

# Wissensbasierte Ansätze für das operative Produktionsmanagement in der flexibilitätsorientierten Prozessindustrie

Dissertation  
von  
Mag. Christian Rainer



Eingereicht am  
Lehrstuhl Wirtschafts- und Betriebswissenschaften  
der Montanuniversität Leoben

Leoben, Mai 2013

## **Eidesstattliche Erklärung**

Ich erkläre an Eides statt, dass ich diese Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfsmittel bedient habe.

Leoben, Mai 2013

Christian Rainer

## Danksagung

Diese Dissertation ist das Ergebnis eines gemeinsamen Forschungsprojektes des Lehrstuhls Wirtschafts- und Betriebswissenschaften der Montanuniversität Leoben mit der AMAG rolling GmbH, einem Tochterunternehmen der AMAG Austria Metall AG. Das Projekt wurde mit dem Titel „Flexibilitätsorientierte Produktionsplanung und –steuerung“ im Mai 2010 gestartet und im Juni 2012 beendet.

An dieser Stelle bedanke ich mich bei der Geschäftsführung der AMAG rolling GmbH, Herrn Dipl.-Ing. Anton Eberle und Herrn Ing. Mag. Georg Weger, sowie beim für F&E zuständigen Technikvorstand der AMAG Austria Metall AG, Herrn Priv. Doz. Dipl.-Ing. Dr. Helmut Kaufmann, für das entgegengebrachte Vertrauen sowie für die offene und konstruktive Zusammenarbeit, die dieses Forschungsvorhaben überhaupt erst ermöglicht haben. Weiters danke ich allen beteiligten Mitarbeitern bei der AMAG rolling GmbH, die mir durch ihre Zusammenarbeit ein praxisnahes Dissertationsprojekt ermöglichten. Ohne jeden einzelnen beim Namen zu nennen, möchte ich das Geschäftsoptimierungsteam, Herrn Josef Schnitzlbaumer und Herrn Christoph Lobe, und vor allem den Leiter der Produktionsplanung, Herrn Dipl.-Ing. (FH) Christian Grubmüller, hervorheben, welche mit ihrem Rat und ihrer Unterstützung maßgeblich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Spezieller Dank gilt dem Leiter des Departments für Wirtschafts- und Betriebswissenschaften an der Montanuniversität Leoben, Herrn o.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Hubert Biedermann, für die Betreuung der Arbeit und Begleitung des Dissertationsprozesses. Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jochen Deuse, Leiter des Lehrstuhls für Arbeits- und Produktionssysteme an der Technischen Universität Dortmund, danke ich für die Übernahme der Zweitbegutachtung.

Schlussendlich bedanke ich mich herzlich bei meiner Familie, meiner Frau sowie meinen Kindern, die sich in der stressigen Zeit in viel Geduld üben mussten, und denen ich oft zu wenig Zeit und Aufmerksamkeit widmen konnte.

## Kurzzusammenfassung

Der Anfang der 1990er Jahre einsetzende Trend in Richtung einer kundenindividuellen Produktion führte zur Weiterentwicklung von Produktionsstrategien wie Computer Integrated Manufacturing, Total Quality Management, Lean Management und Agile Manufacturing. Agile Manufacturing zielt vor allem auf eine höhere Flexibilität der Produktion ab, d.h. die Fähigkeit eines Produktionssystems, sich an unvorhergesehene Veränderungen von Produktionssituationen anzupassen. Auf der anderen Seite führte die rasante Entwicklung der IT zu einer Verbesserung der computergestützten Produktionsplanung- und Steuerungssysteme und zur Entwicklung von wissensbasierten Ansätzen.

An dieser Stelle setzt die vorliegende Arbeit an. Das Ziel besteht darin einen Beitrag zur Lösung von Forschungsfragen zu leisten, welche sich mit wissensbasierten Ansätzen zur Analyse und Verbesserung von Produktionssystemen auseinandersetzen. Der Fokus liegt dabei auf flexibilitätsorientierten Produktionssystemen der Prozessindustrie, welche bisher in der Forschung noch wenig betrachtet wurden. Kern dieser Arbeit ist die Beantwortung der Frage, mit welchen wissensbasierten Ansätzen das operative Produktionsmanagement in der flexibilitätsorientierten Prozessindustrie gestaltet und verbessert werden kann.

