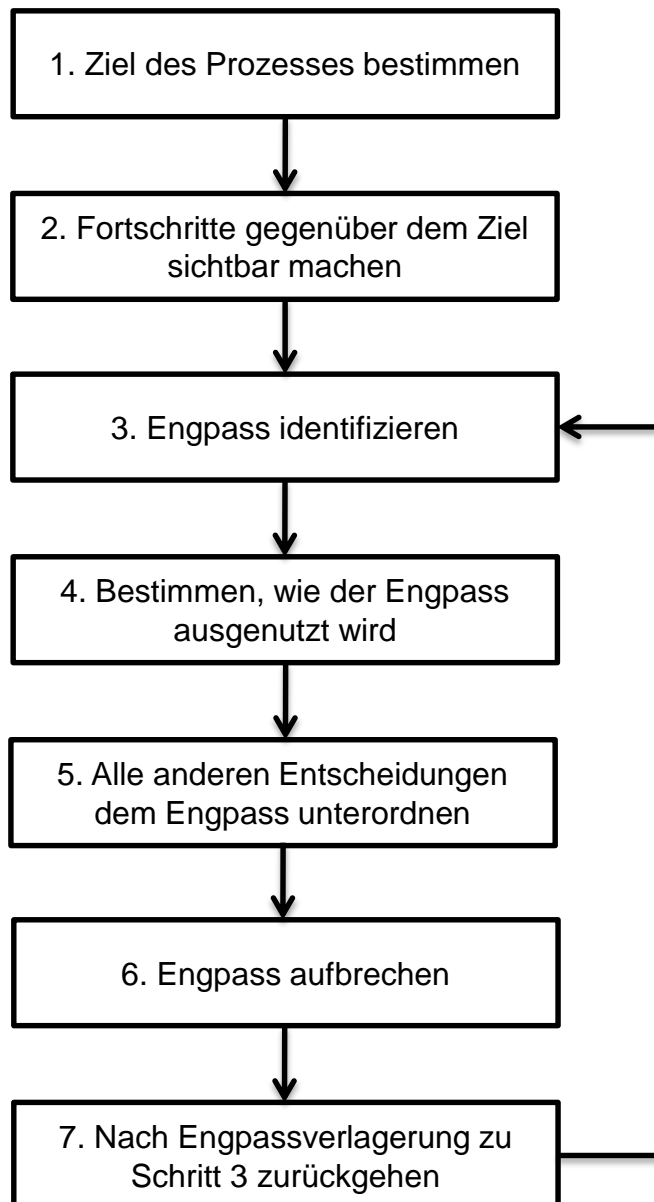
- Kontinuierliche Verbesserung fokussiert den Vorgehensansatz zur Prozessverbesserung.
- Drum-Buffer-Rope beschreibt ein Modell zur Verbesserung der Produktionssteuerung.

Zudem werden die Denkprozesse auf Umsetzungsmöglichkeiten bewertet.

Kontinuierliche Verbesserung

Die Vorgehensweise (siehe Abbildung 20) zur Prozessverbesserung im Rahmen des TOC-Konzeptes besteht aus folgenden Schritten (Becker 2008, Rahman 1998):

1. Das Ziel des Prozesses identifizieren, an dem sich die Lösung orientiert.
2. Den Fortschritt zur Erreichung des Ziels dokumentieren.
3. Den Engpass im System identifizieren. Dabei wird untersucht, wo im Prozess Begrenzungen auftreten, z.B. in Form hoher Belastungen oder Warteschlangen. Der Engpass kann in physischer Form (z.B. die Überbelegung einer Maschine) oder in Form einer organisatorischen Einschränkung (z.B. Verhaltensvorgaben) auftreten. Engpässe organisatorischer Art beinhalten auch das Fehlverhalten von Mitarbeitern, welches durch Richtlinien erzeugt wird, z.B. wenn die Mitarbeiterleistung durch Kennzahlen gemessen wird, die nicht der Produktivität des Engpasses dienen (Stein 1997).
4. Es wird entschieden wie mit dem Engpass umgegangen wird, ohne teure Eingriffe oder Investitionen durchzuführen versucht man, den Engpass voll auszulasten, so können Ressourcen hinzugezogen, Lose zusammengefasst oder auf Pausen verzichtet werden. An dieser Stellen können auch Werkzeuge aus dem Anwendungsfeld der Lean Production eingesetzt werden, wie z.B. Single Minute Exchange of Die oder Total Productive Maintenance (siehe dazu Kapitel 4.2.4).
Tritt der Engpass in organisatorischer Form auf, müssen Regelungen angepasst werden.
5. Die anknüpfenden Prozessschritte und Ressourcen werden zur Unterstützung des Engpasses ausgerichtet. So werden beispielsweise Schritte zur Belieferung des Engpasses angepasst, um Wartezeiten zu reduzieren.
6. Ist die Engpassproblematik immer noch nicht behoben, müssen größere Umstellungen vorgenommen werden, um den Engpass aufzubrechen. Das kann z.B. in Form einer Investition zur Entlastung des Engpasses erreicht werden. Hierbei ist wichtig, dass diese Maßnahmen erst eingeleitet werden, wenn die vorherigen Schritte zu keinem Erfolg geführt haben.
7. Nachdem die Engpassproblematik behoben wurde, wird überprüft an welcher Stelle der neue Engpass auftritt und der Vorgang wiederholt.



**Abbildung 20: TOC: Schritte der Prozessverbesserung
(in Anlehnung an Becker 2008)**

Das Vorgehen zur Prozessverbesserung der Theory of Constraints eignet sich nur bedingt zur Umsetzung als Optimierungsmuster. Es besteht die Möglichkeit, Engpässe zu identifizieren, da Informationen zu Durchlaufzeiten, Wartezeiten oder Auslastungen im System vorhanden sind. Auf Basis der Informationen können auch Ansätze generiert werden, wie der Engpass maximal ausgelastet werden kann, z.B. zur Verteilung von Prozessressourcen. Sind jedoch Entscheidungen in einem größeren Maße nötig (Schritt 6), können keine (teil-)automatischen Optimierungen generiert werden, da Schritte wie eine Investitionsentscheidung oder ein Eingriff in die Strategie nicht abgebildet werden können.

Durch diese Einschränkungen wird der Ansatz nicht als Optimierungsmuster umgesetzt.

Drum-Buffer-Rope

Drum-Buffer-Rope (DBR) ist eine Technik zur Erhöhung der Produktivität durch eine gleichmäßige Steuerung, die sich auf den gesamten Prozess bezieht. Der DBR-Ansatz wurde als Implementierungsansatz für das Konzept der Kontinuierlichen Verbesserung zur optimalen Auslastung von Engpässen entwickelt (Stein 1997). Das Konzept besteht aus drei Komponenten:

- Als Drum wird der Rhythmus des identifizierten Engpasses bezeichnet (z.B. die geplante Laufzeit einer ausgelasteten Maschine). Die anderen Teilschritte des Prozesses werden an den Rhythmus angepasst, um eine bestmögliche Unterstützung des Engpasses zu gewährleisten.
- Der Buffer stellt den Puffer-Bereich vor dem Engpass dar. Zum bestmöglichen Betrieb des Engpasses wird sichergestellt, dass der dieser optimal versorgt wird. Im Fall einer Maschine würde ein begrenztes, zusätzliches Lager an Beständen bereitstehen, um bei Verzögerungen in vorherigen Schritten den Betrieb der Maschine aufrecht zu erhalten.
- Rope bezeichnet die Mechanik, welche die anderen Prozessschritte an der Geschwindigkeit des Engpasses ausrichtet. Somit werden neue Aufträge abhängig von der Leistung des Engpasses freigegeben.

Die Drum-Buffer-Rope-Methodik stellt einen Ansatz dar, der sich als Optimierungsmuster umsetzen lässt. Es besteht die Möglichkeit, mit Hilfe der vorhandenen Daten, Engpässe zu identifizieren und den Arbeitsrhythmus der Engpässe, sofern möglich, festzustellen. Mit diesen Informationen lässt sich ein Ablaufplan erstellen, um den Prozess auf den Engpass auszurichten, mit dem Ziel die Produktivität des Engpasses zu maximieren.

Attribut	Attributausprägung			
Optimierungshorizont	Ex-ante	Echtzeit	Ex-post	
Optimierungsebene	Gestaltung	Planung	Steuerung	Ausführung
Optimierungsfokus	Prozess	Fertigungsschritt	Ressource	
Anwendungsfeld	Klassischer Massenfertiger	Serienfertiger mit Fließproduktion	Serienfertiger mit Gruppenproduktion	
Zieldimension	Zeit	Qualität	Wirtschaftlichkeit	Variabilität
Datengrundlage	Operative Daten	Prozessbezogene Daten	(zusätzlich) Plandaten	
Automatisierungsgrad	Empfehlung	Anpassung der Parameter	Umstrukturierung des Prozesses	

Tabelle 2: Muster Drum-Buffer-Rope: Attribute

Die Attribute für das Optimierungsmuster für den Drum-Buffer-Rope-Ansatz werden folgendermaßen festgelegt (siehe Tabelle 2):

- Es wird eine Ex-Post-Optimierung durchgeführt, da das Ziel die Optimierung von Prozessinstanzen darstellt, deren Ausführung noch bevorsteht. Die Optimierung basiert dabei auf den Daten bereits ausgeführter Instanzen.
- Das Muster bezieht sich auf die Ebene der Fertigungssteuerung. Es werden kurzfristige Anpassungen getroffen, die in regelmäßigen Abständen überprüft werden.
- Das Optimierungsmuster agiert prozessübergreifend. Das Ziel besteht darin, den Prozess am Engpass auszurichten.

- Es wird von einer klassischen Massenfertigung mit Produktion auf Lager ausgegangen.
- Im Fokus stehen die Produktivität des Engpasses sowie die Auswirkung auf die Gesamtproduktivität des Prozesses. Zusätzlich wird der Prozess einheitlich ausgerichtet, wodurch eine Verbesserung der Durchlaufzeit erzielt wird. Die Ausrichtung beeinflusst allerdings auch die Variabilität, weil die einzelnen Prozessschritte weniger Ausführungsoptionen haben, da sie sich am Engpass ausrichten müssen.
- Die Anwendung basiert auf den Daten bereits ausgeführter Prozessinstanzen, da durch deren Auswertung Engpässe erkannt werden können.
- Die Anpassung der Ausführungszeiten der Prozessschritte stellt eine Parameteranpassung dar. Der Prozess bleibt hierbei in seiner Struktur bestehen, jedoch wird die Ausführung optimiert.

Mustererkennung: Das Optimierungsmuster wird ausgewählt, wenn Indizien festgestellt werden, die auf einen Engpass hindeuten. Es wird betrachtet, wie hoch die Materialliegezeiten sind, bevor das Material verwendet wird, was auf einen Engpass hindeuten kann. Des Weiteren wird bewertet, bei welchen Schritten eine geringe Auslastung oder große Pausenzeiten beobachtet werden, weil sie aufgrund eines vorherigen Engpasses unzureichend beliefert werden.

Diese Auswertungen lassen sich auf dem aktuellen Datenmodell der AdMA-Plattform ausführen, ohne dass Erweiterungen notwendig sind. Wird ein Engpass identifiziert, kann das Optimierungsmuster ausgewählt werden.

Musteranwendung: Die Anwendung des Optimierungsmusters besteht aus vier Schritten (siehe Abbildung 21):

1. Es wird der Engpass verwendet, der im Schritt der Mustererkennung identifiziert wurde.
2. Die Ausführungszeiten des Engpasses werden ausgewertet, um den Rhythmus festzustellen. Dies basiert auf den Zeitstempeln der zuvor ausgeführten Prozessinstanzen.
3. Es wird die Größe des Puffers vor dem Engpass errechnet. Hierfür können z.B. die durchschnittlichen Störungszeiten der vorherigen Prozessschritte betrachtet werden.
4. Die Prozessschritte die den Engpass unterstützen, werden an diesem ausgerichtet, um eine optimale Belieferung sicherzustellen. Hierfür werden die Ausführungszeiten angepasst und die Ausführungsprioritäten festgelegt, um beispielsweise einen Schritt auch bei Unterbelegung auszuführen, wenn die Belieferung des Engpasses es benötigt.
Auch die Ausführung der Schritte, die auf den Engpass folgen, wird an den Rhythmus angepasst, indem eine Freigabe von der Engpassleistung abhängig gemacht wird.

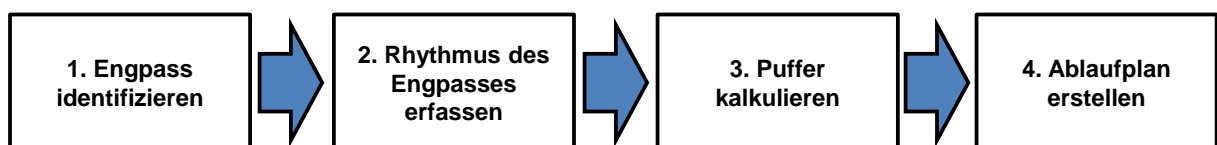


Abbildung 21: Anwendungsschritte DBR-Muster

Denkprozesse

Da Engpässe häufiger in organisatorischer als in physischer Form auftreten (Rahman 1998), lassen sich viele Engpässe nicht durch das Vorgehen beseitigen, das in den vorherigen Absätzen beschrieben wurde. Dies können Fälle sein, in denen ein bestimmtes Arbeitsverhalten vorgegeben ist, es werden aber auch Bereiche betrachtet, in denen z.B. Entscheidungen in Abhängigkeit zum Markt getroffen werden und somit ein Engpass entsteht.

Die Denkprozesse versuchen, bei Betrachtung solcher Problemstellungen Transparenz zu schaffen und neue Lösungsmöglichkeiten aufzuzeigen.

Hierfür wird definiert (Stein 1997):

- Was soll geändert werden?
- Wohin soll die Veränderung führen?
- Wie wird die Veränderung erreicht?

Dafür stehen fünf Werkzeuge zur Verfügung (Stein 1997):

- **Gegenwartsbaum:** beschreibt den aktuellen Zustand
- **Dilemma-Wolke:** eine graphische Darstellung der Probleme, die eine Weiterentwicklung verhindern
- **Zukunftsbaum:** stellt den gewünschten Zustand dar, nachdem die Probleme beseitigt wurden
- **Voraussetzungsbaum:** beschreibt die Voraussetzungen, die erfüllt sein müssen damit der neue Zustand erreicht werden kann
- **Umsetzungsbaum:** stellt die Lösungen zur Bewältigung der Voraussetzungen vor

Die Werkzeuge werden an dieser Stelle nicht genauer beschrieben, da bereits deutlich wird, dass sich die Denkprozesse nicht als Grundlage für ein Optimierungsmuster eignen.

Die Problemstellung geht weit über den Produktionskontext hinaus, und es wird vorausgesetzt, dass detaillierte Ziele und Pläne entworfen werden. Somit kann eine (halb-)automatische Analyse oder Anwendung ausgeschlossen werden.

Bewertung: Theory of Constraints

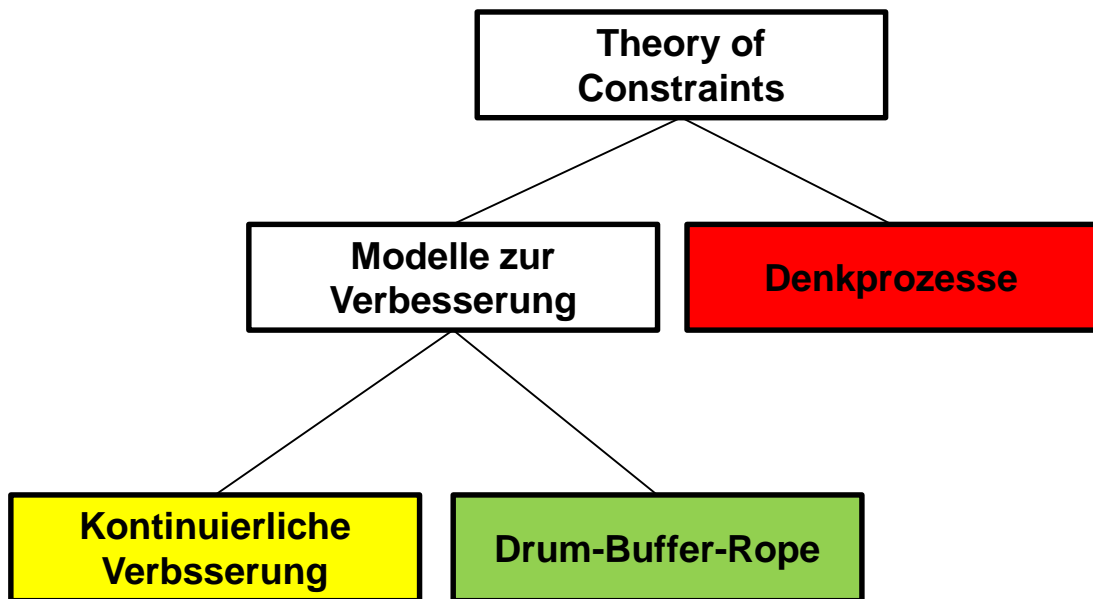


Abbildung 22: Bewertung: Theory of Constraints

Unter den Konzepten der Theory of Constraints eignet sich das Drum-Buffer-Rope-Konzept für eine Umsetzung als Optimierungsmuster. Der Ansatz der kontinuierlichen Verbesserung kann unter Einschränkungen betrachtet werden.

4.2.2 Total Quality Management

Total Quality Management (TQM) fokussiert eine langfristige Verbesserung durch eine Steigerung und Sicherstellung der Qualität. Das Konzept besitzt einen umfassenden Charakter, indem alle Beteiligten der Wertschöpfungskette einbezogen werden. Der Qualitätsbegriff reicht über die Produktqualität hinaus und umfasst auch die Optimierung der Geschäftsprozesse (Koch 2011).

Es werden zwei Konzepte der Qualitätsverbesserung als Grundlage zur Generierung eines Optimierungsmusters betrachtet (siehe Abbildung 23): Das 14-Punkte-Programm zur Verbesserung von Qualität und Produktivität nach Deming und das EFQM-Modell zur Ermittlung von Stärken und Verbesserungsmöglichkeiten.

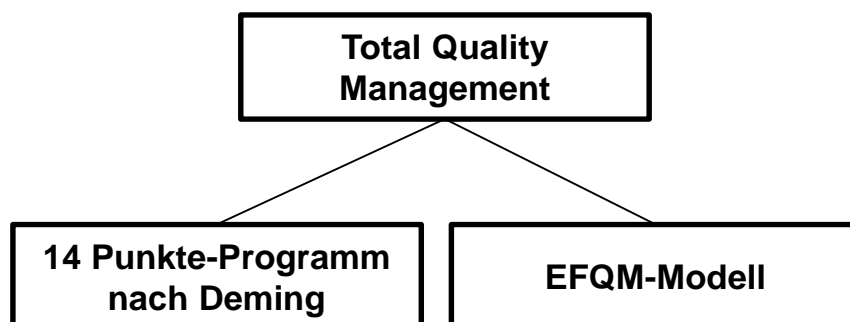


Abbildung 23: TQM-Komponenten

14 Punkte-Programm nach Deming

Das Ziel des Programms ist die Verbesserung der Qualität unter Einbeziehung von Mitarbeitern und Ressourcen. Die Zielsetzung wird in einem 14-Punkte-Programm zusammengefasst (Koch 2011). Das Programm bewertet die Vorgehensweise allerdings aus der Perspektive des Managements und betrachtet Punkte wie z.B. Unternehmensklima oder Qualifizierungsprogramme. Somit lässt sich das Vorgehen nicht für eine Optimierung im Fertigungsbereich einsetzen.

EFQM-Modell

Das Modell der European Foundation of Quality Management (EFQM) bietet Ansätze zur Überprüfung und Umsetzung von Total Quality Management. Der Fokus der Bewertung liegt hierbei jedoch auf Faktoren wie dem Verhalten der Unternehmensführung, der Entwicklung von Mitarbeiterpotential oder dem Aufbau von Kooperationen (Becker 2008). Es bestehen keine Anwendungsmöglichkeiten der EFQM-Bewertungen auf den Fertigungskontext und somit kein Potential für eine Umsetzung als Optimierungsmuster.

Bewertung: Total Quality Management

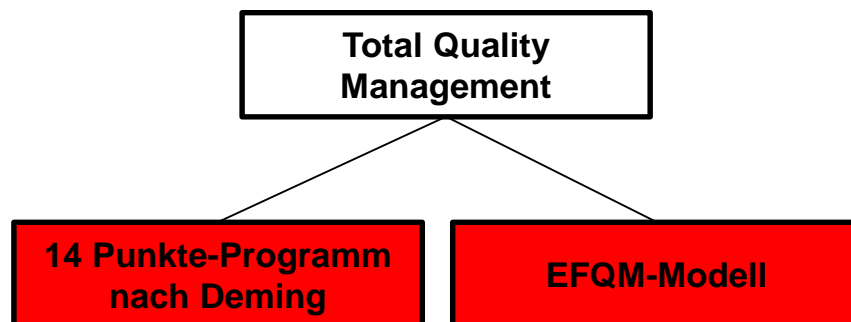


Abbildung 24: Bewertung: TQM-Komponenten

Die betrachteten Konzepte des Total Quality Managements eignen sich nicht als Umsetzung in Form eines Optimierungsmusters (siehe Abbildung 24), da der Fokus von TQM auf dem Verhalten der Führungsebene liegt und sich keine sinnvolle Verwendung für den Produktionskontext ergibt.

4.2.3 Six Sigma

Das primäre Ziel von Six Sigma ist die vollständige und profitable Erfüllung von Kundenbedürfnissen. Dies setzt eine strukturierte Vorgehensweise, Analyse und Verbesserung von fehlerhaften Prozessen voraus. Es wird angestrebt, das Qualitätsbewusstsein des Unternehmens zu verbessern. Dieses wird durch messbare Aussagen, basierend auf statistischen Methoden, erzielt.

Die Methoden werden nach dem DMAIC-Verfahren angeordnet, das die Optimierungsschritte in die Phasen Define, Measure, Analyze, Improve und Control gliedert (siehe Abbildung 25). DMAIC-Projekte machen einen hohen Anteil ausgeführter Six-Sigma-Projekte aus (im Folgenden Toutenburg et al. 2009).

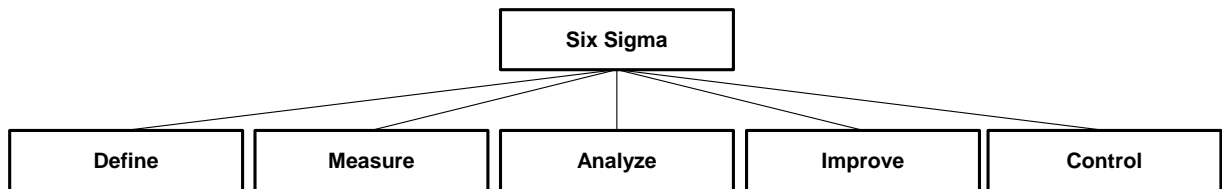


Abbildung 25: Komponenten Six Sigma

Define

In der ersten Phase des Verbesserungsprozesses werden der Kunde sowie seine Anforderungen identifiziert und messbar gemacht. Die Bewertung der Situation des Kunden wird durch Methoden wie Fokusgruppen, Interviews oder Marktforschungen umgesetzt. Nach Erhebung der Werte werden spezifische, messbare Kundenanforderungen abgeleitet. Zudem wird Planung und Ablauf des Projekts in einer Project Charter festgehalten, um die Funktion als Dokumentation und Orientierungshilfe zu erfüllen.