Nach einer betriebstypologischen Charakterisierung der flexibilitätsorientierten Prozessindustrie wird dazu ein - auf bestehenden Supply Chain Managementansätzen basierendes - Verfahren für die kollaborative Materialbedarfsplanung entwickelt. Durch Verbesserung des Wissenstransfers konnte dadurch die Liefertreue am Beispiel einer Supply Chain der Aluminiumindustrie deutlich gesteigert werden. Weiters beschäftigt sich diese Arbeit mit Data-Mining und erläutert den Einsatz von Data-Mining Methoden, um potenziell nützliches Wissen zu entdecken, das in bestehenden Daten der Produktionsplanungssysteme implizit vorhanden ist, und zur Ableitung von Planungsregeln sowie zur Verbesserung logistischer Zielgrößen beitragen kann. Die Anwendung des Vorgehenskonzeptes resultiert in einen Ansatz für eine wissensbasierte Produktionsplanung und brachte in einem flexibilitätsorientierten integrierten Aluminiumwalzwerk eine signifikante Reduktion der Durchlaufzeit und Bestände für eine definierte Prozessstrecke.

Verallgemeinert können mit dieser als Lean-Data-Mining bezeichneten Vorgehensweise Verschwendungen in der Produktion mittels Data-Mining entdeckt werden, mit dem Ziel Verbesserungsmaßnahmen abzuleiten und die Prozesse mit möglichst geringer Verschwendung, wie mit möglichst kurzen Durchlaufzeiten, also Lean zu gestalten.

## **Abstract**

The early 1990s onset trend towards customized production led to the development of production strategies such as Computer Integrated Manufacturing, Total Quality Management, Lean Management and Agile Manufacturing. Agile Manufacturing aims mainly to a higher flexibility of production, ie the ability of a production system to adapt to unforeseen changes in production situations. On the other hand, the rapid development of IT has led to an improvement of the computer-based production planning and control systems and the development of knowledge-based approaches.

At this point is where the present work starts. The aim is to contribute to the solution of research questions that deal with knowledge-based approaches to the analysis and improvement of production systems. The focus is on flexibility-oriented production systems in the process industry, which have been considered less in the research. The core of this work is to answer the question which knowledge-based approaches are suitable to design and improve the operational production management in a flexibility-oriented process industry.

After a characterization of the flexibility-oriented process industry a method for collaborative MRP is developed that is based on existing supply chain management approaches. By improving the transfer of knowledge delivery reliability was significantly increased by the example of a supply chain in the aluminum industry. Furthermore, this work deals with data mining and explains the use of data mining methods to discover potentially useful knowledge that is implicitly present in existing data of production planning systems and can help to derive scheduling rules and improve logistical targets. The application of the concept results in an approach to a knowledge-based production planning system and brought a significant reduction in processing time and resources for a defined process route in a flexibility-oriented integrated aluminum rolling mill.

With the developed so-called lean data mining approach wastes in production can be discovered using data mining with the aim to derive improvement actions and to design processes with minimum waste, like short lead times, that means lean.

# Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	vi
Abbildungsverzeichnis .....	ix
Tabellenverzeichnis.....	xii
Abkürzungsverzeichnis .....	xiii
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1 Ausgangssituation .....	1
1.2 Forschungsrelevanz .....	2
1.3 Zielsetzung und Forschungsfragen .....	6
<b>2 Epistemologische Grundlagen .....</b>	<b>8</b>
2.1 Forschungsdesign .....	8
2.1.1 Wissenschaftliche Einordnung der Arbeit .....	8
2.1.2 Vorgehen und Aufbau der Arbeit .....	10
2.2 Forschungsmethoden.....	12
2.2.1 Qualitative Forschung.....	13
2.2.2 Empirischer Forschungsprozess.....	14
2.2.3 Datenerhebung.....	15
2.2.4 Datenanalyse.....	17
2.2.5 Quantitative Methoden in der Betriebswirtschaft.....	18
<b>3 Grundlagen des operativen Produktionsmanagements .....</b>	<b>21</b>
3.1 Grundbegriffe des operativen Produktionsmanagements .....	21
3.1.1 Produktionssysteme.....	21
3.1.2 Produktionsmanagement.....	23
3.1.3 Regelkreis des Produktionsmanagements .....	25
3.2 Produktionsplanung und-steuerung.....	28
3.2.1 Produktionsprogrammplanung.....	29
3.2.2 Produktionsprozessplanung .....	31
3.2.3 Bereitstellungsplanung .....	33
3.3 Systeme zur Produktionsplanung und -steuerung.....	34
3.3.1 ERP Systeme .....	34
3.3.2 Supply Chain Management Systeme .....	37
3.3.3 Manufacturing Execution Systeme.....	38
3.4 Zielsystem in der Produktion.....	40
3.4.1 Ziele in der Produktion.....	40
3.4.2 Anlagenbezogene Kennzahlen.....	42
3.4.3 Durchlaufzeit.....	44
3.4.4 Terminabweichung und Termintreue .....	46
3.4.5 Bestände .....	47
3.4.6 Bewertung der Ziele .....	48
3.4.7 Balanced Scorecard für die Produktion.....	51
3.5 Modell des operativen Produktionsmanagements .....	55