Die Schritte der Define-Phase bieten sich nicht für eine Umsetzung als Optimierungsmuster an. Die Erhebung der Kundendaten setzt in vielen Bereichen Vorgehensweisen voraus, die weit über die Auswertung der Daten im MWH hinausgehen. Somit ist keine sinnvolle Anforderungserhebung möglich.

Measure

In der Measure-Phase werden Messkriterien, Zielwerte, Spezifikationsgrenzen und Fehlerdefinitionen festgelegt. Die Messgrößen werden anhand ihrer Relevanz priorisiert. Nach einer Analyse der Systeme zur Messung wird die Datenerhebung durchgeführt und die Prozessfähigkeit berechnet.

Die Umsetzung der Schritte der Measure-Phase wäre in ausgewählten Bereichen möglich, liefert jedoch nur einen geringen Mehrwert. Die Daten zur Prozessbewertung stehen zur Verfügung, jedoch ist die Umsetzung von Priorisierungsmaßnahmen aufwendig und wird durch bestehende Vorgehen bereits abgedeckt. Die Schritte zur Datenerhebung und Darstellung sind überflüssig. Somit lässt sich zwar eine Prozessfähigkeit errechnen, jedoch ist deren Aussagekraft nach den vorherigen Einschränkungen relativ gering.

Analyze

In der Phase der Analyse werden die Ursachen bestimmt, die sich mindernd auf die Prozessleistung auswirken. Es werden die Gründe für Fehler identifiziert und das Verhältnis von Einflussfaktoren und Prozessergebnis ermittelt. Diese Phase wird in die Prozess- und die Datenanalyse unterteilt. Die Prozessanalyse umfasst Werkzeuge wie Potential-Flussdiagramme, Ursache-Wirkungsdiagramme und Analysen zu Fehlereinflüssen. Die Datenanalyse stellt statistische Analysewerkzeuge zur Verfügung.

Beide Vorgehensweisen eignen sich nicht für eine Umsetzung, da keine direkten Vorteile durch eine Automatisierung gewonnen werden. Eine Umsetzung wäre sehr aufwendig und die Ergebnisse müssten auch weiterhin manuell geprüft werden.

Improve

Die Improve-Phase beschreibt die Auswahl der Lösung. Es werden mögliche Lösungsansätze ermittelt und vielversprechende Ansätze ausgewählt. Die Ansätze werden verfeinert, getestet und der gewonnene Nutzen zum entstehenden Aufwand in ein Verhältnis gesetzt. Auf dieser Basis wird die Lösungsauswahl bestimmt.

Auch für die Verbesserungsphase ergibt sich kein Umsetzungspotential. Die Ermittlung von Lösungsansätzen findet durch individuelle Vorgehensmaßnahmen wie z.B. Brainstorming statt, die abseits vom Fokus der AdMA-Plattform liegen.

Control

Die Control-Phase beschäftigt sich mit der Lösungsumsetzung und der Sicherstellung der Nachhaltigkeit der gewonnenen Verbesserungen. Im Mittelpunkt der Phase stehen Dokumentations- und Monitoring-Aktivitäten.

Die letzte Phase des Verbesserungsprozesses legt den Fokus auf Dokumentation und Mitarbeiterverhalten, die sich nicht in einem anwendbaren Optimierungsmuster umsetzen lassen.

Bewertung: Six Sigma

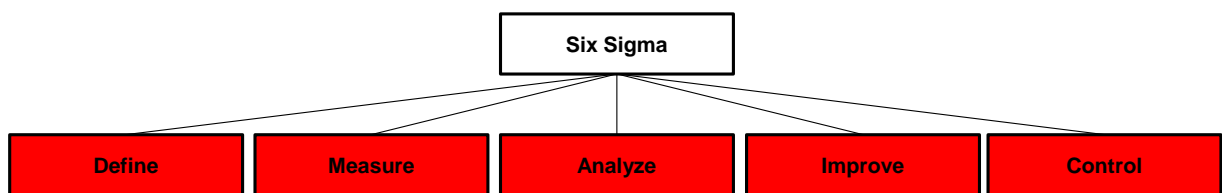


Abbildung 26: Bewertung: Six-Sigma-Komponenten

Keine der Komponenten des DMAIC-Verfahrens eignet sich für die Umsetzung als Optimierungsmuster. Die Vorgänge sind oftmals in graphischer Form dargestellt oder setzen intensive Mitarbeiterinteraktionen voraus. Somit besteht keine Möglichkeit Verbesserungen für die AdMA-Plattform abzuleiten.

4.2.4 Lean Production

Unter Lean Production werden die Methoden beschrieben, die eingesetzt werden, um eine schlanke Produktion zu erreichen. Auf Basis des Toyota-Produktionssystems werden unter Lean Production Komponenten vereint, um Verschwendungen zu vermeiden und den Fertigungsfluss zu verbessern. Das wird u.a. durch geringe Lagerhaltung, Fehlervermeidung, Reduzierung von Losgrößen oder Just-in-time-Produktion umgesetzt (Hehenberger 2011).

Für die Bewertung zur Umsetzung als Optimierungsmuster werden aus dem Bereich der Lean Production die Komponenten des Wertstrom-Managements, Total Productive Maintenance, Rüstzeitreduzierung und die Just-in-time-Techniken betrachtet (siehe Abbildung 27).

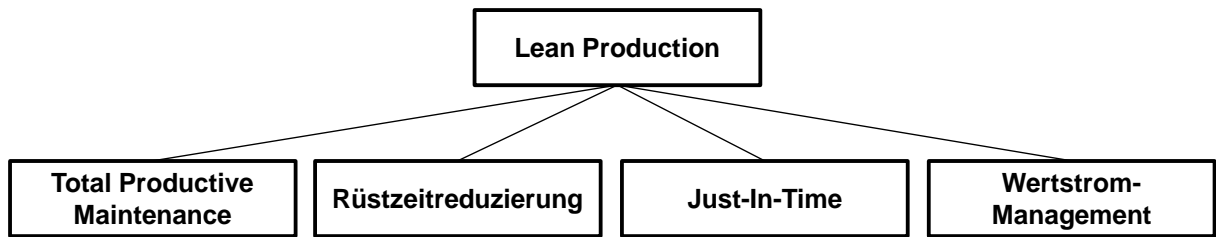


Abbildung 27: Komponenten der Lean Production

Total Productive Maintenance

Total Productive Maintenance (TPM) umfasst Instandhaltungsmaßnahmen, die darauf abzielen, die Produktivität von Maschinen zu erhöhen und die Fehleranfälligkeit der Prozessschritte zu reduzieren (Kletti/Schumacher 2011).

Neben einer Basis aus Sauberkeit, Ordnung und Disziplin baut das TPM-Konzept auf fünf Säulen auf (siehe Abbildung 28):

1. Beseitigung von Schwerpunktproblemen
In der ersten Phase werden auftretende Verluste (Verfügbarkeitsverluste, Leistungsverluste und Qualitätsverluste) erfasst und nach Häufigkeit sortiert, damit sich die Problemlösungen auf die häufigsten Ursachen konzentrieren zu können.
2. Autonome Instandhaltung
Im zweiten Schritt wird die Verantwortung der Mitarbeiter über die jeweilige Produktionsanlage erhöht. Ziel hierbei ist, dass Schäden früher erkannt werden, indem potentielle Fehlerquellen aktiv gesucht werden. Einfache Reparaturen und Wartungen sollen hierbei direkt vom Mitarbeiter durchgeführt werden können.
3. Geplante Instandhaltung
Die geplante Instandhaltung beschreibt die Implementierung von vorbeugenden Instandhaltungsmaßnahmen, um die Fehlerquote der Prozesse zu reduzieren.
4. Instandhaltungsprävention
Die Instandhaltung wird bereits geplant, wenn die Maschine in Betrieb genommen wird, um spätere Wartungsarbeiten zu vereinfachen.
5. Schulung und Training der Mitarbeiter
Die letzte Säule beschreibt Vorgehensmaßnahmen, um die Akzeptanz der Mitarbeiter zu steigern und die genannten Verbesserungsschritte umzusetzen.

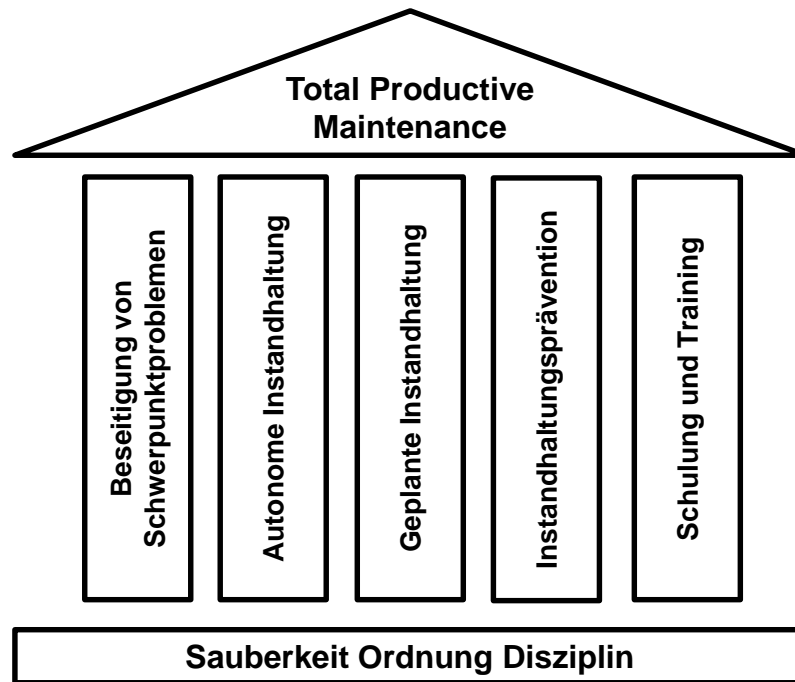


Abbildung 28: Total Productive Maintenance
(in Anlehnung an Kletti/Schumacher 2011)

Die Ansätze des Total-Productive-Maintenance-Konzeptes bieten kein Potential für eine Umsetzung als Optimierungsmuster. Die Problemfokussierung würde sich noch im Rahmen der AdMA-Plattform umsetzen lassen können, da es möglich ist, aufgetretene Fehlerzeiten zu erfassen und analytisch auszuwerten. Die folgenden Schritte beziehen sich allerdings primär auf das Verhalten der Mitarbeiter und allgemeine, vorbeugende Maßnahmen, was eine Umsetzung in Form eines automatisch anwendbaren Musters nur unter aufwendigen Erweiterungen möglich machen würde.

Rüstzeitreduzierung

In der Komponente der Rüstzeitreduzierung werden Maßnahmen betrachtet, welche die Rüstzeiten von Maschinen verringern. Geringe Rüstzeiten ermöglichen eine Reduzierung der Umlaufbestände, da Maschinen mit geringeren Losgrößen betrieben werden können, weil die Durchlaufzeiten abnehmen und die Flexibilität ansteigt (Kletti/Schumacher 2011).

Für die Rüstzeitreduzierung wird das Werkzeug Single Minute Exchange of Die (SMED) betrachtet, welches sich in vier Arbeitsschritte aufteilen lässt (Moxham/Greatbanks 2001, Kletti/Schumacher 2011):

1. Aktuellen Rüstwechsel analysieren
Es wird betrachtet welche Schritte für den Rüstwechsel anfallen, welche Werkzeuge verwendet werden, und wie viel Zeit jeder Schritt in Anspruch nimmt.
2. Einteilung der Tätigkeiten
Die Tätigkeiten werden in die Kategorien *interne* und *externe* Tätigkeiten eingeteilt. Interne Tätigkeiten können nur ausgeführt werden, wenn die Maschine still steht (z.B. Werkzeugwechsel). Externe Tätigkeiten können ausgeführt werden,

während die Maschine arbeitet (z.B. Materialvorbereitungen). Zudem wird betrachtet, ob Tätigkeiten unnötig sind und aus dem Vorgang entfernt werden können.

3. Umstrukturierung der Tätigkeiten

Es wird bewertet, ob weitere interne Tätigkeiten zu externen Tätigkeiten umfunktioniert werden können. Danach werden die Tätigkeiten neu angeordnet, wobei nur interne Schritte des Rüstvorgangs während des Stillstands der Maschine ausgeführt werden. Alle anderen Schritte werden als Rüstvorbereitung oder Rüstnachbereitung angeordnet (siehe Abbildung 29).

4. Dokumentieren und Trainieren des Ablaufs

Der Vorgang wird festgehalten, und die Mitarbeiter werden mit dem neuen Ablauf bekannt gemacht.

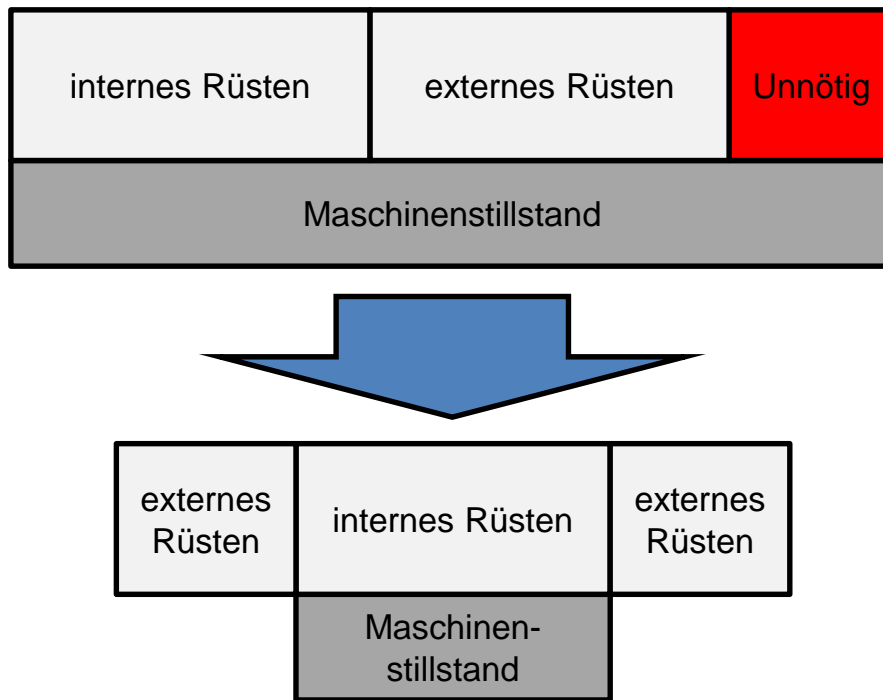


Abbildung 29: SMED – Umstrukturierung (in Anlehnung an Kletti/Schumacher 2011)

Das SMED-Vorgehen eignet sich nur eingeschränkt zur Umsetzung als Optimierungsmuster. Die Schritte des Rüstvorgangs müssten in das Datenmodell aufgenommen werden und ausreichend gekennzeichnet werden, um eine Analyse nach internen und externen Tätigkeiten zu ermöglichen. Da jedoch die Einteilung und Bewertung der Tätigkeiten den größten Aufwand in der Umsetzung darstellt und die eigentliche Anordnung vergleichsweise simpel ist, würde durch eine Automatisierung nur ein geringer Nutzen erzielt werden.

Just-In-Time

Just-In-Time (JIT) stellt eine Säule des Toyota-Produktionssystems dar und beschreibt eine Vorgehensweise, die das Ziel verfolgt, das benötigte Material zur richtigen Zeit, in der richtigen Qualität und Menge am richtigen Ort zur Verfügung zu stellen. Während dieser Vorgang in der Logistik mit einer Optimierung der Anlieferung gleichzusetzen ist, erfordert das JIT-Prinzip in der Produktion eine grundsätzliche Umstellung des Ablaufs. Die Prozesse werden hierbei durch die Vorgängerprozesse ausgelöst, was als Pull-Prinzip bezeichnet wird (Dickmann 2009).

Für die Bewertung als Mustergenerierung wird der Kanban-Ansatz betrachtet, der eine Form der Just-in-time-Umsetzung darstellt (Ohno 2008). Kanban basiert auf der Idee die Fertigung mit der Hilfe von Kanban-Karten zu regeln. Es wird erkannt, welcher Prozessschritt welche Mengen an Material verbraucht, und als Reaktion wird der Schritt mit dieser Menge an Material durch den Vorgängersschritt versorgt. Hierbei treten die beiden Schritte in ein Lieferanten-Kunden-Verhältnis. Somit werden nur die Mengen produziert, die auch tatsächlich verbraucht werden (Erlach 2010). Die Kanban-Karten speichern dabei die Informationen, welches Material benötigt wird und geben die Produktionsaufträge frei.

Für die Bewertung werden drei Gruppen von Kanban-Regelungen unterschieden (siehe Abbildung 30):

- Produktions-Kanban
- Signal-Kanban
- Lieferanten-Kanban

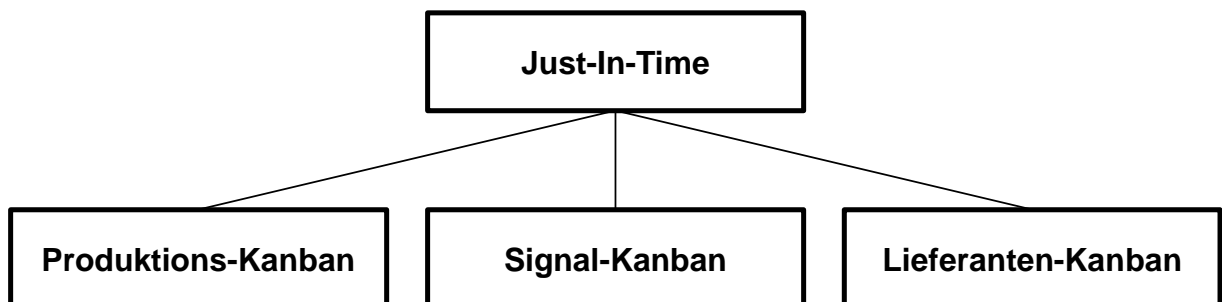


Abbildung 30: Kanban-Gruppen

Beim Produktions-Kanban existiert ein separates Lager zwischen dem liefernden und dem verbrauchenden Prozess. Der verbrauchende Prozess entnimmt Waren aus dem Lager und durch das Produktions-Kanban werden beim Lieferprozess die fehlenden Teile zur Produktion frei gegeben (siehe Abbildung 31). Um eine unproblematische Belieferung sicherzustellen, werden folgende Regeln angewendet (Erlach 2010):

1. Es wird nur produziert, wenn ein Produktions-Kanban vorliegt.
2. Die Reihenfolge der Produktion richtet sich an der Entnahme durch den verbrauchenden Prozess aus.
3. Jedes Kanban bezieht sich auf einen Behälter, der nur an festgelegten Plätzen abgestellt wird.

4. Transport von Material und Kanban erfolgt auf vorgegebenen Routen.
5. Die Anzahl der Karten im Umlauf ist regelmäßig zu überprüfen.

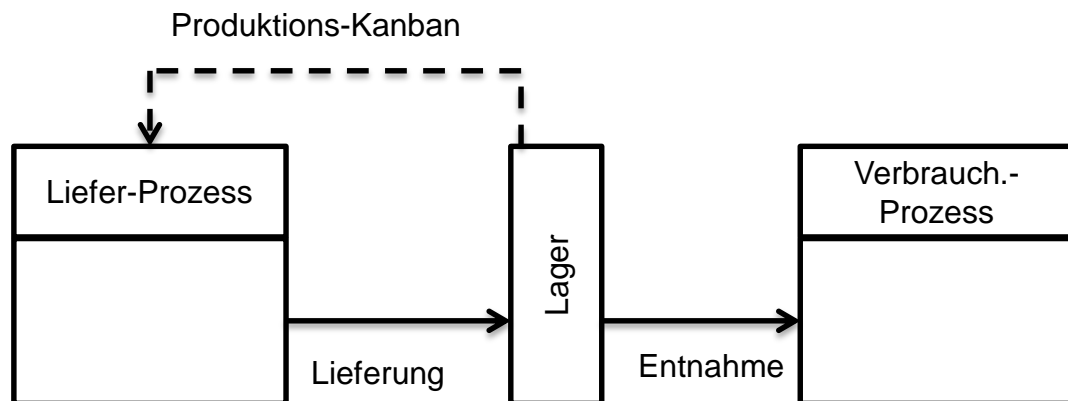


Abbildung 31: Produktions-Kanban (in Anlehnung an Erlach 2010)

Signal-Kanban wird angewendet, wenn die Menge der entnommenen Materialien stark von der Losgröße des liefernden Prozesses abweicht.

Während im Produktions-Kanban die Losgröße der zu produzierenden Teile durch die Höhe der Entnahme bestimmt wird, kann dies zu Problemen führen, wenn die optimale Losgröße des liefernden Prozesses deutlich höher als die entnommene Menge ist. Das hat zur Folge, dass entweder hohe Rüstkosten durch häufiges Umrüsten anfallen oder in zu hohen Mengen produziert wird. Signal-Kanban steuert in solchen Fällen die Sammlung mehrerer Produktionsaufträge, bevor sie dem Liefer-Prozess übergeben werden. Hierbei wird angestrebt, das optimale Verhältnis zwischen minimal möglicher Losgröße und einer maximalen Variantenvielfalt zu erreichen (Erlach 2010).

Das Lieferanten-Kanban verwaltet die externe Beschaffung von Material. Hierbei wird zwischen der auf Effizienz ausgelegten Beschaffung von nicht-kritischen Teilen am Markt und dem Aufbau einer Kooperation zur gleichmäßigen Versorgung unterschieden (Erlach 2010).

Die Kanban-Regelungen eignen sich nur eingeschränkt zur Verwendung als Optimierungsmuster (siehe Abbildung 32). Das Lieferanten-Kanban kann von einer Umsetzung ausgeschlossen werden, da primär ein Logistik-Ansatz verfolgt wird und die Fertigungsprozesse nur bedingt beeinflusst werden.

Produktions- und Signal-Kanban könnten potentiell umgesetzt werden. Es besteht die Möglichkeit, Lagerbestände zu verfolgen und die Freigabe von Aufträgen daran auszurichten. Jedoch verfolgt der Kanban-Ansatz viele Anforderungen, die sich auf das Verhalten der Mitarbeiter beziehen. Voraussetzungen zu Lagerung oder Transport von Material lassen sich sehr schwer durch Analyse der Prozesse optimieren. Somit eignen sich andere Optimierungsvorgehen (z.B. DBF, siehe Wertstrom-Management) zur Auftragsfreigabe außerhalb des JIT-Ansatzes.

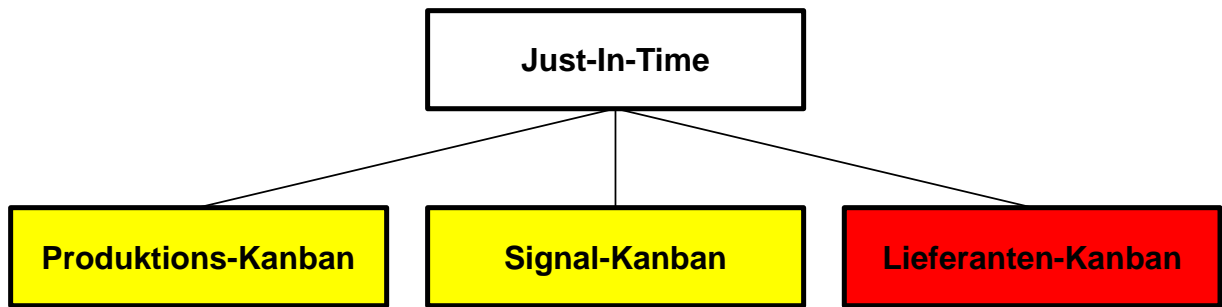


Abbildung 32: Bewertung: JIT

Wertstrom-Management

Die Wertstrommethode beschäftigt sich mit der Darstellung der Produktionsabläufe. Es werden Produktionsprozesse, Materialfluss sowie der Informationsfluss abgebildet, um als Grundlage für die Bewertung von Ist- und Sollzustand zu dienen. Hierbei werden die Bereiche Wertstromdesign und Wertstromanalyse unterschieden. Der Bereich der Wertstromanalyse befasst sich mit der Aufdeckung von Verbesserungsmöglichkeiten und Schwachstellen, das Wertstromdesign mit der Konzeption von Optimierungsmöglichkeiten und deren Umsetzung (Erlach 2010).