---

<b>4</b>	<b>Charakterisierung eines flexibilitätsorientierten Produktionssystems in der Prozessindustrie</b> .....	<b>58</b>
4.1	Das Produktionsnetzwerk nach dem Aachener PPS-Modell.....	58
4.2	Prozessindustrie .....	60
4.3	Flexibilität.....	65
4.3.1	Flexible Produktionssysteme.....	67
4.3.2	Definition und Arten von Flexibilität .....	68
4.3.3	Flexible Planung.....	75
4.4	Betriebstypologische Merkmale der flexibilitätsorientierten Prozessindustrie .....	76
4.5	Kritische Analyse bestehender Planungskonzepte .....	86
4.6	Zusammenfassung und Überleitung.....	91
<b>5</b>	<b>Konkretisierung der Planungsspezifika anhand eines Fallbeispiels</b> .....	<b>94</b>
5.1	Aluminiumindustrie.....	94
5.2	Systemorientierte Betrachtung des Produktionssystems.....	100
5.2.1	Die Wertschöpfungskette in der Aluminiumindustrie .....	100
5.2.2	Unternehmens- und Systemübersicht.....	101
5.2.3	Produktstruktur .....	102
5.2.4	Walzbarrenproduktion und Gießerei .....	103
5.3	Spezifika des flexibilitätsorientierten Produktionssystem.....	104
5.3.1	Variantenkonfiguration .....	104
5.3.2	Produktvielfalt .....	106
5.3.3	Flexible Auftragsstruktur .....	111
5.3.4	Arbeitsplankonfigurator.....	113
5.3.5	Planungsbesonderheiten .....	116
5.4	Zusammenfassung und Überleitung.....	123
<b>6</b>	<b>Vorgehensmodell für die Materialbedarfsplanung</b> .....	<b>126</b>
6.1	Wertstromorientierte Analyse .....	126
6.2	Materialbedarfsplanung.....	128
6.2.1	Verfahren der Materialbedarfsplanung.....	128
6.2.2	Analyse der Materialwirtschaft.....	132
6.3	Supply Chain Management Ansätze .....	140
6.3.1	Grundlagen des Supply Chain Managements.....	140
6.3.2	Collaborative Planning Forecasting and Replenishment .....	143
6.3.3	Postponement .....	146
6.3.4	Analyse der Variantenbildungspunkte .....	149
6.4	Collaborative Material Requirement Planning.....	153
6.5	Zusammenfassung und Überleitung.....	158
<b>7</b>	<b>Vorgehenskonzept zur Ableitung von Planungsregeln mit Data-Mining</b> .....	<b>159</b>
7.1	Grundlagen zu Data-Mining .....	159
7.2	Data-Mining Methoden .....	161
7.2.1	Multivariate Methoden der Statistik .....	161
7.2.2	Clusteranalyse .....	162
7.2.3	Methoden aus dem Maschinellen Lernen .....	166
7.2.4	Zusammenfassung der Data-Mining Methoden .....	171
7.3	Der Data-Mining Prozess.....	174