Wertstromanalyse

Die Wertstromanalyse verfolgt das Ziel, den aktuellen Zustand der Produktionsabläufe darzustellen. Es soll der Zusammenhang verschiedener Prozesse deutlich werden. Als Betrachtungswinkel wird die Sicht des Kunden eingenommen. Zusätzlich sollen Verbesserungsmöglichkeiten aufgedeckt werden (Erlach 2010).

Die Wertstromanalyse ist in vier Schritte eingeteilt (siehe Abbildung 33):

1. Die Produkte werden in Produktfamilien gegliedert.
2. Es wird eine Kundenbedarfsanalyse durchgeführt.
3. Der eigentliche Wertstrom wird aufgenommen.
4. Es werden Möglichkeiten für Verbesserungen erfasst.

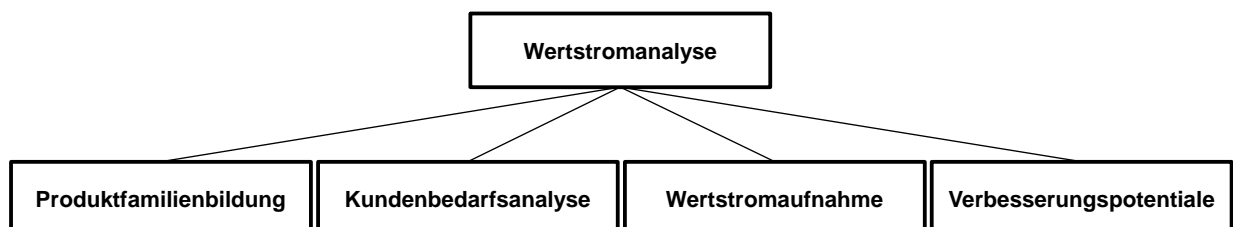


Abbildung 33: Schritte der Wertstromanalyse

Im ersten Schritt werden die hergestellten Produkte nach den Anforderungen der Produktion gegliedert. Diese Gliederung erfolgt in Form der Produktionsabläufe und wird zusätzlich untergliedert, bis die Anforderungen an die Betriebsmittel abgeleitet werden können. Mit dieser Vorgehensweise können Merkmale festgestellt werden, die verschiedene Produkte in der Herstellung teilen.

Im zweiten Schritt wird mit der Kundenbedarfsanalyse die durchschnittliche Auftragsmenge bestimmt, basierend auf vergangenen Aufträgen. Das Ziel hierbei ist es, Bedarfsschwankungen zu erkennen und Lösungsoptionen für erhöhte Nachfragemengen vorzubereiten. Diese können in z.B. in Form von Lagerhaltung oder Flexibilitätsmaßnahmen zur erhöhten Produktion bestehen.

Die Wertstromaufnahme beschreibt die eigentliche Ist-Analyse der Produktionssituation. Die Analyse umfasst eine Bewertung der Produktionsprozesse. Nicht betrachtet werden hierbei Transportzeiten, Lagergestaltung und der Informationsfluss bei Abwicklung der Aufträge.

Der Produktionsprozess wird dabei durch folgende Faktoren bewertet (Erlach 2010):

- Die Prozessqualität wird durch Kennzahlen für Gutasausbeute und Nacharbeitsquote bestimmt. Mit Hilfe der Kennzahlen wird der Aufwand deutlich, der aufgrund mangelhafter Ausbringungen zusätzlich zu den Kundenanforderungen erfüllt werden muss.
- Die Variantenflexibilität bezeichnet die Zeit, die benötigt wird, um alle Varianten zu produzieren, einschließlich Rüst- und Wartezeiten. Dadurch wird gezeigt, wie flexibel auf Anforderungsänderungen reagiert werden kann.
- Die Leistungsfähigkeit des Prozesses wird in Form der Zykluszeit angegeben. Durch Bewertung der Ausbringungsmenge bei kontinuierlichem Betrieb kann vorhergesagt werden, welche Anforderungen erreicht werden können. Die Zykluszeit wird mit der produktiven Zeit verglichen, die erreicht wird, wenn Rüstzeiten, Störungen und Stillstände miteinbezogen werden. Mit diesem Vorgehen können problematische Aktivitäten aufgezeigt werden.
- Zudem wird eine optimale Losgröße im Verhältnis zu Rüst- und Lagerkosten errechnet, um den Bereich aufzuzeigen, der für eine rentable Produktion zu empfehlen ist.

Im letzten Schritt werden Verbesserungspotentiale für die Durchlaufzeit der Produktion sowie der Taktabstimmung hervorgehoben.

- Bei Betrachtung der Durchlaufzeit im Verhältnis zur geplanten Produktionsdauer werden Engpässe oder lange Übergangszeiten zwischen Produktionsschritten aufgezeigt, wodurch Möglichkeiten zur Verkürzung entstehen können.
- Die Taktabstimmung zeigt Potentiale bei der Abstimmung der Leistungsfähigkeit der Prozesse auf die Kundenanforderungen auf.

Bewertung: Wertstromanalyse

Die Wertstromanalyse bietet eine Grundlage um Fertigungsprozesse automatisiert zu bewerten, wobei der Fokus auf der eigentlichen Prozessbewertung liegt (siehe Abbildung 34):

- Durch die Produktfamilienbildung kann voraussichtlich kein Mehrwert an Informationen erzeugt werden, da bestehende Informationen nur neu gegliedert werden.
- Die Kundenbedarfsanalyse benötigt eine Ausweitung der Datenbasis, um die Informationen zum Kundenverhalten zu verwerten. Hierbei wird noch kein direkter Nutzen erzeugt, allerdings können die Werte für die Ausarbeitung von Verbesserungspotentialen verwendet werden.

- Die Wertstromaufnahme eignet sich, um in Form einer Ist-Analyse Prozesse zu identifizieren, die in Form einer Optimierung genauer betrachtet werden sollten. Die Analyse basiert auf Daten die bereits in der AdMA-Plattform verfügbar sind und liefert Aussagen über den Prozesszustand, ohne dass aufwendige Bearbeitungsschritte notwendig sind.
- In der Phase der Verbesserungsanalyse werden Schwachstellen im Prozess wie z.B. Engpässe aufgezeigt. Jedoch wird dieses Vorgehen bereits von anderen Optimierungsansätzen (z.B. Drum-Buffer-Rope) ausführlicher abgedeckt, weshalb die Verbesserungspotentiale hier nicht weiter ausgeführt werden.

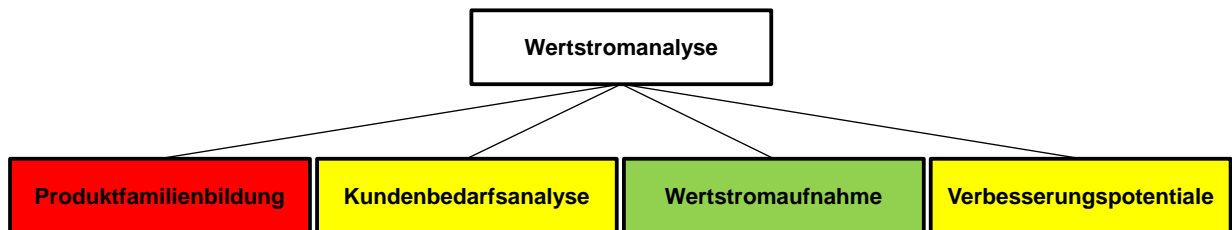


Abbildung 34: Bewertung: Wertstromanalyse

Wertstromdesign

Das Wertstromdesign bietet, aufbauend auf der Wertstromanalyse, Ansätze um die Fertigungsprozesse effizienter zu gestalten. Hierfür werden folgende Schritte (siehe Abbildung 35) betrachtet (Erlach 2010):

1. In der Produktionsstrukturierung werden die Materialflüsse neu angeordnet.
2. Im Schritt der Prozessgestaltung werden die Kapazitäten an Betriebsmitteln neu dimensioniert und Möglichkeiten der Integration von Prozessen betrachtet.
3. Es wird die Einführung neuer Steuerungsprinzipien für die Prozesse betrachtet.
4. Optimierungsmöglichkeiten der Produktionsplanung werden bewertet.
5. Die Umsetzung der Ansätze spielt jedoch für Mustergenerierung keine relevante Rolle.

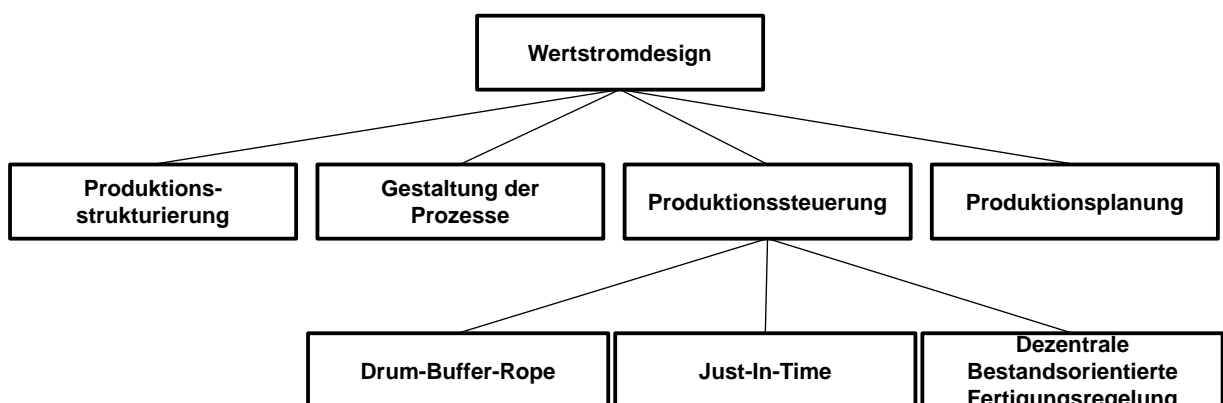


Abbildung 35: Schritt des Wertstromdesigns

Die Produktionsstrukturierung beschreibt eine Neuordnung der Materialflüsse. Hierfür werden die Abläufe zunächst entweder nach den erforderlichen Ressourcen oder nach dem Ablauf der Produktion sortiert und im zweiten Schritt zusätzlich in Geschäftstypen gegliedert, die durch Faktoren wie Marktnachfrage und Marktstrategie

definiert werden. Das ermöglicht eine detaillierte Segmentierung und dient als Grundlage der Zuweisung der vorhandenen Ressourcen.

In der nächsten Phase wird eine Umgestaltung der Prozesse betrachtet, indem zunächst eine Abstimmung der Prozesse auf Basis der Zykluszeit vorgenommen wird. Die Vorgehensweise basiert auf den gesammelten Informationen im Zuge der Kundenbedarfsanalyse und der Wertstromaufnahme. Im folgenden Schritt werden Möglichkeiten erfasst, um Prozesse zusammenzufassen und eine kontinuierliche Fließfertigung zu erreichen. Neben Maßnahmen zur Taktabstimmung - eine Möglichkeit zur Taktabstimmung ist das im TOC-Bereich erklärte Drum-Buffer-Rope-Vorgehen - wird eine Bewertung der räumlichen Anordnung der Arbeitsplätze vorgenommen.

Für die Phase der Produktionssteuerung werden Möglichkeiten zur Freigabe von Aufträgen betrachtet. Andere Möglichkeiten der Steuerung wurden bereits im Zuge der Beschreibung anderer Vorgehensweisen beschrieben. Darunter fallen die Kanban-Steuerung (Just-in-Time) und die Steuerung mit Hilfe von Schrittmachern (Drum-Buffer-Rope).

Die Dezentrale Bestandsorientierte Fertigungsregelung (DBF) verwaltet die Freigabe von Aufträgen für die einzelnen Prozessschritte und wird auf Basis von Lödning 2008 beschrieben. Das Ziel ist es, eine definierte Bestandshöhe vor jedem Prozessschritt einzuhalten und Bestandsschwankungen innerhalb des Prozesses zu vermeiden. Das Vorgehen ist in vier Schritte gegliedert:

1. Bevor an einem Arbeitssystem (Prozessschritt) ein Auftrag bearbeitet wird, wird beim darauf folgenden Schritt eine Bearbeitungsfreigabe eingeholt.
2. Der Mitarbeiter am nachfolgenden Arbeitssystem entscheidet über die Freigabe unter Berücksichtigung der noch anstehenden Aufträge. Hierfür werden direkt ausführbare Aufträge, sowie Aufträge die aktuell von einem vorhergehenden Schritt bearbeitet werden betrachtet. Überschreitet die Anzahl an Aufträgen eine definierte Bestandsgrenze, wird die Freigabe verweigert, ansonsten erhält der Vorgängerschritt die Freigabe.
3. Wurde die Freigabe erteilt, wird der Auftrag ausgeführt. Falls der Auftrag nicht freigegeben wurde, wird für einen weiteren Auftrag die Freigabe eingeholt.
4. Wurde ein Auftrag abgeschlossen und als Folge die Bestandsgrenze unterschritten, werden Aufträge, die zuvor abgelehnt wurden, freigegeben.

Das DBF-Vorgehen eignet sich zur Umsetzung als Optimierungsmuster, da es durch eine Automatisierung verbessert werden kann.

Attribut	Attributausprägung			
Optimierungshorizont	Ex-ante	Echtzeit	Ex-post	
Optimierungsebene	Gestaltung	Planung	Steuerung	Ausführung
Optimierungsfokus	Prozess	Fertigungsschritt	Ressource	
Anwendungsfeld	Klassischer Massenfertiger	Serienfertiger mit Fließproduktion	Serienfertiger mit Gruppenproduktion	
Zieldimension	Zeit	Qualität	Wirtschaftlichkeit	Variabilität
Datengrundlage	Operative Daten	Prozessbezogene Daten	(zusätzlich) Plandaten	
Automatisierungsgrad	Empfehlung	Anpassung der Parameter	Umstrukturierung des Prozesses	

Tabelle 3: Dezentrale Bestandsorientierte Fertigungsregelung: Attribute

Das Muster wird für eine Anwendung in Echtzeit erstellt (siehe Tabelle 3) und arbeitet prozessübergreifend. Das Anwendungsfeld ist hierbei primär die Gruppenproduktion, da der Verbesserungseffekt erzielt wird, wenn verschiedene Aufträge ausgeführt werden, die im Ablauf variieren. Es werden Kosten gespart indem die Umlaufbestände reduziert werden. Zudem wird die Flexibilität erhöht, da besser auf Anforderungsänderungen reagiert werden kann. Die Auftragsfreigabe wird in Form einer Freigabemittlung an den Mitarbeiter dargestellt.

Mustererkennung: Um einen Anwendungsfall zu identifizieren, wird die Entwicklung der Umlaufbestände ausgewertet. Entstehen vor einzelnen Prozessschritten große Bestandsanhäufungen und Wartezeiten, kann die Anwendung des DBF-Musters in Betracht gezogen werden.

Musteranwendung: Wurde ein Anwendungsfall identifiziert, kann die Freigabe der Aufträge übernommen werden. Dafür wird für jeden Prozessschritt die Bestandsgrenze errechnet (mehr dazu in Lödding 2008) und die Entscheidungen zur Auftragsfreigabe ausgeführt, ohne dass Anfragen zwischen den Schritten gesendet werden müssen. Zudem kann besser auf Änderungen reagiert werden, z.B. wenn die Priorität eines Auftrags erhöht wird.

Die letzte Phase des Wertstromdesigns ist die Produktionsplanung. Hierbei werden Planungsmaßnahmen beschrieben, um Engpässe zu vermeiden und auf Auftragschwankungen zu reagieren, z.B. durch eine gemischte Ausführung der vorhandenen Aufträge. Der Planungsansatz wird für eine Umsetzung nicht weiter verfolgt.

Bewertung: Wertstromdesign

Aus dem Bereich des Wertstromdesigns liefert nur die Produktionssteuerung Ansätze für eine Umsetzung (siehe Abbildung 36):

- Die Gliederungsmaßnahmen der Produktionsstrukturierung liefern keinen Mehrwert für einen Optimierungsansatz.
- Die Prozessgestaltung bietet Ansätze, um vorhandene Prozesse neu aufzubauen. Jedoch würde eine Umsetzung der Umgestaltungsmaßnahmen in den Bereichen Analyse und Umsetzung großen Aufwand erfordern, da keine konkreten Maßnahmen zur Orientierung gegeben sind. Auch eine Reorganisation der räumlichen Anordnung ist nicht auszuschließen, wird jedoch nicht weiter betrachtet.
- Der DBF-Ansatz der Produktionssteuerung kann in der beschriebenen Form für eine Umsetzung betrachtet werden.
- Die Produktionsplanung liefert keine Ansätze, die nicht bereits durch alternative Vorgehen abgedeckt werden.

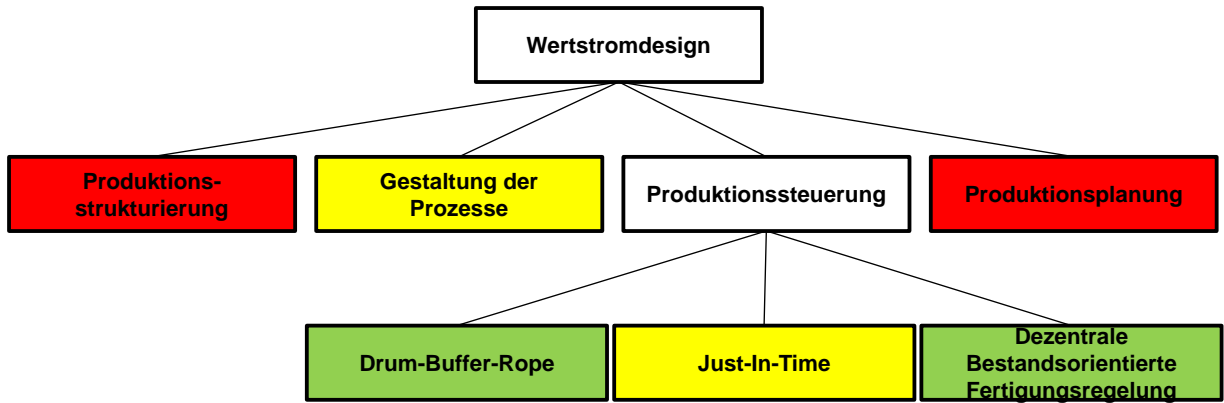


Abbildung 36: Bewertung: Wertstromdesign

Bewertung: Lean Production

Aus den Komponenten der Lean Production ergeben sich mehrere Anwendungsmöglichkeiten (siehe Abbildung 37). Während sich Total Productive Maintenance durch den Fokus auf Verhalten und Vorbeugung nicht für eine Umsetzung eignet, lassen sich Ansätze von Rüstzeitreduzierung und Just-In-Time eingeschränkt umsetzen. Das größte Potential bietet das Wertstrommanagement, bei dem der Fokus der Umsetzung auf der Wertstromaufnahme sowie auf der Produktionssteuerung liegen sollte.

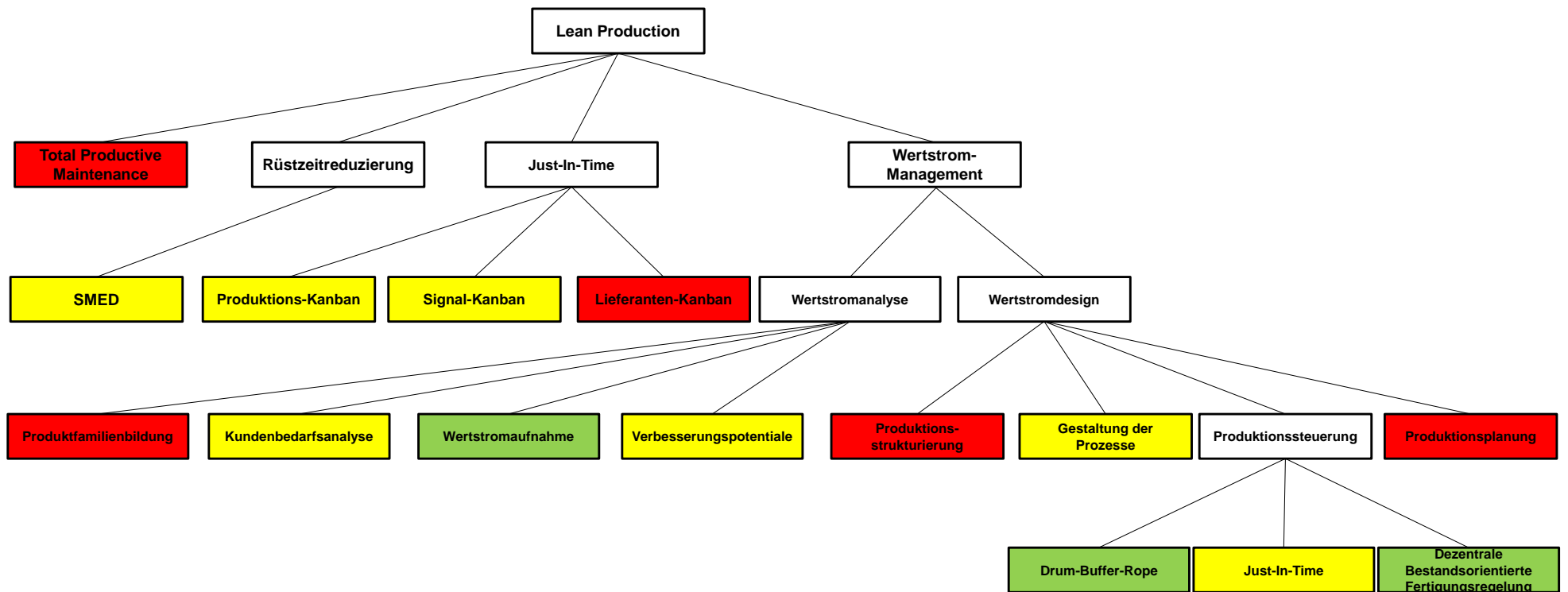


Abbildung 37: Bewertung: Lean Production

4.3 Workflowgetriebene Ansätze

Während bei der Betrachtung der produktionsgetriebenen Ansätze eine direkte Umsetzung der Produktionsoptimierungen bewertet wurde, beschreiben workflowgetriebene Ansätze Optimierungsmöglichkeiten für Informationsprozesse. Ziel des Kapitels ist es, die Optimierungsansätze auf ihre Anwendungsmöglichkeiten im Fertigungskontext zu bewerten und mögliche Umsetzungen als Optimierungsmuster aufzuführen.

Die Auswahl der betrachteten Ansätze basiert auf dem Katalog der Optimierungsmuster der dBOP-Plattform (Niedermann et al. 2011b). Es werden Ansätze aus den Kategorien Zusammensetzung von Informationsprozessen, Reihenfolge der Prozessschritte, Ablaufsteuerung und Verwaltung von Ressourcen aufgeführt (siehe Abbildung 38).

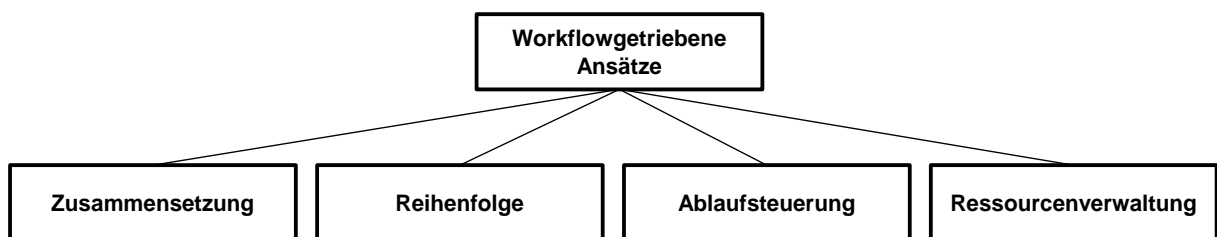


Abbildung 38: Übersicht workflowgetriebene Ansätze

4.3.1 Zusammensetzung von Informationsprozessen

Bei der Betrachtung der Zusammensetzung von Prozessen liegt der Fokus auf der Bewertung von Prozessschritten und deren Aufteilung in Teilschritte, wofür folgende Ansätze betrachtet werden:

- Prozessschritte eliminieren
- Prozessschritte zerlegen
- Prozessschritte zusammenführen

Prozessschritte eliminieren

Mit dem Ziel Prozesse zu vereinfachen und die Durchlaufzeit zu erhöhen, werden Prozessschritte auf Basis ihrer erbrachten Leistung bewertet. Hierfür wird betrachtet, ob der Prozessschritt das Ergebnis direkt oder indirekt unterstützt, ob er eine Auswirkung auf andere Prozessschritte hat oder ob er aus gesetzlichen Gründen erforderlich ist (Best 2009). Ist das nicht der Fall, wird der Prozessschritt eliminiert.

Für eine Umsetzung als Optimierungsmuster für Fertigungsprozesse eignet sich der Ansatz nur sehr eingeschränkt. Um eine automatische Erkennung von Prozessschritten anhand der genannten Kriterien zu ermöglichen, müsste eine detaillierte Anreicherung der beschreibenden Informationen erfolgen, wobei die eigentliche Identifikation keinen Aufwand darstellen würde. Somit wäre die Vorbereitung der Auswahl zu aufwendig, um eine Umsetzung als Optimierungsverfahren zu rechtfertigen.

Prozessschritte zerlegen

Bei diesem Ansatz werden Prozessschritte in weitere Teilschritte zerlegt, ohne dass der eigentliche Prozessablauf beeinflusst wird (van der Aalst/van Hee 2004).

Da durch das Vorgehen kein direkter Nutzen erzielt wird, wird es nicht für eine Umsetzung als Optimierungsmuster verwendet. Es kann jedoch in Kombination mit anderen Optimierungsvorgängen (z.B. Parallelisierung, siehe Kapitel 4.3.2) eingesetzt werden.

Prozessschritte zusammenführen

Die Zusammenführung von Prozessschritten stellt das Gegenstück zur Zerlegung dar, da hierbei mehrere Teilschritte zu einem Prozessschritt zusammengeführt werden.

Während eine Zusammenführung von Aktivitäten bei Informationsflüssen z.B. einen Einfluss auf die Kosten haben kann (Dewan et al. 1998), lässt sich dieser Einfluss nicht auf Fertigungsprozesse übertragen. Somit wird die Aktivität für eine Umsetzung nicht betrachtet.

Bewertung: Zusammensetzung von Informationsprozessen

Die Ansätze aus der Kategorie der Zusammensetzung werden somit nicht als potentielle Optimierungsmuster betrachtet (siehe Abbildung 39). Einzig der Ansatz zur Zerlegung von Prozessschritten könnte in Kombination mit anderen Optimierungsmustern verwendet werden.

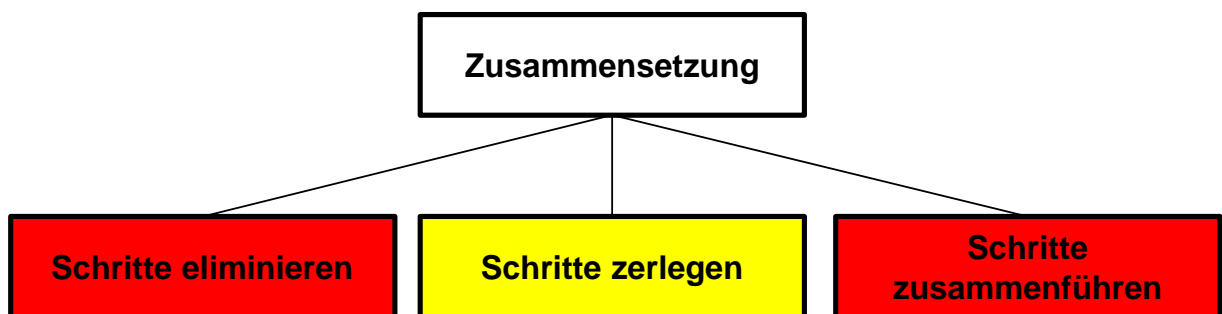


Abbildung 39: Bewertung: Zusammensetzung von Informationsprozessen

4.3.2 Reihenfolge der Prozessschritte

In diesem Abschnitt werden Konzepte untersucht, welche die Ausführungsreihenfolge von Prozessschritten beeinflussen. Es werden die Ansätze der Parallelisierung, der Sequenzierung sowie des vorgezogenen Prozessabbruchs betrachtet.

Parallelisierung

Das Ziel der Parallelisierung ist die simultane Ausführung von Schritten, die nicht voneinander abhängig sind, um die Laufzeit des Prozesses zu reduzieren (van der Aalst 2001).

Die Parallelisierung wird auch zur Optimierung von Fertigungsprozessen eingesetzt (Becker 2008) und eignet sich für die Umsetzung als Optimierungsmuster.

Attribut	Attributausprägung			
Optimierungshorizont	Ex-ante	Echtzeit	Ex-post	
Optimierungsebene	Gestaltung	Planung	Steuerung	Ausführung
Optimierungsfokus	Prozess	Fertigungsschritt	Ressource	
Anwendungsfeld	Klassischer Massenfertiger	Serienfertiger mit Fließproduktion	Serienfertiger mit Gruppenproduktion	
Zieldimension	Zeit	Qualität	Wirtschaftlichkeit	Variabilität
Datengrundlage	Operative Daten	Prozessbezogene Daten	(zusätzlich) Plandaten	
Automatisierungsgrad	Empfehlung	Anpassung der Parameter	Umstrukturierung des Prozesses	

Tabelle 4: Muster Parallelisieren: Attribute

Tabelle 4 kennzeichnet die Ausprägungen des Musters. Es wird Ex-post angewendet und stellt eine prozessübergreifende Umgestaltung dar. Das Muster kann auf alle betrachteten Felder angewendet werden. Das primäre Ziel ist die Reduzierung der Durchlaufzeit, jedoch können höhere Kosten entstehen, wenn für die parallele Ausführung zusätzliche Ressourcen (z.B. weitere Mitarbeiter) benötigt werden, was sich auch negativ auf die Flexibilität auswirken kann. Als Grundlage wird das aktuelle Prozessmodell betrachtet.

Mustererkennung: Für die Parallelisierung werden Prozessschritte identifiziert, die in einer Sequenz angeordnet sind, in ihren Ausführungsvoraussetzungen jedoch unabhängig voneinander sind. So können beispielsweise Vorbereitungen für einen Prozessschritt bereits durchgeführt werden, während der vorhergehende Schritt noch ausgeführt wird.

Musteranwendung: Für die Anwendung des Musters wird der Prozess neu angeordnet. Es wird festgelegt, an welchen Stellen der Prozessfluss parallelisiert und wieder zusammengeführt wird. Auch das Hinzufügen von zusätzlichen Ressourcen, falls diese für die intensivere Ausführung benötigt werden, ist ein Teil der Anwendung.

Sequenzierung

Der Ansatz der Sequenzierung steht gegensätzlich zur Parallelisierung. Es werden parallel ausgeführte Prozessschritte in eine Reihenfolge gesetzt (Georgakopoulos et al. 1995). Dadurch können Ressourcen, die zur parallelen Ausführung benötigt werden, freigesetzt werden, jedoch erhöht sich die Durchlaufzeit des Prozesses. Eine Umsetzung der Sequenzierung als Optimierungsmuster ist möglich, wird jedoch nicht weiter verfolgt, u.a. da die Anwendungsmöglichkeiten begrenzt sind.

Vorgezogener Prozessabbruch

Der Ansatz identifiziert Prozessschritte, die ein Abbruchkriterium beinhalten und verlagert die Schritte so weit wie möglich an den Anfang des Prozesses. Dadurch wird vermieden, dass ein Prozess unnötig fortgesetzt wird (van der Aalst 2001). Somit können Zeit sowie Kosten für überflüssige Schritte eingespart werden.

Dieses Vorgehen lässt sich auch auf den Fertigungskontext anwenden und bietet sich für Umsetzung als Optimierungsmuster an. So können z.B. Maßnahmen der Qualitätsprüfung vorverlagert werden, wenn spätere Schritte das Ergebnis nicht beeinflussen.

Attribut	Attributausprägung			
Optimierungshorizont	Ex-ante	Echtzeit	Ex-post	
Optimierungsebene	Gestaltung	Planung	Steuerung	Ausführung
Optimierungsfokus	Prozess	Fertigungsschritt	Ressource	
Anwendungsfeld	Klassischer Massenfertiger	Serienfertiger mit Fließproduktion	Serienfertiger mit Gruppenproduktion	
Zieldimension	Zeit	Qualität	Wirtschaftlichkeit	Variabilität
Datengrundlage	Operative Daten	Prozessbezogene Daten	(zusätzlich) Plandaten	
Automatisierungsgrad	Empfehlung	Anpassung der Parameter	Umstrukturierung des Prozess	

Tabelle 5: Muster Vorgezogener Prozessabbruch: Attribute

Die Attributausprägungen des Musters sind vergleichbar mit den Attributen der Parallelisierung, da beide den Ablauf des Prozesses anhand der Prozessdaten beeinflussen. Einzig die Zieldimension weicht ab, da beim vorgezogenen Prozessabbruch Zeit und Kosten gespart werden können, ohne dass ein Nachteil auftritt.

Mustererkennung: Für die Erkennung werden die Schritte mit Abbruchkriterien identifiziert. Es wird betrachtet, welche Bedingungen für einen Abbruch erfüllt sein müssen, wann diese Bedingungen im Prozessablauf frühestens erfüllt sind und ob weitere Prozessschritte zwischen Erfüllung und Abbruch angeordnet sind. Ist das der Fall, kann der Schritt vorverlagert werden.

Musteranwendung: Sind die Bedingungen für eine Verlagerung des Abbruchs erfüllt, wird der Schritt so weit wie möglich an den Anfang des Prozesses eingefügt. Somit wird er ausgeführt, sobald die Bedingungen für die Abbruchprüfung erfüllt sind.

Bewertung: Reihenfolge der Prozessschritte

Die Ansätze zur Ausführungsreihenfolge der Prozessschritte eignen sich zur Umsetzung als Optimierungsmuster (siehe Abbildung 40), primär die Parallelisierung und der vorgezogene Prozessabbruch.

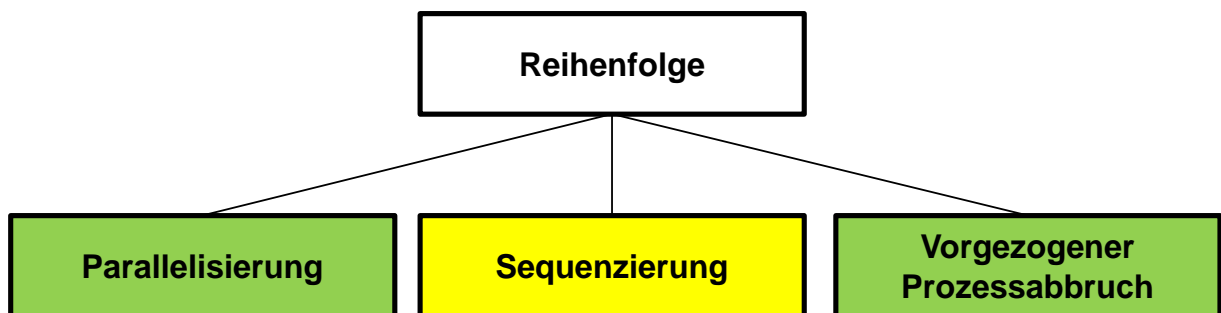


Abbildung 40: Bewertung: Reihenfolge der Prozessschritte

4.3.3 Ablaufsteuerung

In der Kategorie der Steuerung von Prozessen wird das Konzept des eingefügten Prozessabbruchs betrachtet. Hierbei handelt es sich um ein Vorgehen, das bei einem voraussichtlich schlechten Ausgang einer Prozessinstanz die Instanz vorzeitig abbricht (van der Aalst 2001).

Die AdMA-Plattform bietet die Möglichkeit, eine Voraussage zum Ausgang einer Prozessinstanz mit Hilfe von Echtzeitprognostik durchzuführen (siehe Kapitel 3.4.2). Der Abbruch, oder eine Abbruchempfehlung, wäre in diesem Rahmen umsetzbar. Jedoch hätte ein Prozessabbruch im Fertigungskontext deutlich größere Auswirkungen, so dass auf Basis der Vorhersage ein Muster zur Korrektur der Prozessinstanz verfolgt wird und das Konzept des eingefügten Abbruchs nicht für eine Umsetzung empfohlen wird (siehe Abbildung 38). Das Muster wird in Kapitel 4.4 detailliert vorgestellt.

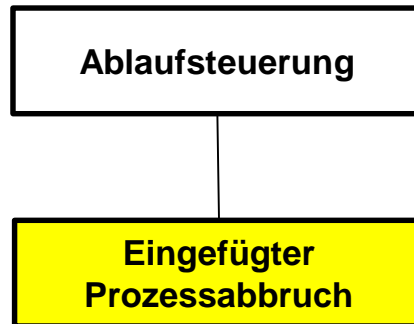


Abbildung 41: Bewertung: Ablaufsteuerung

4.3.4 Ressourcenverwaltung

Für den Ablauf der Ressourcenverwaltung wird das Konzept der Zuweisung von Ressourcen, basierend auf Niedermann et al. 2011a, für eine Umsetzung betrachtet.

Das Konzept erreicht eine verbesserte Auswahl der benötigten Ressourcen für einen Prozessschritt, wobei die Ausführung des Prozesses über ein Business Process Management System (BPMS) als Grundlage genommen wird. Bei dieser Auswahl werden die Anforderungen an eine benötigte Ressource festgestellt, die in den meisten Fällen aus Kombination von einem Typ (z.B. eine Maschine oder ein Mitarbeiter) und einer zugewiesenen Rolle bestehen. Aus der Menge der zur Verfügung stehenden Ressourcen wird daraufhin eine Ressource ausgewählt, welche die Anforderungen erfüllt. Die Auswahl kann manuell oder zufällig erfolgen. Eine optimale Auswahl ist hierbei nicht sichergestellt, da keine Informationen über die Leistung der Ressource berücksichtigt werden (Niedermann et al. 2011a).

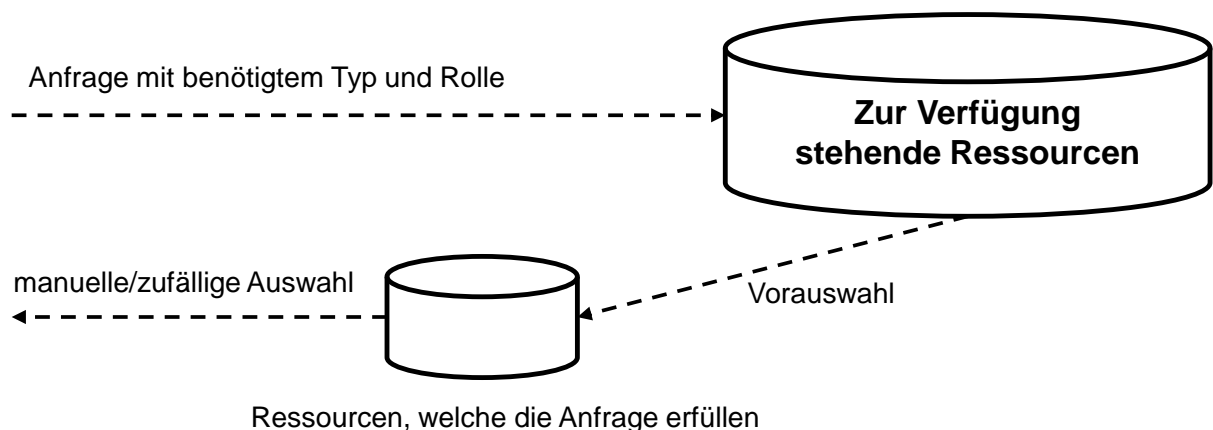


Abbildung 42: Klassische Ressourcenauswahl (in Anlehnung an Niedermann et al. 2011a)

Als Alternative wird ein Ansatz vorgestellt, der die Ressourcenauswahl optimiert. Nachdem die Ressourcen ausgewählt wurden, die Typ und Rolle erfüllen, wird eine Vorhersage über die zu erwartende Leistung der Ressource in dem entsprechenden Umfeld generiert. Diese Vorhersage basiert auf den Ausführungsdaten durchgeführter Prozessinstanzen. Für die Auswahl werden zusätzlich die Parameter der Zielfunktion der Optimierung, die parallele Verwendungsmöglichkeit einer Ressource von mehreren Prozessen und die verwendete Datengrundlage betrachtet.

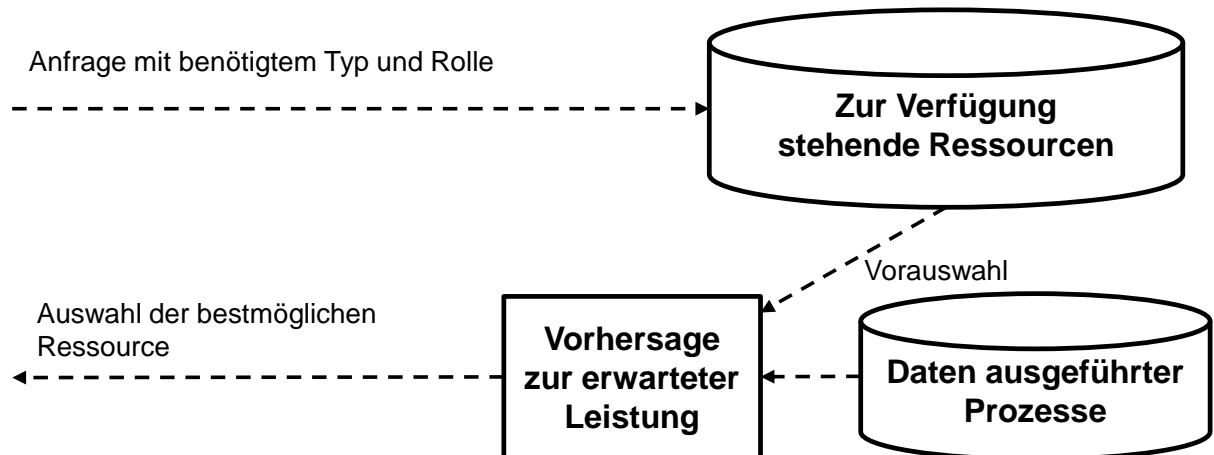


Abbildung 43: Verbesserte Ressourcenauswahl (in Anlehnung an Niedermann et al. 2011a)

Das beschriebene Konzept bietet sich für eine Umsetzung als Optimierungsmuster im Fertigungskontext an. Die Auswahl der Ressourcen wird hierfür auf physische Ressourcen wie z.B. Maschinen, Personen oder Betriebsmittel beschränkt.

Attribut	Attributausprägung			
	Ex-ante	Echtzeit	Ex-post	
Optimierungshorizont	Gestaltung	Planung	Steuerung	Ausführung
Optimierungsebene	Prozess	Fertigungsschritt	Ressource	
Optimierungsfokus	Klassischer Massenfertiger	Serienfertiger mit Fließproduktion	Serienfertiger mit Gruppenproduktion	
Anwendungsfeld	Zeit	Qualität	Wirtschaftlichkeit	Variabilität
Zieldimension	Operative Daten	Prozessbezogene Daten	(zusätzlich) Plandaten	
Datengrundlage	Empfehlung	Anpassung der Parameter	Umstrukturierung des Prozesses	
Automatisierungsgrad				

Tabelle 6: Muster Ressourcenzuweisung: Attribute

Die Attribute für das Optimierungsmuster sind dabei folgendermaßen festgelegt (siehe Tabelle 6):

- Die Ressourcenauswahl bezieht sich auf anstehende Instanzen des Prozesses, basiert allerdings auf bereits ausgeführten Prozessinstanzen.
- Die Prozessinstanz wird auf Steuerungsebene optimiert und befasst sich mit der Zuweisung von Ressourcen.
- Das Muster kann auf alle Felder angewendet werden, solange eine ausreichende Datenmenge aus ausgeführten Instanzen zur Verfügung steht.
- Jede Zieldimension kann als zu optimierender Parameter gewählt werden, wobei verschiedene Dimensionen in einem Konflikt zueinander stehen können. So

ist es möglich, die Ressource zu wählen, die in der Vergangenheit die schnellstmögliche Ausführung des Prozesses erzielt hat, gleiches gilt für die Ausbringungsqualität oder angefallene Kosten (z.B. durch abweichenden Verbrauch zwei zur Auswahl stehender Maschinen). Die Variabilität kann beeinflusst werden, indem Ressourcen eingesetzt werden, die keinen anderen Verwendungszweck erfüllen, um somit den möglichen Einsatzgrad der freigewordenen Ressourcen zu erhöhen.

- Es werden sowohl operative Daten als auch prozessbezogene Daten verwertet. Die operativen Daten liefern die vergangenen Prozessausführungen. Die Typ- und Rolleneinschränkungen an die Ressourcen werden aus den prozessbezogenen Daten entnommen.
- Die Ressourcenauswahl stellt eine Anpassung der Parameter dar.

Mustererkennung: Das Optimierungsmuster besitzt kein Verfahren zur fallbezogenen Erkennung, vielmehr nimmt es eine Rolle mit dauerhafter Ausführung ein. Somit kann es zur konstanten Ressourcenzuweisung eingesetzt werden oder nur für die Zuweisung in ausgewählten Prozessinstanzen agieren.

Musterausführung: Die Ausführung des Musters lässt sich in drei Schritte aufteilen:

1. Es wird festgestellt, welche Typ- und Rolleneinschränkungen bestehen und welche Ressourcen als Folge darauf in Betracht gezogen werden können. Die Eigenschaften der Ressourcen bestehen bereits in der aktuellen Datengrundlage. Die detaillierten Typ- und Rollenanforderungen müssen, wenn sie für den betrachteten Anwendungsfall noch nicht abgebildet werden, zusätzlich aufgenommen werden. Daraufhin kann die grundlegende Auswahl der Ressourcen ausgeführt werden.
2. Die Vorhersage für die Auswirkung der in Frage kommenden Ressourcen wird ausgeführt. Als Grundlage dient die Datenmenge der bereits ausgeführten Prozessinstanzen. Die Auswahl wird dabei auf Instanzen beschränkt, welche die gleichen Attribute wie die auszuführende Instanz besitzen und die in Frage kommenden Ressourcen eingesetzt haben.
Die Vorhersage wird für die Zieldimension erstellt, die optimiert werden soll.
3. Es wird die Ressource ausgewählt, für die das beste Ergebnis erwartet wird und der Prozessinstanz zugewiesen.

4.4 Dynamische Muster

Dynamische Muster stellen Optimierungsvorgänge dar, die auf Ergebnissen der Analyseschicht der AdMA-Plattform aufsetzen. Das umfasst z.B. Vorgänge, die durch Erkenntnisse von Data-Mining-Vorgängen angestoßen werden oder auf Auswertung vergangener Prozessausführungen basieren.

Proaktive Handlungsoptimierung

Der Ansatz generiert Handlungsempfehlungen bezüglich der Auswahl der Prozessparameter. Durch Real-Time-Prediction werden Prozessinstanzen identifiziert, die sich in der Ausführung befinden und ihre Vorgaben voraussichtlich nicht erfüllen werden. Auf Basis ausgeführter Prozessinstanzen werden daraufhin Empfehlungen generiert, um das Prozessergebnis zu korrigieren und die Abweichung zu vermeiden.

Attribut	Attributausprägung			
Optimierungshorizont	Ex-ante	Echtzeit	Ex-post	
Optimierungsebene	Gestaltung	Planung	Steuerung	Ausführung
Optimierungsfokus	Prozess	Fertigungsschritt	Ressource	
Anwendungsfeld	Klassischer Massenfertiger	Serienfertiger mit Fließproduktion	Serienfertiger mit Gruppenproduktion	
Zieldimension	Zeit	Qualität	Wirtschaftlichkeit	Variabilität
Datengrundlage	Operative Daten	Prozessbezogene Daten	(zusätzlich) Plandaten	
Automatisierungsgrad	Empfehlung	Anpassung der Parameter	Umstrukturierung des Prozesses	

Tabelle 7: Muster Proaktive Optimierung: Attribute

Für das Muster wird eine Optimierung der Prozessinstanzen vorgenommen, die sich in der Ausführung befinden (siehe Tabelle 7). Es werden jeweils einzelne Fertigungsschritte betrachtet. Um einen Optimierungseffekt zu erzielen, muss eine Beeinflussung der Parameter möglich sein. Dies kann in Form von Maschineneinstellungen, aber auch als Betriebsmittelauswahl auftreten.

Das zu optimierende Ziel wird zu Beginn festgelegt, so ist es z.B. möglich, die Durchlaufzeit zu beeinflussen oder aber den qualitativen Ausschuss zu steuern. Jede Beeinflussung hat allerdings Einfluss auf die Flexibilität des Prozesses, da Einstellungen und Ressourcen zusätzlich eingeschränkt werden.

Die Optimierung basiert auf ausgeführten Prozessinstanzen und wird dem Anwender als Empfehlung präsentiert.

In Kapitel 5 wird die Erkennung und Anwendung des Musters detailliert beschrieben.

4.5 Bewertung des Rahmenwerks

Das Rahmenwerk zur musterbasierten Optimierung fasst die Erkenntnisse des Kapitels zusammen (siehe Abbildung 44 und Abbildung 45). Es bestehen Umsetzungsmöglichkeiten in allen drei betrachteten Kategorien. Die produktionsgetriebenen Ansätze werden am häufigsten von einer Umsetzung ausgeschlossen, da die empfohlenen Ausführungen oft über den Fertigungskontext hinausgehen und Aktivitäten vorschlagen, die sich im Rahmen der AdMA-Plattform nicht abbilden lassen.

Die Ansätze aus dem Workflow-Kontext bieten das größte Potential, um Vorgehen zu übernehmen. Der Grund, der zum Ausschluss nicht empfohlener Muster geführt hat, war in den meisten Fällen die fehlende Verwendbarkeit im Fertigungsbereich.

Da nur ein dynamisches Muster betrachtet wurde, besteht hier der größte Erweiterungsraum, um die Analysefähigkeit der AdMA-Plattform sinnvoll einzusetzen.

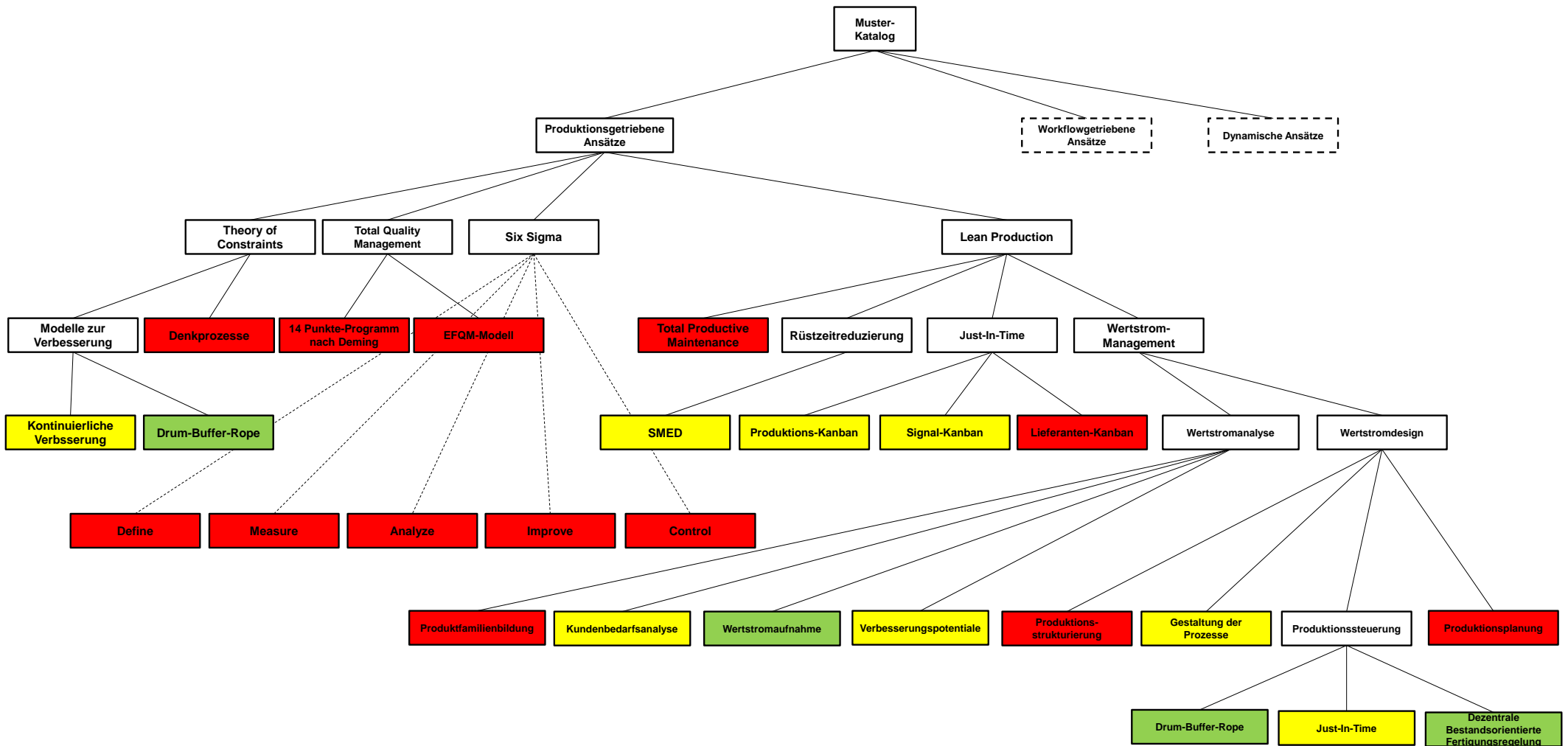


Abbildung 44: Produktionsgetriebene Ansätze des Musterkatalogs

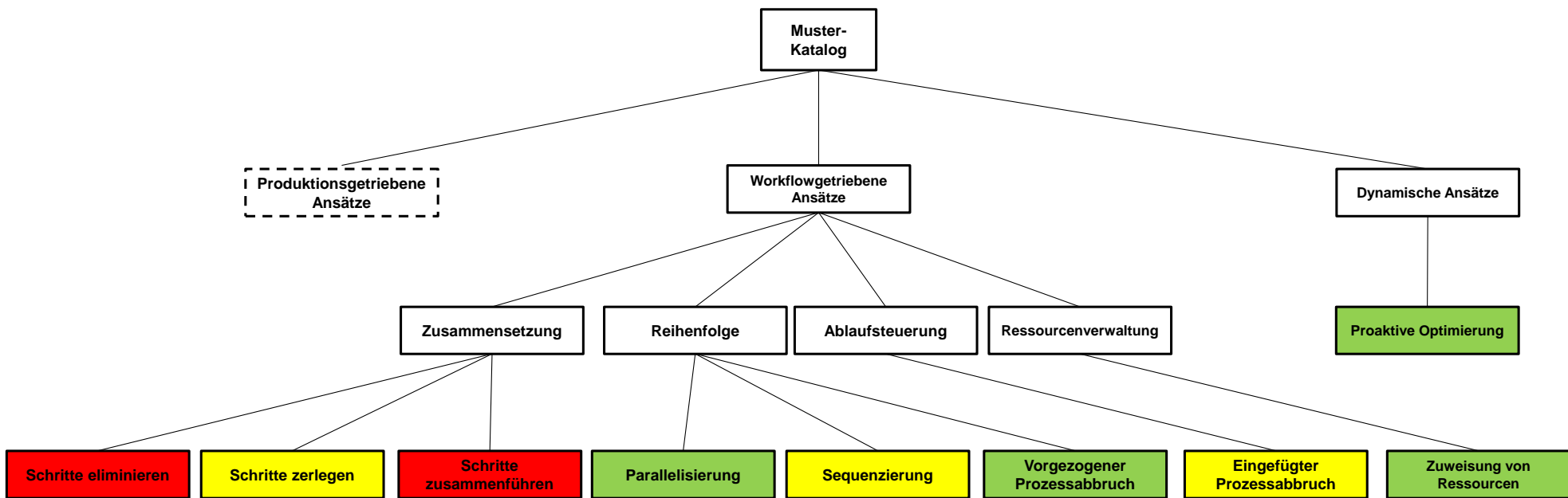


Abbildung 45: Workflowgetriebene und dynamische Ansätze des Musterkatalogs

5. Konzeption der proaktiven Handlungsoptimierung

Das Ziel der proaktiven Handlungsoptimierung ist, Prozessinstanzen zu identifizieren, welche ihre Vorgaben im Sinne einer Kennzahlenüber- bzw. unterschreitung voraussichtlich nicht einhalten werden. Diese Vorgaben können beispielsweise die Überschreitung einer Durchlaufzeit, die Verfehlung von Kostenvorgaben oder jede andere, im System dokumentierte, Kennzahl sein. Dem Ausführenden des Prozesses wird darauf eine Handlungsempfehlung generiert. Ziel der Empfehlung ist es, durch Anpassung der Attribute die prognostizierte Abweichung der Metrik zu vermeiden.

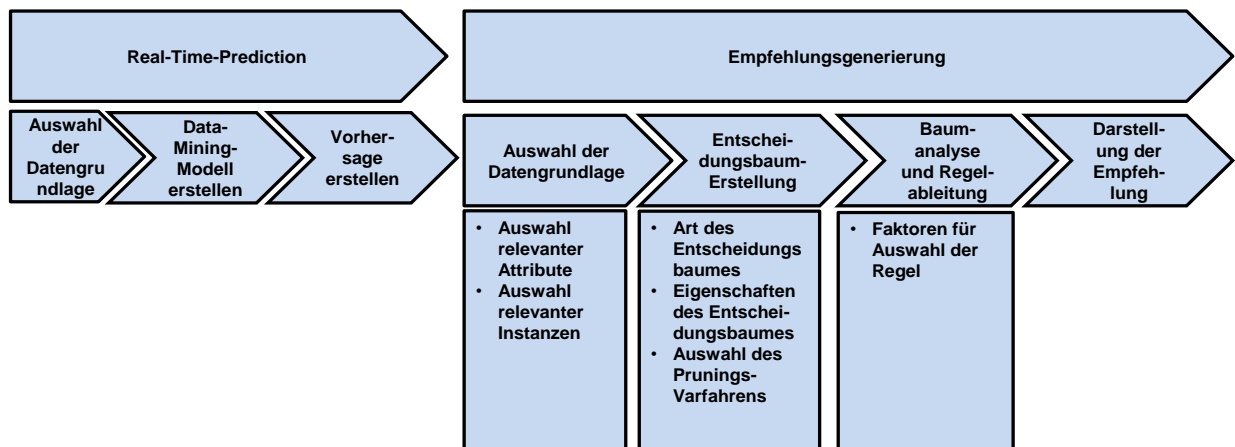


Abbildung 46: Vorgehensübersicht

Das vorliegende Kapitel beschreibt ein Konzept zur proaktiven Handlungsoptimierung. Das Vorgehen lässt sich hierbei in zwei Schritte aufteilen (siehe Abbildung 46). Zunächst wird auf Basis der Real-Time-Prediction (Echtzeit-Prognostik) eine Vorhersage für die betrachtete Prozessinstanz generiert. Die Vorhersage sagt aus, ob die betrachtete Instanz die relevante Kennzahl einhält oder eine Über- bzw. Unterschreitung des Wertes zu erwarten ist.

Für die Generierung der Empfehlung wird im ersten Schritt ermittelt, in welcher Form die zugrunde liegende Datenbasis eingeschränkt werden muss. Diese Einschränkung ist sowohl in Form der betrachteten Attribute sowie durch die Filterung der bereits ausgeführten Prozessinstanzen notwendig.

Bevor der Entscheidungsbaum, aus dem im folgenden Schritt die Regel zur Optimierung abgeleitet wird, erstellt wird, werden dessen Eigenschaften festgelegt. Es wird eine maximale Höhe bestimmt und eine Mindestanzahl von Instanzen pro Blatt errechnet. Zudem wird beschrieben, warum ein Binärbaum verwendet werden sollte, sowie welches Pruning-Verfahren zur Erstellung verwendet wird.

Nachdem der Entscheidungsbaum erstellt wurde, wird anhand der Kriterien Fehlerklassifikation, Länge der Regel und Anzahl an Instanzen pro Regel eine Regel ausgewählt, auf deren Basis die Entscheidung erstellt und dem Ausführenden des Prozessschrittes ausgegeben wird.

Wenn die Empfehlung gegeben wurde, kann der Prozessschritt ausgeführt werden. Für den nachfolgenden Schritt kann nun wieder mit Hilfe der Real-Time-Prediction

eine neue Vorhersage getroffen werden, die aussagt, ob weitere Optimierungsempfehlungen notwendig sind.

5.1 Real-Time-Prediction

Die Phase der Real-Time-Prediction geht der Phase der Empfehlungsgenerierung voraus, da in dieser Phase die sich in der Ausführung befindenden Prozessinstanzen betrachtet werden und die Bewertung auf eine potentielle Über- oder Unterschreitung einer ausgewählten Kennzahl stattfindet. In diesem Fall werden die Abweichungen metrisch zusammengefasst. Es werden nominale Bereiche festgelegt, um die Werte zu kategorisieren, z.B. wann eine Überschreitung der Laufzeit nicht mehr akzeptabel ist.

Da eine Vorhersage für Prozessinstanzen getroffen wird, die aktuell ausgeführt werden, muss die Möglichkeit der Ausführung zu jedem Prozessschritt bestehen. Das setzt voraus, dass für jeden potentiellen Prozesszustand eine Datenbasis an bereits ausgeführten Prozessinstanzen zugrunde liegt, auf deren Basis die Vorhersage generiert wird. Somit wird im ersten Schritt die betrachtete Instanz ausgewertet und die Datengrundlage entsprechend angepasst.

Abbildung 47 zeigt diese Einschränkung auf. Die in der Ausführung befindliche Prozessinstanz Px wird ausgewertet. Es wurde zwei Schritte ausgeführt und die Datengrundlage wird entsprechend eingeschränkt. Nach Definition der Datengrundlage kann nun ein Data-Mining-Modell erstellt werden. Dieses Modell wird auf die betrachtete Instanz angewendet, um die Vorhersage zu erstellen.

Betrachtete Instanz: Px

Prozess- instanz ID	Schritt 1 Maschine ID	Schritt 1 Arbeiter ID	Schritt 1 Material ID	Schritt 2 Maschine ID	Schritt 3 Maschine ID	Schritt 3 Hilfsmittel ID	Schritt 3 Arbeiter ID	Schritt 3 Arbeits- bereich ID	...	Durchlauf- zeit
	Schritt 1			Schritt 2	Schritt 3				Schritt n	
Px	M1	E1	I1	M21					...	

Ausgeführte Schritte: Schritt 1, Schritt 2

Datengrundlage an ausgeführten Instanzen

Prozess- instanz ID	Schritt 1 Maschine ID	Schritt 1 Arbeiter ID	Schritt 1 Material ID	Schritt 2 Maschine ID	Schritt 3 Maschine ID	Schritt 3 Hilfsmittel ID	Schritt 3 Arbeiter ID	Schritt 3 Arbeits- bereich ID	...	Durchlauf- zeit
	Schritt 1			Schritt 2	Schritt 3				Schritt n	
P1	M1	E1	I1	M21	M31	H35	E31	W1	...	Ok
P2	M2	E1	I2	M22	M31	H36	E31	W2	...	ZH
...
Pn	M1	E1	I1	M21	M31	H37	E31	W3	...	Ok

Betrachtete Schritte zur Vorhersage: Schritt 1, Schritt 2



Abbildung 47: Definition der Datengrundlage

5.2 Vorbereitung der Empfehlungsgenerierung

Bevor der Entscheidungsbaum für die Generierung der Optimierungsempfehlung erstellt werden kann, müssen die relevanten Einschränkungen und Variablen betrachtet werden. Diese umfassen eine Einschränkung der Datenbasis und die Definition der Eigenschaften des Entscheidungsbaumes.

5.2.1 Reichweite der Optimierungsempfehlung

Die Empfehlung kann entweder für den Schritt generiert werden, der in der betrachteten Prozessinstanz als nächstes ausgeführt wird, sie kann allerdings auch mehrere kommende Schritte kombinieren.

Der Vorteil bei Kombinationen mehrerer Schritte liegt darin, dass die Operationen nur einmalig ausgeführt werden müssen und nicht für jeden einzelnen Schritt eine potentielle Optimierungsempfehlung ausgeführt und ein Entscheidungsbaum erstellt wird.

Die Kombination erhöht jedoch auch den Anspruch an die Empfehlungsgenerierung:

- Der Koordinationsaufwand steigt, da die Empfehlungen für mehrere Schritte erstellt werden und somit ggf. an verschiedene Verantwortliche weitergeleitet werden müssen.
- Der Ablauf wird komplexer, da die Vorhersage für die Prozessinstanzen durch Real-Time-Prediction erst wieder ausgeführt werden kann, wenn die Empfehlungen für alle Schritte umgesetzt wurden. Somit steigt das Risiko, dass in späteren Schritten nicht korrigierend eingegriffen werden kann, wenn Empfehlungen nicht korrekt umgesetzt wurden.
- Da mehr Daten betrachtet werden, wachsen die resultierenden Entscheidungsbäume im Vergleich stark an.
- Es kann nicht sichergestellt werden, dass alle Empfehlungen ausgeführt wurden, so dass im folgenden Schritt wieder ein Prüfvorgang notwendig ist.
- Während bei einer iterativen Vorgehensweise die betrachtete Datengrundlage mit jedem Schritt eingeschränkt wird (siehe Kapitel 5.2.2), bleibt sie in diesem Fall auf einer konstanten Größe, so dass insgesamt mehr Daten betrachtet werden müssen, um die Empfehlungen zu erstellen. Abbildung 48 zeigt einen Fall, indem nach jedem iterativen Schritt weniger Instanzen betrachtet werden, wohingegen bei der Kombination der Schritte 3, 4 und 5 die Datenbasis die gleiche Größe behält.

	Process Instance ID	Schritt 1 Maschine ID	Schritt 2 Maschine ID	Schritt 3 Maschine ID	Schritt 3 Hilfsmittel ID	Schritt 4 Arbeiter ID	Schritt 5 Arbeitsbereich ID	...	Durchlaufzeit
Schritt 3		Schritt 1	Schritt 2	Schritt 3		Schritt 4	Schritt 5	Schritt n	
	P1	M1	M21	M31	H35	E31	W1	...	Ok
	P2	M1	M22	M31	H35	E32	W2	...	ZH

	P 90	M1	M21	M31	H37	E31	W3	...	Ok
Schritt 4		Schritt 1	Schritt 2	Schritt 3		Schritt 4	Schritt 5	...	
	P1	M1	M21	M31	H35	E31	W1	...	Ok
	P2	M1	M22	M31	H35	E32	W2	...	ZH

	P 90	M1	M21	M31	H37	E31	W3	...	Ok
Schritt 5		Schritt 1	Schritt 2	Schritt 3		Schritt 4	Schritt 5	...	
	P1	M1	M21	M31	H35	E31	W1	...	Ok
	P2	M1	M22	M31	H35	E32	W2	...	ZH

	P 90	M1	M21	M31	H37	E31	W3	...	Ok

	Process Instance ID	Schritt 1 Maschine ID	Schritt 2 Maschine ID	Schritt 3 Maschine ID	Schritt 3 Hilfsmittel ID	Schritt 4 Arbeiter ID	Schritt 5 Arbeitsbereich ID	...	Durchlaufzeit
Schritt 3 - 5		Schritt 1	Schritt 2	Schritt 3		Schritt 4	Schritt 5	Schritt n	
	P1	M1	M21	M31	H35	E31	W1	...	Ok
	P2	M1	M22	M31	H35	E32	W2	...	ZH

	P 90	M1	M21	M31	H37	E31	W3	...	Ok

Abbildung 48: Auswahl der betrachteten Schritte

Für das beschriebene Konzept wird im Folgenden nur die Variante der schrittweisen Empfehlungsgenerierung erläutert, da eine Betrachtung kombinierter Schritte bis auf die beschriebenen Änderungen keine Abweichungen in Vorgehen oder Ergebnis erzeugt.

5.2.2 Auswahl der Datengrundlage

Fällt das Ergebnis der Real-Time-Prediction negativ aus, wird für die betrachtete Instanz eine Empfehlung von Optimierungsmöglichkeiten generiert, mit dem Ziel, die vorausgesagte Kennzahlenüber- bzw. -unterschreitung zu vermeiden, d.h. ihr proaktiv entgegen zu wirken. Hierfür wird erneut ein Entscheidungsbaum aufgebaut, um aus diesem die Regeln zur Optimierung, d.h. die Handlungsempfehlung, abzuleiten.

Dazu muss zunächst betrachtet werden, ob eine Einschränkung der Datengrundlage notwendig ist. Es wird geprüft welche Attribute des Prozesses in die Erstellung des Entscheidungsbaumes einfließen und ob die Auswahl eingeschränkt werden muss. Zudem wird entschieden, welche Prozessinstanzen aus der Menge der ausgeführten Durchläufe des Prozesses in der Datengrundlage verwendet werden.

Auswahl relevanter Attribute

Im ersten Schritt muss entschieden werden, welche Daten für die Erstellung betrachtet werden. Hierbei besteht die Möglichkeit, alle Schritte und somit alle Attribute

der betrachtenden Instanzen auszuwählen oder die Auswahl einzuschränken. Tabelle 8 zeigt die 3 Fälle auf, basierend auf der Annahme, dass Schritt 1 und Schritt 2 der zu optimierenden Instanz ausgeführt wurden.

Prozess- instanz ID	Schritt 1 Maschine ID	Schritt 1 Arbeiter ID	Schritt 1 Material ID	Schritt 2 Maschine ID	Schritt 3 Maschine ID	Schritt 3 Hilfsmittel ID	Schritt 3 Arbeiter ID	Schritt 3 Arbeits- bereich ID	...	Durchlauf- zeit
	Schritt 1			Schritt 2	Schritt 3				Schritt n	
Fall 1: Alle Schritte betrachten										
P1	M1	E1	I1	M21	M31	H35	E31	W1	...	Ok
...
Fall 2: Alle noch nicht ausgeführten Schritte betrachten										
P1	M1	E1	I1	M21	M31	H35	E31	W1	...	Ok
...
Fall 3: Nur den nächsten Schritte betrachten										
P1	M1	E1	I1	M21	M31	H35	E31	W1	...	Ok
...

Tabelle 8: Auswahl relevanter Attribute

Zunächst muss berücksichtigt werden, dass bei einer Ausweitung der Datengrundlage die abgeleiteten Empfehlungszusammenstellungen komplexer werden, was eine Ausführung der Optimierungen kompliziert macht. Zudem werden die Entscheidungsbäume deutlich größer. Auch wenn der damit verbundene Verlust an Verständlichkeit (Han/Kamber 2004, Osei-Bryson 2004) in diesem Anwendungsfall keine Rolle spielt, so wird doch eine Erstellung in Echtzeit erschwert, ohne dass die Aussagekraft der Empfehlung erhöht wird (Oates/Jensen D. 1998).

Im ersten Fall entsteht die Problematik, dass zur Auswertung der Regel Schritte betrachtet werden, die bereits ausgeführt wurden (Schritt 1, Schritt 2). Da diese Schritte allerdings nicht mehr beeinflusst werden können, müssten sie von der Empfehlung ausgeschlossen werden. Um diesen Aufwand zu vermeiden, ist es einfacher die Datenbasis einzuschränken.

Im zweiten Fall fehlt die Möglichkeit, verschiedene Regeln miteinander zu vergleichen, wenn die Auswirkungen kommender Schritte herausgefiltert werden. Abbildung 49 zeigt einen Problemfall dieser Art auf: Es können die Schritte aus dem linken Unterbaum nicht verwertet werden, da sie in Kombination mit einem Schritt stehen, der erst in Zukunft ausgeführt wird (Schritt 4). Da als Folge Empfehlungen in unterschiedlicher Länge ausgegeben werden, wird ein Vergleich verschiedener Optimierungen erschwert.

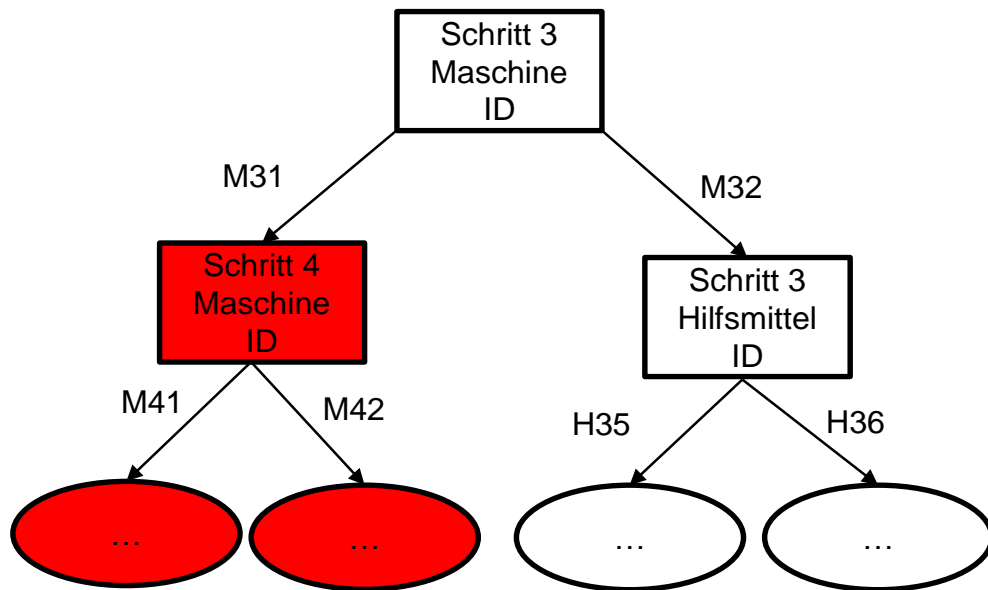


Abbildung 49: Entscheidungsbaum mit Regeln unterschiedlicher Länge

Auch für die Erstellung von Empfehlungen für die folgenden Schritte lässt sich der Entscheidungsbaum nicht verwenden, da die Anweisungen aus dem aktuellen Schritt bereits ausgeführt wurden und somit die gleiche Problematik wie im ersten Fall auftreten würde.

Somit wird der dritte Fall angewendet und nur die Daten aus dem aktuell betrachteten Schritt verwendet.

Im nächsten Schritt muss die Datenmenge auf die Attribute reduziert werden, die sich für die Optimierung anpassen lassen, so dass sie für eine Optimierungsempfehlung relevant sind. Betrachtet werden demnach nur Attribute die in der praktischen Umsetzung veränderbar sind, um somit die Optimierung zu ermöglichen. Attribute die nicht geändert werden können oder für die es keine Alternative gibt, werden von der Betrachtung ausgeschlossen.

Auswahl relevanter Instanzen

Des Weiteren muss entschieden werden, ob alle bereits ausgeführten Prozessinstanzen für die Generierung des Entscheidungsbaumes betrachtet werden, oder ob eine Einschränkung notwendig ist. Grundlage der Einschränkung können hierbei die Attributausprägungen der ausgeführten Instanzen im Abgleich mit den Attributausprägungen der aktuell betrachteten Instanz sein. In diesem Fall wird die Datenmenge auf die Instanzen beschränkt, welche die gleichen Attributausprägungen aufweisen. Tabelle 9 zeigt die beiden Auswahlmöglichkeiten auf.

Prozess- instanz ID	Schritt 1 Maschine ID	Schritt 1 Arbeiter ID	Schritt 1 Material ID	Schritt 2 Maschine ID	Schritt 3 Maschine ID	Schritt 3 Hilfsmittel ID	Schritt 3 Arbeiter ID	Schritt 3 Arbeits- bereich ID	...	Durchlauf- zeit
	Schritt 1			Schritt 2	Schritt 3				Schritt n	
Px	M1	E1	I1	M21						
Fall 1: Alle Instanzen betrachten										
P1	M1	E1	I1	M21	M31	H35	E31	W1	...	Ok
P2	M2	E1	I2	M22	M31	H36	E31	W2	...	ZH
...
Pn	M1	E1	I1	M21	M31	H37	E31	W3	...	Ok
Fall 2: Nur Instanzen mit gleichen Attributausprägungen betrachten										
P1	M1	E1	I1	M21	M31	H35	E31	W1	...	Ok
P2	M2	E1	I2	M22	M31	H36	E31	W2	...	ZH
...
Pn	M1	E1	I1	M21	M31	H37	E31	W3	...	Ok

Tabelle 9: Auswahl relevanter Instanzen

Wenn wie im ersten Fall alle Instanzen zur Erstellung des Baumes herangezogen werden, muss nicht für jeden Optimierungsvorgang mit einer abweichenden Kombination an Attributen in der betrachteten Instanz ein neuer Entscheidungsbaum erstellt und gepflegt werden. Jedoch hat diese Betrachtungsform die Nachteile, dass der Entscheidungsbaum komplexer wird, ohne dass sich die Aussagekraft erhöht (Oates/Jensen D. 1998). Außerdem die Verständlichkeit im Vergleich zum vorherigen Beispiel ab (Han/Kamber 2004, Osei-Bryson 2004).

Zudem kann eine Betrachtungsweise, bei der alle Instanzen mit einbezogen werden dazu führen, dass Optimierungen empfohlen werden, für die keine Datengrundlage existiert, die eine Verbesserung aufzeigen würde. Dies wird in Abbildung 50 dargestellt. Hierbei werden sechs Instanzen als Grundlage genommen. Außerdem wird angenommen, dass für die Maschine in Schritt 1 jeweils ein bestimmtes Material benötigt wird um den Prozess erfolgreich abzuschließen. Werden nun alle Instanzen betrachtet (gelb), wird ein Schritt vorgeschlagen (I20), der die Materialvoraussetzungen der Maschine verletzt. Dieser Fall tritt nicht auf, wenn nur die Werte betrachtet werden, die für die aktuelle Instanz relevant sind (grün).

	Schritt 1 Maschine ID	Schritt 2 Material ID	Schritt 2 Hilfsmittel ID	Durchlauf- zeit
P1	M1	I20	H27	Ok
P2	M1	I20	H27	Ok
P3	M1	I20	H27	Ok
P4	M2	I25	H28	ZH
P5	M2	I25	H27	Ok
P6	M2	I25	H28	ZH

Verknüpfungen:

$M1 \wedge I20$

$M2 \wedge I25$

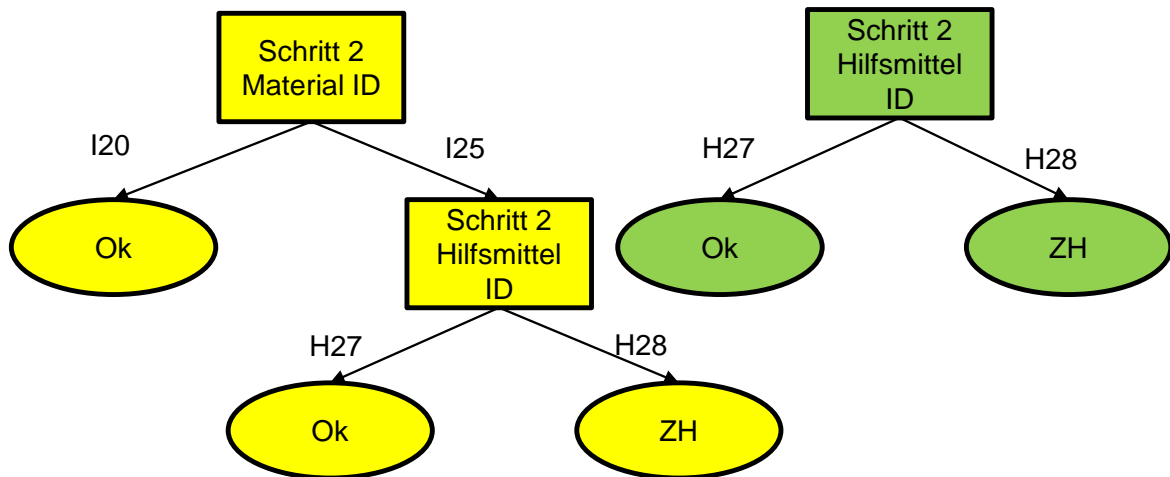


Abbildung 50: Auswirkung der Datengrundlage

5.2.3 Entscheidungsbaum-Erstellung

Im Folgenden wird die Auswahl der Eigenschaften des Entscheidungsbaumes diskutiert.

- Es wird entschieden ob ein Binärbaum oder ein n-närer Baum erstellt wird.
- Mit einer maximalen Höhe und einer Mindestanzahl an Instanzen werden die Eigenschaften des Entscheidungsbaumes festgelegt
- Die Notwendigkeit eines Pruning-Verfahrens wird diskutiert.

Da die Optimierungen aus den Regeln des Entscheidungsbaumes abgeleitet werden, stellen die an den Entscheidungsbaum gestellten Kriterien einen zentralen Betrachtungspunkt dar. In Tabelle 10 werden die Kriterien an den Entscheidungsbaum nach Han/Kamber 2004 aufgeführt und für den Kontext der proaktiven Optimierung bewertet.

Ausprägung	wird beeinflusst durch	Relevanz für proaktive Optimierung
Genauigkeit der Vorhersage	vorgegebene Höhe, Pruning-Verfahren	sehr relevant, da alles auf abgeleiteten Regeln aufbaut
Geschwindigkeit	Datengrundlage, Pruning-Verfahren	wichtig wenn Bäume in Echtzeit aufgebaut werden
Robustheit	vorgegebene Höhe	wenig Relevanz, da Beschränkung in der Höhe
Skalierbarkeit		wichtig wenn Bäume in Echtzeit aufgebaut werden
Interpretierbarkeit	Datengrundlage, Art des Baumes, Pruning-Verfahren	wenig Relevanz, da der Baum nie ausgegeben wird

Tabelle 10: Kriterien an den Entscheidungsbaum

Für das Konzept wird angenommen, dass die Möglichkeit besteht, die Entscheidungsbäume während der Laufzeit zu generieren. Die Auswirkungen von Faktoren, die eine Erstellung in Echtzeit beeinflussen, werden weiterhin aufgeführt, jedoch wird das Vorgehen des Aufbaues von Entscheidungsbäumen im Vorfeld nicht weiter verfolgt. Das vereinfacht auch die Betrachtung der zugrunde liegenden Datenbasis für die Real-Time-Prediction, sowie den Aufbau des Entscheidungsbaumes zur Ableitung der Optimierungsempfehlung. Es ist somit nicht notwendig, für jede Kombination an ausgeführten Schritten der Prozessinstanz einen Entscheidungsbaum im Vorfeld zu erstellen. Auch auf den Umgang mit neu abgeschlossen Prozessinstanzen, die zur Datenbasis hinzugefügt wurden, muss in diesem Fall kein besonderer Ablauf festgelegt werden, da sie für eine Generierung eines neuen Entscheidungsbaumes direkt verwendet werden.

Art des Entscheidungsbaumes

Bei der Erstellung des Entscheidungsbaumes muss zunächst festgelegt werden ob der Baum mit einer beliebigen Anzahl an Kindknoten pro Knoten oder als Binärbaum generiert wird.

Grundlegend hat die Art des Baumes keinen Einfluss auf die Fehlerrate (Fayyad/Irani 1990), jedoch gibt es andere Gründe, die betrachtet werden müssen.

Ein Binärbaum verallgemeinert die Anweisungen und ermöglicht dem Anwender, der die Empfehlung ausführt, ein größeres Spektrum an Freiheiten hinsichtlich der Auswahl der entsprechenden Attribute, da ggf. nicht eine Variable vorgegeben wird, sondern aus verschiedenen Möglichkeiten gewählt werden kann. In Abbildung 51 wird gezeigt, dass bei Verwendung eines Binärbaumes, durch die Empfehlung jede Maschine mit Ausnahme von „M31“ zu wählen, mehr Möglichkeiten entstehen, als wenn eine konkrete Maschine (z.B. „M33“) empfohlen wird. Zudem reduziert ein Binärbaum die maximale Anzahl an potentiellen Regeln, aus denen die Empfehlung gewonnen wird, was den Auswahlprozess vereinfacht.

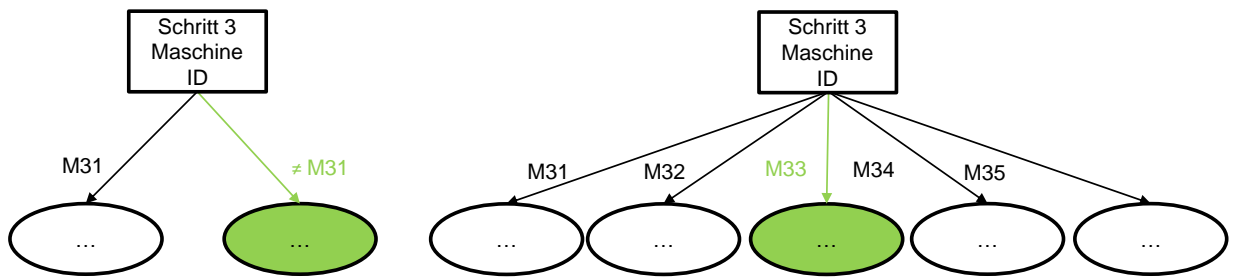


Abbildung 51: Unterschiede bei Auswahl

Wird die maximale Höhe des Baumes beschränkt (s.u.), so hätte ein Binärbaum eventuell weniger Blätter. Dadurch kann sich die Fehlerklassifikation pro Blatt erhöhen, jedoch steigt auch die Aussagekraft der abgeleiteten Regeln, da für jede Regel mehr Prozessinstanzen als Grundlage verwendet werden können. Die Verständnisproblematik von vergleichsweise tiefen Binärbäumen (Berzal et al. 2003) würde bei der Verwendung einer maximalen Höhe zudem entfallen.

Ein n-närer Baum würde zwar mehr potentielle Regeln zur Verfügung stellen, aus denen gewählt werden kann, jedoch hätten diese Regeln weniger Aussagekraft, da weniger Prozessinstanzen einfließen. Zudem verlieren Einschränkungen wie eine minimale Anzahl an Prozessinstanzen pro Blatt an Aussagekraft, da die maximale Anzahl an Blättern nicht mehr genau vorhergesagt werden kann.

In Abbildung 52 wird der Unterschied zwischen den gewonnenen Entscheidungsregeln gezeigt. Aus dem Binärbaum (links) wird die Empfehlung abgeleitet, Maschine „M31“ und nicht Hilfsmittel „H35“ einzusetzen, womit die Auswahl zwischen „H36“, „H37“ und „H38“ möglich ist. Der n-näre Baum empfiehlt ebenfalls „M31“, legt allerdings zusätzlich die Wahl des Hilfsmittels auf „H36“ fest.

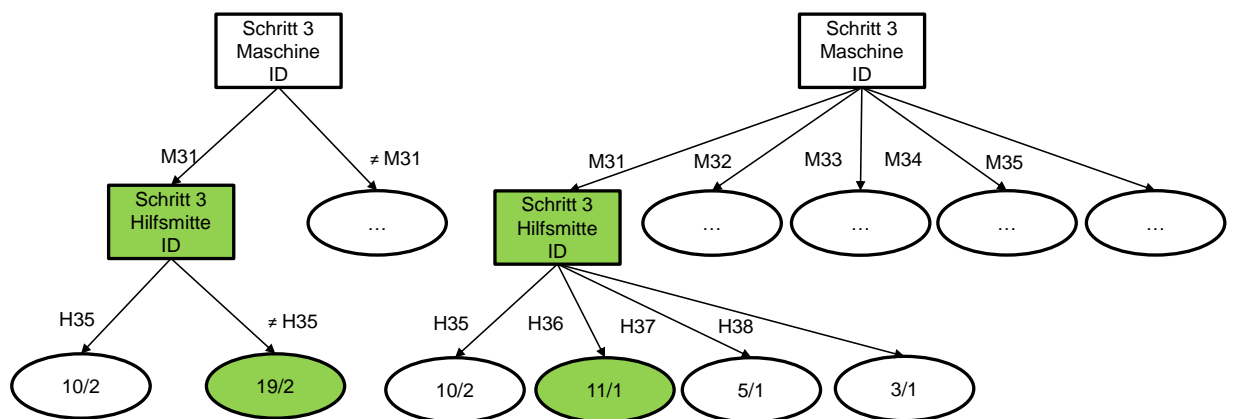


Abbildung 52: Abhängigkeit der Entscheidungsregel

Somit wird als Entscheidungsbaum für die Ableitung der Empfehlungen ein Binärbaum verwendet. Die Auswahl muss im Folgenden noch dahingehend eingeschränkt werden, ob ein Binärbaum mit detaillierter Darstellung von Teilmengen oder mit Gleich- und Ungleich-Operatoren verwendet wird (siehe Abbildung 53).

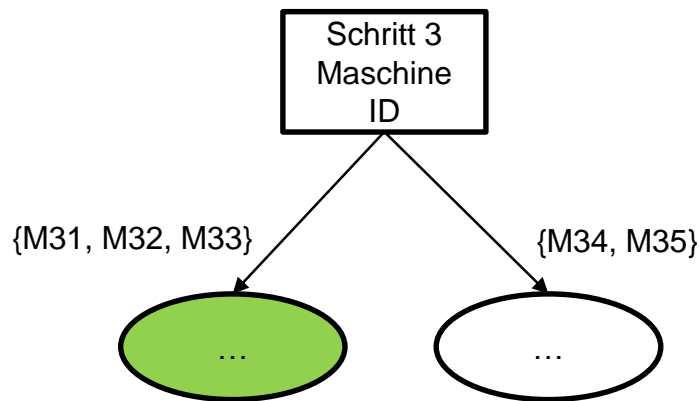


Abbildung 53: Binärbaumdarstellung mit Teilmengen

Die Darstellung durch Teilmengen erlaubt eine größere Vielfalt hinsichtlich der Umsetzung der Anweisungen. Abbildung 53 zeigt, dass man aus drei Variablen wählen kann, wenn diese ein positives Ergebnis liefern. Die Verwendung von Teilmengen wird jedoch nicht gewählt, da bei einer großen Anzahl an Variablen alle Möglichkeiten in der Empfehlung aufgeführt werden müssen, wodurch das Risiko besteht, dass eine kompakte Darstellung unmöglich wird.

Eigenschaften des Entscheidungsbaumes

Es muss entschieden werden, ob für den Entscheidungsbaum die Höhe begrenzt werden soll, und in welcher Form diese bestimmt wird.

Da die Anzahl der empfohlenen Handlungen, z.B. die Verwendung einer bestimmten Maschine oder Ressource, von der Länge der Regel abhängt, bietet sich eine Begrenzung der Länge an, da die Umsetzung im Produktionskontext durch eine zu große Anzahl an Empfehlungen erschwert werden würde.

Die Begrenzung kann über folgende Optionen erreicht werden:

- Dem Anwender wird die Entscheidung über die Höhe des Baumes überlassen, so dass er durch die Länge der Regel die Anzahl an Bestandteilen bestimmt.
- Für jeden Prozess wird zu Beginn ein Wert festgelegt.
- Die Länge der Regel wird in Abhängigkeit zur Anzahl an Attributen dynamisch bestimmt.

Für die dynamische Bestimmung wird die Höhe des Entscheidungsbaumes über folgende Formel errechnet, wobei x die Anzahl der Attribute der betrachteten Instanz darstellt, und n eine vom Anwender gewählte Höchstbegrenzung ist.

$$\text{Höhe des Entscheidungsbaumes} = \begin{cases} x & \text{wenn } x \leq 2 \\ \lceil \frac{x}{2} \rceil & 2 < x < 2n \\ n & x \geq 2n \end{cases}$$

Die dynamische Bestimmung der Länge der Regel lässt sich primär für Fälle einsetzen, in denen eine geringe Anzahl an Attributen betrachtet wird. Weist die betrachtete Instanz eine große Anzahl an Attributen auf, bei denen eine Anpassung ohne großen Aufwand umsetzbar ist (z.B. einfache Maschinenkonfigurationen), so wird eine manuelle Festlegung der Höhe gewählt.

Ein weiterer Fall, der für die Festlegung der Höhe betrachtet werden kann, ist die Option, einen Entscheidungsbaum zu erstellen, der nur aus einem Knoten besteht (siehe Abbildung 54). Dieser Baum bietet die Möglichkeit, schnell eine einfache Empfehlung zu generieren, da Faktoren wie Aufbaukriterien oder Pruning nicht relevant für den Erfolg sind. Zur Bewertung der Empfehlung muss nur die Fehlerklassifikation betrachtet werden, da weder Länge der Regel noch Anzahl der Instanzen eine große Rolle spielen. So entsteht die Möglichkeit, ohne großen Aufwand eine Empfehlung zu generieren. Problematisch bei diesem Vorgehen ist jedoch, dass die Aussagekraft der Empfehlung stärker variiert als bei dem bisher angewendeten Vorgehen. So kann zwar die Chance bestehen, dass die abgeleitete Regel eine niedrige Fehlerklassifikation aufweist, jedoch ist bei einer zu hohen Fehlerklassifikation die Empfehlung nicht verwertbar. Da keine anderen Knoten betrachtet wurden, steht keine Alternative zur Verfügung.

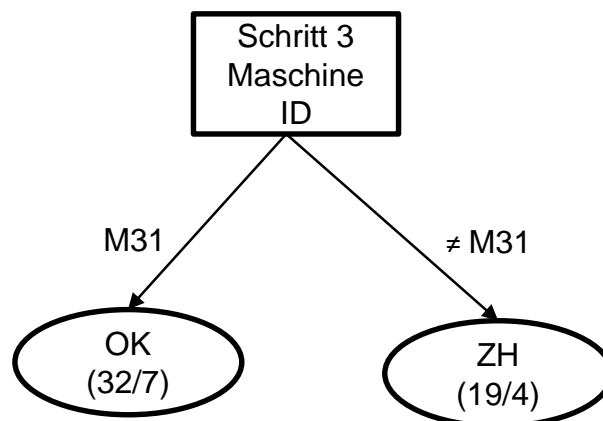


Abbildung 54: Baum der Höhe 1

Des Weiteren wird die minimale Anzahl an Instanzen festgelegt, die zur Bestimmung der einzelnen Fehlerklassifikationen herangezogen wird, um die Genauigkeit der Regel sicherzustellen. Dieses wird umgesetzt, indem eine Mindestanzahl an Instanzen pro Blatt nötig ist, um das Blatt bei der Generierung des Entscheidungsbaumes zu erstellen. Da die maximale Anzahl der Blätter des Entscheidungsbaumes von der Höhe des Baumes abhängt, wird die minimale Anzahl an Instanzen pro Blatt wie folgt festgelegt:

$$\text{Anzahl an Instanzen pro Blatt} = \frac{\text{Anzahl Instanzen}}{(\text{Höhe des Baumes} + 1)^2}$$

Auswahl eines Pruning-Verfahrens zur Einhaltung der Höhe

Es stehen verschiedene Pruning-Verfahren zur Auswahl, um den Entscheidungsbaum in der vorgegebenen Höhe darzustellen. Dadurch werden mehrere Kombinationen möglich (Tabelle 11), die im Folgenden bewertet werden. Dadurch wird die Frage geklärt, ob es notwendig ist, ein Pruning-Verfahren anzuwenden, wenn die Größe des Entscheidungsbaumes zuvor schon eingeschränkt wurde. Zudem wird betrachtet, ob es sinnvoll ist, die Länge bereits im Aufbau des Baumes zu berücksichtigen, oder ob es ausreicht sie beim Erstellen der Regel anzuwenden.

	Verfahren	Größe
1	Weder Pre- noch Post-Prune-Verfahren	Aufbau bis zur gegebenen Höhe
2	Pre-Prune	Aufbau bis zur gegebenen Höhe
3	Post-Prune	Aufbau bis zur gegebenen Höhe
4	Pre- oder Post-Prune-Verfahren	Kompletter Aufbau des Baumes

Tabelle 11: Mögliche Pruning-Anwendungen

Im ersten Fall würden keine Pruning-Verfahren verwendet und der Entscheidungsbaum bis zu der errechneten Höhe aufgebaut werden (siehe Abbildung 55). Der Vorteil hierbei wäre die Verringerung des Aufwands, da der Entscheidungsbaum schnell und ressourcensparend aufgebaut werden kann. Jedoch kann dieser Ansatz schnell verworfen werden, da die Genauigkeit des Baumes eine höhere Priorität darstellt und durch den Einsatz von Pruning-Verfahren verbessert wird. Nach Mingers 1989b lässt sich die Genauigkeit durch Pruning um 20% bis 25% verbessern. Zudem besteht die Möglichkeit, dass durch das Pruning der Baum zusätzlich zur vorgegebenen Höhe weiter eingeschränkt wird, wenn überflüssige Unterbäume entfernt werden (Mingers 1989a).

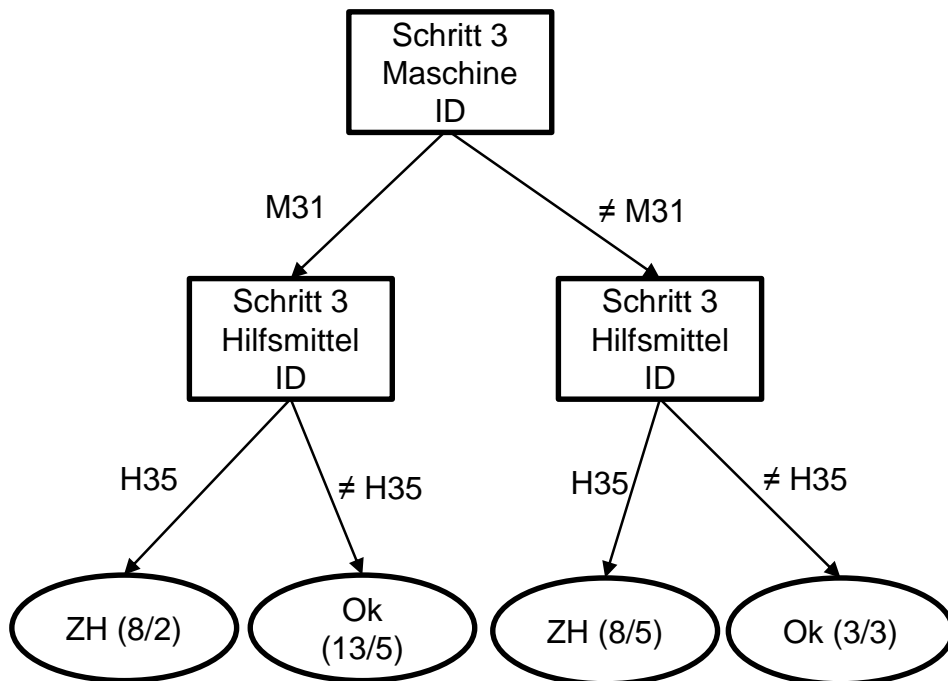


Abbildung 55: Entscheidungsbaum ohne Pruning

Bei der Verwendung eines Preprune-Vorgehens wird der Entscheidungsbaum nur bis zu der vorgegebenen Höhe erstellt und der Aufbau danach abgebrochen (Han/Kamber 2004). Der Vorteil hierbei ist die höhere Effizienz, da zur Erstellung keine weiteren Schritte notwendig sind (Breslow/Aha 1997), was vor allem bei einer Baumerstellung in Echtzeit ins Gewicht fallen würde. Die problematische Wahl eines optimalen Grenzwerts zur Bestimmung der Höhe, die eine Schwäche der Preprune-Verfahren darstellt (Han/Kamber 2004), würde hierbei keine Schwierigkeiten bereiten, da die Höhe bereits vorher bestimmt wurde.

Post-Prune-Vorgehen sind im Vergleich aufwendiger. Hier wird der Entscheidungsbaum komplett aufgebaut und im Folgenden Unterbäume entfernt mit dem Ziel, die

Qualität des Baumes zu verbessern. Post-Prune-Verfahren weisen zwar einen höheren Anspruch an die Rechenleistung auf, liefern im Gegenzug jedoch zuverlässigere Entscheidungsbäume (Han/Kamber 2004). Da für den Prototyp die Ausprägung der Genauigkeit der Vorhersage ausschlaggebend ist, ist ein Post-Prune-Vorgehen zu bevorzugen. Als Verfahren wird der Minimum-Error-Pruning-Algorithmus aufgrund von Bewertungen in der Literatur gewählt (Breslow/Aha 1997, Esposito et al. 1997, Mingers 1989a).

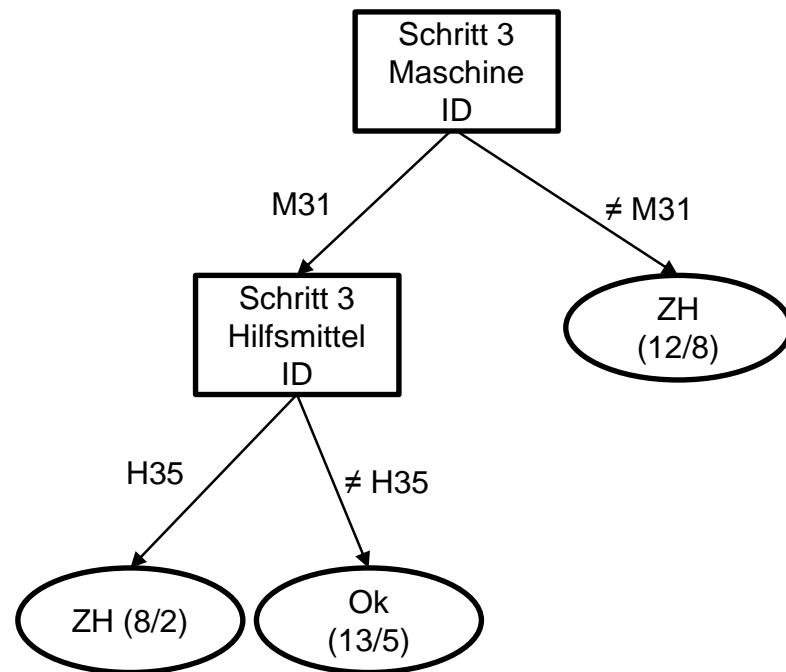


Abbildung 56: Entscheidungsbaum nach Pre- oder Postprune-Vorgehen

Es wurde auch die Möglichkeit betrachtet, ein beliebiges Pruning-Verfahren zu verwenden, den Baum in seiner Größe jedoch nicht zu beschränken. Die Einhaltung der Länge der Regel würde hierbei erst betrachtet, wenn für die Auswahl der Regel die Fehlerklassifikation der Knoten errechnet wird. Die Länge der Regel wäre in diesem Fall die maximale Begrenzung der Durchlaufenen Tiefe, bevor eine Regel abgeleitet wird. Abbildung 57 zeigt einen Entscheidungsbaum, aus dem eine Regel von einer maximalen Länge von 2 abgeleitet wird (grün eingefärbte Knoten und Blätter). Somit sind tiefere Knoten und Blätter nicht Bestandteil der Empfehlung, sondern werden nur zur Berechnung der Fehlerklassifikation betrachtet.

Hierbei wurde jedoch keine Verbesserung festgestellt, da keine Schritte im Pruning-Vorgehen eingespart werden können und zusätzlich ein größerer Entscheidungsbaum gespeichert werden muss.

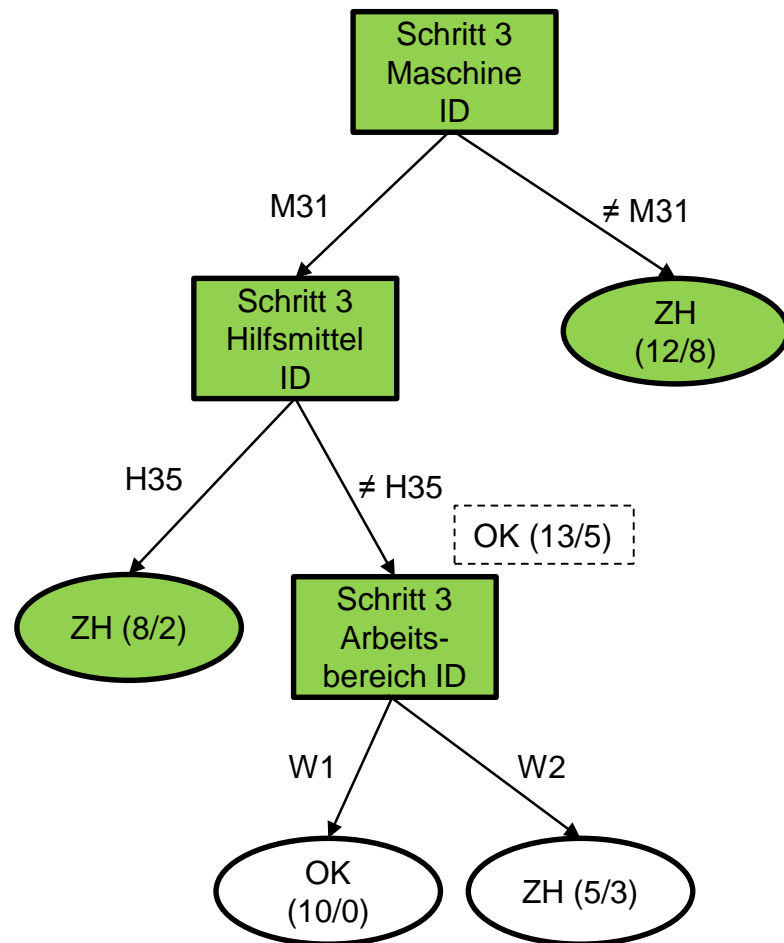


Abbildung 57: Eingeschränkter Durchlauf des Entscheidungsbaumes

Somit wird der Baum direkt in der vorgegeben Größe erstellt und ein Post-Pruning-Verfahren ausgewählt.

5.3 Baumanalyse und Regelableitung

Nachdem der Entscheidungsbaum erstellt wurde, können die verschiedenen Regeln betrachtet werden, um daraus die Optimierungsempfehlung abzuleiten.

Da jeder Pfad durch den Entscheidungsbaum auf einem Blatt mit überwiegendem Anteil an positiven Ergebnissen endet und somit eine potentielle Regel darstellt, muss die Auswahl der Optimierungen eingeschränkt werden.

1. Die Fehlerklassifikation stellt das wichtigste Auswahlkriterium dar. So werden Regeln mit einer niedrigen Fehlerklassifikation gegenüber Regeln mit höheren Werten priorisiert. Regeln mit einer Fehlerklassifikation größer als 25% werden von der Auswahl ausgeschlossen. Da die Mindestanzahl an Instanzen, die zur Regelerstellung nötig ist, bereits bei Erstellung des Baumes herangezogen wurde, muss sie hier nicht weiter betrachtet werden. Weisen mehrere Regeln die gleiche Fehlerklassifikation auf, so werden die nachfolgenden Auswahlkriterien betrachtet.
2. Das zweite Auswahlkriterium ist die Länge der betrachteten Regel. Da eine längere Regel eine größere Anzahl an empfohlenen Schritten be-

deutet, wird bei zwei Regeln mit gleicher Fehlerklassifikation die kürzere Regel ausgewählt.

3. Kann noch keine eindeutige Entscheidung getroffen werden, so wird die Anzahl der zuvor durchlaufenen Prozessinstanzen als Basis für die Empfehlung gewählt. Hierbei wird dann die Regel ausgewählt, die über die höhere Anzahl an Instanzen verfügt.
4. Sollten zusätzlich Planwerte zu Verfügung stehen, die angeben, welche Ausführung der Variablen für den Prozess ursprünglich vorgesehen waren, so werden auch diese in Betracht gezogen. Um die Anzahl an Abweichungen vom Planvorgehen zu minimieren, werden die Regeln (nach der Auswahl durch die Fehlerklassifikation) auf die Abweichungen vom Planwert reduziert und daraufhin die kürzeste Regel ausgewählt. Somit müssen Attribute, bei denen die Planwerte mit den empfohlenen Werten übereinstimmen, für die Umsetzung nicht weiter betrachtet werden und können aus der endgültigen Empfehlung entfernt werden.

Kann nach Prüfung der vier Auswahlkriterien noch keine eindeutige Regel ausgewählt werden, besteht die Möglichkeit, den Kontext der Empfehlungen zu berücksichtigen um festzustellen, ob sich bestimmte Attribute einfacher umsetzen lassen und somit eine Regel präferiert werden kann. Ansonsten wird die Auswahl zufällig getroffen.

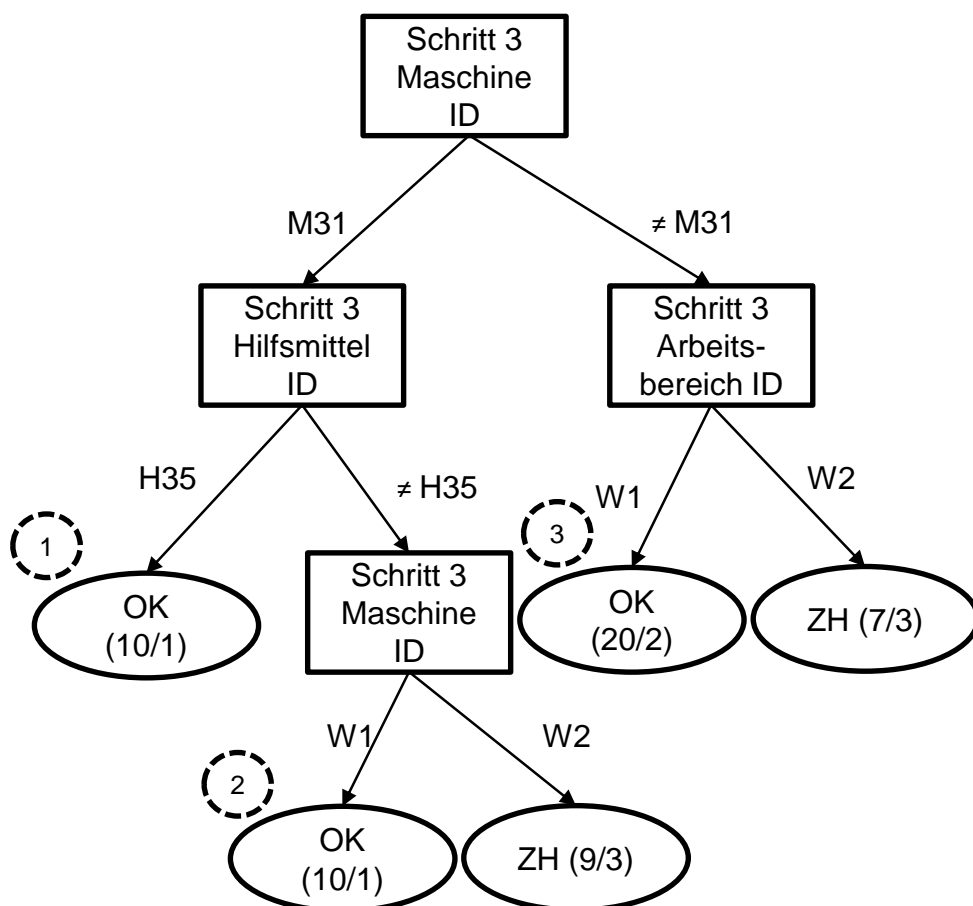


Abbildung 58: Auswahl der Regel

Abbildung 58 zeigt die Auswahlmöglichkeit von drei potentiellen Regeln.

Nr.	Regel	Fehlerklassifikation	Länge der Regel	Anzahl an Instanzen
1	M31 \wedge H35	10%	2	11
2	M31 \wedge \neq H35 \wedge W1	10%	3	11
3	\neq M31 \wedge W1	10%	2	22

Tabelle 12: Vergleich der Regeln

Das Auswahlverfahren (siehe Tabelle 12) läuft folgendermaßen ab:

1. Da alle drei Regeln eine Fehlerklassifikation von 10% haben, kann im ersten Schritt keine eindeutige Entscheidung gefällt werden.
2. Im zweiten Schritt werden die Längen verglichen, so dass Regel Nr.2 ausgeschlossen werden kann, da die Regel ein Attribut mehr enthält.
3. Durch den Vergleich der Anzahl an Instanzen kann im dritten Schritt Regel Nr.3 ausgewählt werden, da sie über eine höhere Anzahl an Instanzen als Grundlage verfügt.

5.4 Darstellung der Empfehlung

Im letzten Schritt soll die Empfehlung für den Ausführenden in Textform dargestellt werden. Das Ziel hierbei sollte sein, dass auch Anwender ohne Verständnis des Konzeptes die Optimierungsempfehlungen verstehen und umsetzen können. Ein möglicher Ansatz hierfür wäre die bereits in Vetlugin 2012 eingefügten Metadaten zu erweitern, um den einzelnen Variablen eindeutige Bezeichnungen zuzuweisen. So könnten sich aus der Kombination der Attribute und Ausprägungen einfache Anweisungen konstruieren lassen, jedoch müsste für jedes Data-Mining-Modell die Metadaten gepflegt werden, was Änderungen bei der Auswahl der Datenbasis aufwendiger gestalten würde.

Ein alternativer Ansatz wäre es, das Wissen zur Ausformulierung der Attribute in einer Ontologie abzulegen. Hierbei wäre das Ziel durch Inferenzregeln die Möglichkeit zu schaffen, die Beschreibungen neuer Attribute abzuleiten und somit mehr Möglichkeiten bei der Zusammenstellung der Datensätze zu ermöglichen (Borst 1997).

Dem Aspekt der Verbalisierung wird in dieser Arbeit allerdings nicht weiter nachgegangen.

6. Prototypische Implementierung

Die prototypische Implementierung beschreibt die Umsetzung der proaktiven Handlungsoptimierung in Form eines Software-Prototyps, basierend auf dem in Kapitel 5 erstellten Konzept. Die Realisierung baut auf dem implementierten Prototyp der Arbeit Vetlugin 2012 auf. Dieser stellt die Funktionalität zur Verfügung, im Manufacturing Insight Repository Data-Mining-Verfahren anzuwenden.

6.1 Grundlagen der Implementierung

Die Grundlage für die Umsetzung ist der Prototyp zur Darstellung des MIR, beschrieben in Vetlugin 2012. In diesem werden die Daten des Manufacturing Warehouse sowie des Manufacturing Insight Repository jeweils in einem relationalen Datenmodell in einer IBM DB2-Datenbank (Version 9.7) repräsentiert.

Zur Ausführung der Operationen auf der Datenbasis wird das Open-Source-Programm RapidMiner (Version 5.2) verwendet. Hierzu greift das MIR auf die Schnittstelle von RapidMiner zu. Die Data-Mining-Modelle werden hierbei in der Predictive Model Markup Language (PMML) abgespeichert (siehe Abbildung 59).

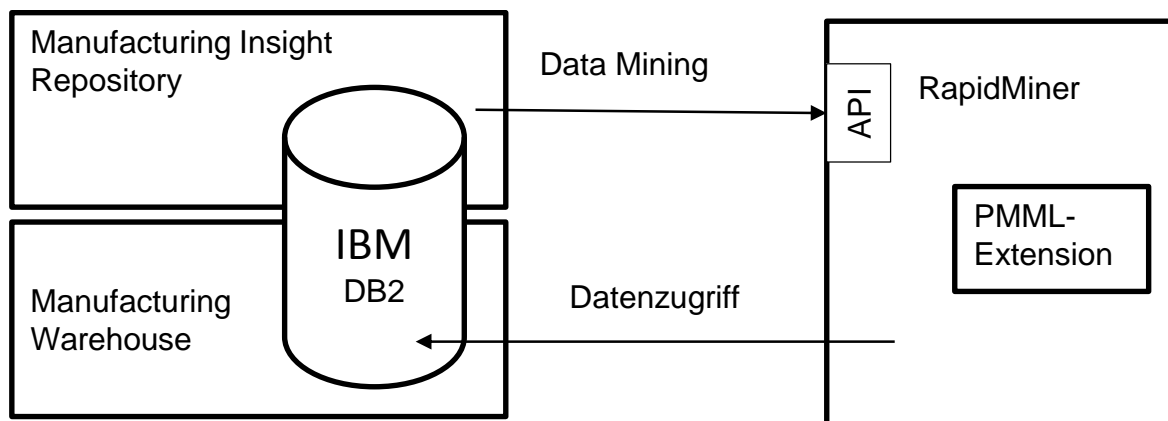


Abbildung 59: Implementierung des MIR (in Anlehnung an Vetlugin 2012)

Die Funktionalitäten des RapidMiners werden integriert, indem ein manuell erstellter Prozess des RapidMiners im MIR gelagert wird. Der Prozess wird hierbei über die Benutzeroberfläche des RapidMiners erstellt und in einem XML-basierten Format in das MIR importiert. Bei der Ausführung besteht die Möglichkeit, entweder ein neues Data-Mining-Modell auf Basis eines ausgewählten Datensatzes zu erstellen oder ein bereits erstelltes Modell auf ausgewählte Daten anzuwenden.

Damit es möglich ist die Daten mit Hilfe der Funktionen des RapidMiner auszuwerten, müssen diese umgeformt werden. Hierzu werden sie mit Meta-Daten versehen und durch SQL-Anweisungen normalisiert.

Zur Vorhersage mit Hilfe der Real-Time-Prediction, wird ein passendes Data-Mining-Modell ausgewählt, welches den Zustand der betrachteten Instanz repräsentiert. Da die Instanz noch nicht vollständig ausgeführt wurde, muss ein Modell betrachtet werden, das nur auf den Daten der bereits ausgeführten Schritte basiert. Hier kann die Problematik entstehen, dass bei einer großen Datenmenge eine Vorhersage in Echtzeit nicht möglich ist und es nur eine begrenzte Anzahl an erstellten Modellen gibt, die über verschiedene Verfahren generiert werden. Im betrachteten Prototyp wird

jedoch davon ausgegangen, dass für jeden Schritt im Prozess der eintreten kann ein Modell erstellt wird.

Wenn die Voraussetzungen erfüllt sind, kann das ausgewählte Modell auf die zu betrachtende Prozessinstanz angewendet werden, um Vorhersage bezüglich des zu erwartenden Ergebnisses zu treffen.

6.2 Zielsetzung

Die Zielsetzung der Umsetzung besteht darin, eine Schnittstelle zur Verfügung zu stellen, die für Anfragen auf spezifizierte Prozessinstanzen eine Optimierungsempfehlung zurückgibt. Ablauf und Konfigurationen werden aus dem beschriebenen Konzept entnommen, wobei die Anwenderinteraktion nur eingeschränkt umgesetzt wird. Zudem passen sich die Funktionalitäten zur Datenauswahl und Baumerstellung den verwendeten Werkzeugen an.

Aufbauend auf der Implementierung des MIR, werden die Strukturen zum Datenzugriff, die vorhandenen Data-Mining-Modelle und die Zugriffsmöglichkeiten auf die Funktionen des RapidMiners verwendet.

6.3 Implementierung

Der Ablauf der proaktiven Handlungsoptimierung kann in vier Schritte gegliedert werden, die auf das Ziel ausgerichtet sind, eine Handlungsempfehlung zu generieren (siehe Abbildung 60).

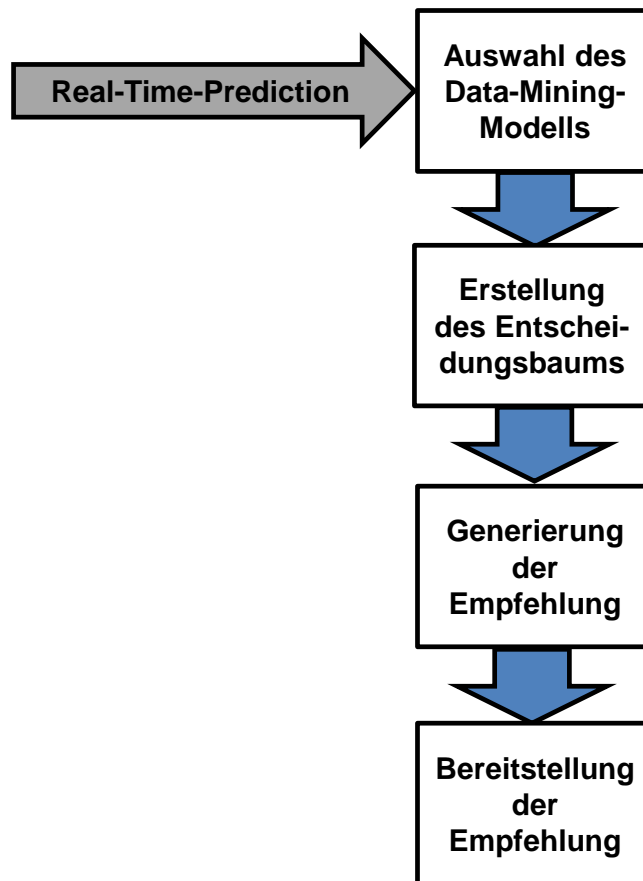


Abbildung 60: Abschnitte der Implementierung

Auswahl des Data-Mining-Modells

Nachdem die Real-Time-Prediction ausgeführt und eine Prozessinstanz mit negativer Vorhersage identifiziert wurde, wird ein Data-Mining-Modell benötigt, das nur aus den Produktionsschritten besteht, die bereits ausgeführt wurden. Hierfür werden auf die bestehenden Modelle zugegriffen, die zur Erstellung der Vorhersage verwendet wurden. Das ist möglich, da dieselben Daten für die Erstellung der Vorhersage, sowie für die Generierung der Empfehlung verwendet werden und bereits für jeden Ausführungsschritt ein Modell erstellt wurde.

Erstellung des Entscheidungsbaums

Auf Basis der gewählten Grundlage wird ein Entscheidungsbaum erstellt. Hierfür wird die Schnittstelle zum RapidMiner verwendet, die schon zur Modellerstellung und Anwendung der Real-Time-Prediction verwendet wurde. Die Erstellung gliedert sich in Abhängigkeit der Funktionalität des RapidMiner. So wird im ersten Schritt das Modell für den Entscheidungsbaum erstellt und darauffolgend angewendet.

Generierung der Empfehlung

Zur Erstellung der Handlungsempfehlung werden die Blätter des Entscheidungsbaums ausgewertet. Für die Auswertung wird sich an den in Kapitel 5.3 aufgestellten Ableitungsregeln orientiert. Nachdem ein eindeutiges Blatt identifiziert wurde, kann die Handlungsempfehlung erstellt werden.

Bereitstellung der Empfehlung

Da für die prototypische Implementierung keine Präsentationsform vorgesehen ist, wird für die Empfehlung eine Schnittstelle angeboten, die sich an der API (Application Programming Interface) der Funktionalitäten des MIR orientiert (siehe Abbildung 61).

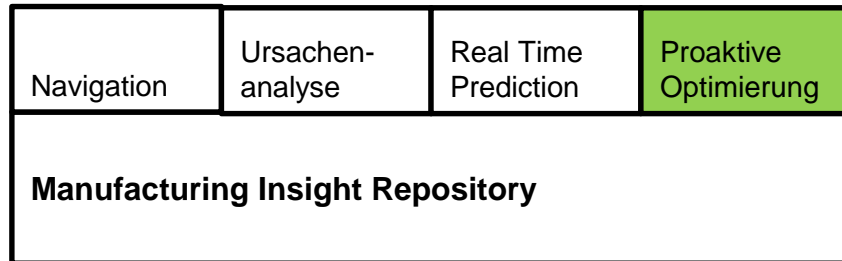


Abbildung 61: Schnittstellen des MIR (in Anlehnung an Vetlugin 2012)

7. Einsatzmöglichkeiten der Ergebnisse

In dieser Arbeit wurde ein Rahmenwerk zur musterbasierten Optimierung ausgearbeitet, eine Konzeption der proaktiven Handlungsoptimierung erstellt und die prototypische Umsetzung beschrieben.

Das Rahmenwerk zeigt die Umsetzungsmöglichkeiten von Optimierungsansätzen und betrachtet hierfür Best Practices aus dem Produktionsbereich, workflowgetriebene Optimierungen sowie dynamische Ansätze. Es wird aufgezeigt, dass aus allen Bereichen potentielle Muster abgeleitet werden können. Jedoch wird auch deutlich, dass sich eine Vielzahl der Ansätze nicht für eine Umsetzung eignet.

Der Fokus vieler Best Practices zur Produktionsverbesserung zielt auf das Verhalten von Mitarbeitern oder Führungskräften ab, was durch die Analysemöglichkeiten der AdMA-Plattform nicht identifiziert werden kann. Auch Vorgehensmöglichkeiten zur Ausarbeitung neuer Ideen oder in Form von Gliederung der Aktivitäten eignen sich nicht für ein automatisiertes Optimierungsmuster. Des Weiteren existieren Ansätze, die durch bestehende Maßnahmen ausreichend abgedeckt werden, so dass eine möglicherweise aufwendige Umsetzung keinen zusätzlichen Nutzen generiert.

Die workflowgetriebenen Ansätze lassen sich in den meisten Fällen einfacher umsetzen. Die Entscheidung zur Umsetzung hängt hierbei davon ab, ob der Anwendungsfall auch im Kontext der Fertigung sinnvoll anwendbar ist, was bei einigen der betrachteten Ansätze der Fall war.

Die dynamischen Ansätze bieten für weitere Betrachtungen das meiste Potential, um zusätzliche Muster zu generieren. Das Konzept der proaktiven Optimierung zeigt, dass die Möglichkeit besteht, durch Kombination der Analysefunktionalität der AdMA-Plattform und Bewertung der vorliegenden Problemsituation, zusätzliche Optimierungsansätze zu erstellen.

Die Konzeption und Implementierung der proaktiven Optimierung zeigt die Umsetzungsmöglichkeit eines Musters für den Musterkatalog der AdMA-Plattform. Es beschreibt das Vorgehen, dass für die Erstellung jedes weiteren Musters nötig ist.

Steigen die Ansprüche an Fähigkeiten der Entscheidungsunterstützung aktueller Business-Intelligence-Ansätze, stellt die vorhersagende Analyse einen wichtigen Ausgangspunkt dar. Durch das Potential, das in Form einer holistischen Analyse und Verbesserung der Fertigung erzielt werden kann, fällt den Anwendungsmöglichkeiten der AdMA-Plattform eine wichtige Bedeutung zu.

Die Arbeit liefert die Grundlage, um einen Musterkatalog zur Optimierung aufzubauen. Basierend auf diesen Vorschlägen kann entschieden werden, welche Ansätze als konkrete Muster implementiert werden. Für Umsetzungen aus den betrachteten Bereichen liefert das Rahmenwerk Bewertungen zu Ansatzmöglichkeiten und zum Vergleich der Musterausprägungen. Ausgehend von diesen Kriterien müssen für jedes Muster individuelle Konzepte erstellt und umgesetzt werden.

Literaturverzeichnis

- Becker, T. (2008): Prozesse in Produktion und Supply Chain optimieren, 2. Aufl., Springer, Berlin.
- Berzal, F.; Cubero, J.; Cuenca, F.; Martín-Bautista, M. (2003): On the quest for easy-to-understand splitting rules, in: *Data & Knowledge Engineering*, 44 (1), S. 31–48.
- Best, E. (2009): Geschäftsprozesse optimieren, Springer Fachmedien, Wiesbaden.
- Borst, W. N. (1997): Construction of engineering ontologies for knowledge sharing and reuse. Universität Twente, Enschede.
- Bose, R. (2009): Advanced analytics: opportunities and challenges, in: *Industrial Management & Data Systems*, 109 (2), S. 155–172.
- Breslow, L.; Aha, D. (1997): Simplifying decision trees: A survey, in: *The Knowledge Engineering Review*, 12 (01), S. 1–40.
- Bucher, T.; Dinter, B. (2008): Anwendungsfälle der Nutzung analytischer Informationen im operativen Kontext. In: Bichler, M., Hess, T., Krcmar, H., Lechner, U., Matthes, F., Picot, A., Speitkamp, B., Wolf, P. (Hg.): Multikonferenz Wirtschaftsinformatik, München, 26.2.2008 - 28.2.2008, GITO-Verlag, Berlin.
- Dewan, R.; Seidmann, A.; Walter, Z. (1998): Workflow Optimization through Task Redesign in Business Information Processes. In: Hugh Watson (Hg.): Proceedings of the Thirty-First Annual Hawaii International Conference on System Sciences - Volume 1, Hawaii, 06.01.1998 - 09.01.1998, IEEE Computer Society, Washington, DC (HICSS '98), S. 240–252.
- Dickmann, P. (2009): Schlanker Materialfluss. Mit Lean Production, Kanban und Innovationen, 2. Aufl., Springer, Berlin u.a.
- Dyckhoff, H. (2006): Produktionstheorie. Grundzüge industrieller Produktionswirtschaft: mit 20 Tabellen, 5. Aufl., Springer, Berlin u.a.
- Erlach, K. (2010): Wertstromdesign. Der Weg zur schlanken Fabrik, 2. Aufl., Springer, Berlin u.a.
- Esposito, F.; Malerba, D.; Semeraro, G.; Kay, J. (1997): A comparative analysis of methods for pruning decision trees, in: *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, 19 (5), S. 476–491.
- Fandel, G. (2005): Produktion I. Produktions- und Kostentheorie, 6. Aufl., Springer, Berlin u.a.
- Farkisch, K. (2011): Data-Warehouse-Systeme kompakt. Aufbau, Architektur, Grundfunktionen, Springer, Berlin u.a.
- Fayyad, U. M.; Irani, K. B. (1990): What should be minimized in a decision tree? In: Shrobe, H. E., Dietterich, T. G., Swartout, W. R. (Hg.): Proceedings of the eighth National conference on Artificial intelligence, Boston, 29.07.1990 - 03.08.1990, AAAI Press, S. 749–754.
- Fischer, U.; Stokic, D.; Beckmann, T. (2000): Management of Corporate Knowledge for Process Improvement in Manufacturing Companies.
- Georgakopoulos, D.; Hornick, M.; Sheth Amit (1995): An Overview of Workflow Management: From Process Modeling to Workflow Automation Infrastructure.

- Gröger, C. (2011): Konzeption und prototypische Umsetzung einer Referenzarchitektur für Manufacturing Analytics, Masterarbeit, Universität Stuttgart, Stuttgart.
- Gröger, C.; Niedermann, F.; Mitschang, B. (2012a): Data Mining-driven Manufacturing Process Optimization. In: Ao, S. I., Gelman, L., Hukins, D. W. L., Hunter, A., Korsunsky, A. M. (Hg.): Proceedings of the World Congress on Engineering 2012 Vol III, London, 04.06.2012 - 06.06.2012, S. 1475–1481.
- Gröger, C.; Niedermann, F.; Schwarz, H.; Mitschang, B. (2012b): Supporting Manufacturing Design by Analytics - Continuous Collaborative Process Improvement enabled by the Advanced Manufacturing Analytics Platform. In: Liang Gao, Weiming Shen, Jean-Paul Barthès, Junzhou Luo, Jianming Yong, Wenfeng Li, Weidong Li (Hg.): Proceedings of the 2012 16th IEEE International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design, Wuhan, 23.05.2012 - 25.05.2012, S. 793–799.
- Gröger, C.; Schlaudraff, J.; Niedermann, F.; Mitschang, B. (2012c): Warehousing Manufacturing Data - A Holistic Process Warehouse for Advanced Manufacturing Analytics. In: Cuzzocrea, A., Dayal, U. (Hg.): Data Warehousing and Knowledge Discovery - 14th International Conference, Wien, 03.09.2012 - 06.09.2012, S. 142–155.
- Günther, H.-O.; Tempelmeier, H. (2012): Produktion und Logistik, 9. Aufl., Springer, Berlin u.a.
- Hammer, M.; Champy, J. (2003): Business reengineering: die Radikalkur für das Unternehmen, 7. Aufl., Campus-Verl, Frankfurt u.a.
- Han, J.; Kamber, M. (2004): Data mining. Concepts and techniques, Morgan Kaufmann, San Francisco.
- Hehenberger, P. (2011): Computerunterstützte Fertigung. Eine kompakte Einführung, Springer, Berlin u.a.
- Hippner, H.; Wilde, K. (2008): Data Mining im CRM. In: Helmke, S., Uebel, M., Dangelmaier, W. (Hg.): Effektives Customer Relationship Management, Gabler, S. 205–225.
- Inmon, W. H. (2005): Building the Data Warehouse, 4. Aufl., John Wiley & Sons Inc, Hoboken.
- Jarke, M. (2003): Fundamentals of Data Warehouses, 2. Aufl., Springer, Berlin.
- Kantardzic, M. (2011): Data mining. Concepts, models, methods and algorithms, 2. Aufl., John Wiley, Hoboken.
- Kemper, H.-G.; Baars, H.; Mehanna, W. (2010): Business Intelligence - Grundlagen und praktische Anwendungen, 3. Aufl., Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden.
- Kletti, J. (2007): Konzeption und Einführung von MES-Systemen, 1. Aufl., Springer, Berlin u.a.
- Kletti, J.; Schumacher, J. (2011): Die perfekte Produktion. Manufacturing Excellence durch Short Interval Technology, Springer, Berlin u.a.
- Koch, S. (2011): Einführung in das Management von Geschäftsprozessen. Six Sigma, Kaizen und TQM, Springer, Berlin u.a.
- Lödding, H. (2008): Dezentrale Bestandsorientierte Fertigungsregelung. In: Lödding, H. (Hg.): Verfahren der Fertigungssteuerung, Springer, Berlin u.a., S. 423–440.

- Loos, P. (1998): Integriertes Prozessmanagement direkter und indirekter Bereiche durch Workflow-Management, in: *Industrie-Management: Zeitschrift für industrielle Geschäftsprozesse* (2), S. 13–18.
- Louis, P. (2009): Manufacturing Execution Systems. Grundlagen und Auswahl, Gabler Verlag, Wiesbaden.
- Lustig, I.; Dietric, B.; Johnson, C.; Dziekan, C. (2010): The Analytics Journey, in: *Analytics Magazine*, S. 11–18.
- Main, J.; Dillon, T. S.; Shiu, S. C. (2001): A Tutorial on Case Based Reasoning. In: Pal, S. K., Dillon, T. S., Yeung, D. S. (Hg.): *Soft Computing in Case Based Reasoning*, Springer, London, S. 1–28.
- Mingers, J. (1989a): An Empirical Comparison of Pruning Methods for Decision Tree Induction, in: *Machine Learning*, 4 (2), S. 227–243.
- Mingers, J. (1989b): An empirical comparison of selection measures for decision-tree induction, in: *Machine Learning*, 3 (4), S. 319–342.
- Moxham, C.; Greatbanks, R. (2001): Prerequisites for the implementation of the SMED methodology: A study in a textile processing environment, in: *International Journal of Quality & Reliability Management*, 18 (4), S. 404–414.
- Mutschler, B.; Reichert, M. (2006): Business Process Intelligence, in: *EMISA Forum*, 26 (1), S. 27–31.
- Niedermann, F.; Pavel, A.; Mitschang, B. (2011a): Beyond Roles: Prediction Model-Based Process Resource Management. In: Abramowicz, W., Maciaszek, L. A., Wecel, K. (Hg.): *Business Information Systems Workshops - BIS 2011 International Workshops and BPSC International Conference*, Posen, 15.06.2011 - 17.06.2011, Springer, Berlin, S. 5–17.
- Niedermann, F.; Radeschütz, S.; Mitschang, B. (2010): Design-Time Process Optimization through Optimization Patterns and Process Model Matching. In: Chao, K., Huemer, C., Hofreiter, B. L. Y., Shah, N. (Hg.): *12th Conference on Commerce and Enterprise Computing*, IEEE Computer Society, Los Alamitos, S. 48–55.
- Niedermann, F.; Radeschütz, S.; Mitschang, B. (2011b): Business Process Optimization Using Formalized Optimization Patterns. In: Abramowicz, W. (Hg.): *Business Information Systems - 14th International Conference*, Posen, 15.06.2011 - 17.06.2011, Springer, Berlin, S. 123–135.
- Oates, T.; Jensen D. (1998): Large datasets lead to overly complex models: An explanation and a solution. In: Agrawal, R. (Hg.): *Proceedings of the Fourth International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, AAAI Press, Menlo Park,, S. 294–298.
- Ohno, T. (2008): *Toyota production system: beyond large-scale production*, Productivity Press, New York.
- Osei-Bryson, K. (2004): Evaluation of decision trees: a multi-criteria approach, in: *Computers & Operations Research*, 31 (11), S. 1933–1945.
- Pegels, C. C.; Watrous, C. (2005): Application of the theory of constraints to a bottleneck operation in a manufacturing plant, in: *Journal of Manufacturing Technology Management*, 16 (3), S. 302–311.

- Rahman, S.-u. (1998): Theory of constraints: a review of the philosophy and its applications, in: *International Journal of Operations & Production Management*, 18 (4), S. 336–355.
- Schmelzer, H. J.; Sesselmann, W. (2008): *Geschäftsprozessmanagement in der Praxis*, 6. Aufl., Hanser, München.
- Schuh, G.; Kampker, A. (2011): *Strategie und Management produzierender Unternehmen*, 2. Aufl., Springer, Dordrecht.
- Schuh, G.; Stich, V. (2012): *Produktionsplanung und -steuerung 1. Grundlagen der PPS*, 4. Aufl., Springer, Berlin.
- Staud, J. L. (2006): *Geschäftsprozessanalyse. Ereignisgesteuerte Prozessketten und objektorientierte Geschäftsprozessmodellierung für Betriebswirtschaftliche Standardsoftware*, Springer, Dordrecht.
- Stein, R. E. (1997): *The theory of constraints. Applications in quality and manufacturing*, 2. Aufl., Marcel Dekker, New York.
- Töpfer, A. (2009): *Lean Six Sigma. Erfolgreiche Kombination von Lean Management, Six Sigma und Design for Six Sigma*, 1. Aufl., Springer, Berlin u.a.
- Toutenburg, H.; Knöfel, P.; Kreuzmair, I.; Schomaker, M.; Williams-Boeker, D. (2009): *Six Sigma*, 2. Aufl., Springer, Dordrecht.
- Vahrenkamp, R. (2008): *Produktionsmanagement*, 6. Aufl., Oldenbourg, München.
- van der Aalst, W. (2001): Re-engineering knock-out processes, in: *Decision Support Systems*, 30 (4), S. 451–468.
- van der Aalst, W.; van Hee, K. (2004): *Workflow management. Models, methods and systems*, 1. Aufl., MIT Press, Cambridge.
- Vetlugin, A. (2012): *A Process Insight Repository supporting Process Optimization*, Masterarbeit, Universität Stuttgart, Stuttgart.
- Westkämper, E. (2006): *Einführung in die Organisation der Produktion*, Springer, Berlin u.a.
- Zelewski, S.; Hohmann, S.; Hügens, T. (2008): *Produktionsplanungs- und -steuerungssysteme: Konzepte und exemplarische Implementierungen mit Hilfe von SAP R/3*, 1. Aufl., Oldenbourg, München.

Erklärung

Erklärung gemäß § 14 Abs. 5 und Abs. 6 der Prüfungsordnung der Universitäten Hohenheim und Stuttgart für den Masterstudiengang Wirtschaftsinformatik

Hiermit erkläre ich, dass ich die Masterarbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Alle Stellen der Arbeit, die wörtlich oder sinngemäß aus Veröffentlichungen oder aus anderweitigen fremden Äußerungen entnommen wurden, sind als solche einzeln kenntlich gemacht.

Die Masterarbeit habe ich noch nicht in einem anderen Studiengang als Prüfungsleistung verwendet.

Des Weiteren erkläre ich, dass mir weder an den Universitäten Hohenheim und Stuttgart noch an einer anderen wissenschaftlichen Hochschule bereits ein Thema zur Bearbeitung als Masterarbeit oder als vergleichbare Arbeit in einem gleichwertigen Studiengang vergeben worden ist.

Stuttgart-Hohenheim, den 16.04.2013

Moritz Dapperheld