---

7.3.1	KDD-Prozess.....	174
7.3.2	CRISP-DM-Prozess .....	176
7.3.3	SEMMA-Prozess .....	178
7.4	Data-Mining in der Produktion.....	179
7.5	Vorgehensmodell zur Ableitung und Wirkungskontrolle von Planungsregeln.....	184
7.6	Zusammenfassung und Überleitung.....	195
<b>8</b>	<b>Konkretisierung und Validierung des Vorgehenskonzeptes anhand des Fallbeispiels .....</b>	<b>196</b>
8.1	Phase 1: Systemabgrenzung und Strukturanalyse .....	196
8.1.1	Fertigungsebenen.....	196
8.1.2	Abgrenzung des anlagenbezogenen Mikrosystems.....	198
8.2	Phase 2: Zielformulierung .....	201
8.2.1	Produktionskennlinien .....	201
8.2.2	Logistische Positionierung und Ableitung der Zielgröße .....	208
8.3	Phase 3: Analyse der Datenstruktur .....	209
8.4	Phase 4: Datenbeschaffung.....	212
8.4.1	Selektion.....	212
8.4.2	Aufbereitung.....	213
8.4.3	Transformation .....	214
8.5	Phase 5: Data-Mining.....	214
8.5.1	Verfahrens- und Softwareauswahl.....	214
8.5.2	Data-Mining mittels Clusteranalyse.....	215
8.6	Phase 6: Interpretation und Evaluation.....	219
8.7	Phase 7: Planungsregeln implementieren.....	222
8.8	Phase 8: Wirkungskontrolle.....	224
8.8.1	Kennzahlensystem.....	224
8.8.2	Auswirkung der neuen Planungsregeln auf die Durchlaufzeit.....	226
8.9	Resümee .....	228
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>229</b>
	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>231</b>
	<b>Anhang .....</b>	<b>250</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aspektbezogene Betrachtung des Forschungsvorhabens.....	2
Abbildung 2: Prozessindustrie in der Produkt-Prozessmatrix .....	3
Abbildung 3: Historische Phasen der Produktion .....	5
Abbildung 4: Forschungsansatz der entscheidungsorientierten Betriebswirtschaftslehre .....	9
Abbildung 5: Aufbau der Arbeit.....	11
Abbildung 6: Phasen eines empirischen Forschungsprozesses.....	14
Abbildung 7: Von den Daten über die Information zum Wissen .....	17
Abbildung 8: Anwendung empirischer Methoden im Zeitablauf.....	19
Abbildung 9: Anwendung empirischer Methoden nach Funktionsbereichen .....	19
Abbildung 10: Quantitative Ansätze für die drei Schwerpunktbereiche der Produktionsplanung.....	20
Abbildung 11: Grundbegriffe zur Systemdefinition .....	22
Abbildung 12: Produktionssystem in seiner Umwelt .....	23
Abbildung 13: Elemente des Produktionsmanagements .....	24
Abbildung 14: Regelkreis des Produktionsmanagements .....	25
Abbildung 15: Charakterisierung strategischer, taktischer und operativer Entscheidungen .....	26
Abbildung 16: Stell- und Regelgrößen eines hierarchischen Produktionsmanagements.....	27
Abbildung 17: Einordnung der Planungsbereiche der Produktionsprozessplanung.....	32
Abbildung 18: Bausteine des MRP II Konzeptes .....	35
Abbildung 19: Funktionale 3-Schicht Architektur der ISA .....	39
Abbildung 20: Einordnung der Aufgaben von MES.....	39
Abbildung 21: Input-Output Performance Kennzahlen.....	41
Abbildung 22: Zielsystem der Produktionslogistik.....	41
Abbildung 23: Verfügbarkeitsarten .....	44
Abbildung 24: Auftrags- und Vorgangsbezogene Durchlaufzeitanteile .....	45
Abbildung 25: EVA-Treiberbaum logistischer Zielgrößen .....	49
Abbildung 26: Bewertungsinstrumentarium zur Zielerreichung der Produktionsprozessplanung .....	50
Abbildung 27: Ablauf zur Erstellung einer Balanced Scorecard.....	52
Abbildung 28: Balanced Scorecard der Produktion.....	54
Abbildung 29: Strategy Map für die Produktion .....	54
Abbildung 30: Basismodell des operativen Produktionsmanagements .....	56
Abbildung 31: Merkmale zur Typologisierung von Produktionsnetzwerken .....	58
Abbildung 32: Hybridfertigung.....	59
Abbildung 33: Wettbewerbsfaktoren .....	66
Abbildung 34: Einsatzbereich flexibler Fertigungskonzepte.....	67
Abbildung 35: Produktionswirtschaftliche Flexibilitätsarten.....	69
Abbildung 36: Beziehungen zwischen den Flexibilitätsarten .....	70
Abbildung 37: Bevorratungsstrategien.....	79
Abbildung 38: Normstrategien zur Auswahl der Bevorratungsstrategie .....	79
Abbildung 39: Fehlerkreis der Fertigungssteuerung.....	88
Abbildung 40: Anwendungsfelder der Fertigungssteuerungsverfahren.....	89
Abbildung 41: Flexibilität im Produktionsmanagement.....	92
Abbildung 42: Weltweite Jahresproduktion von Metallen im Jahr 2005 in Tonnen .....	95
Abbildung 43: Bezeichnung von Aluminiumlegierungen .....	97

Abbildung 44: Warmwalzstrecke für ein Bandwalzwerk .....	99
Abbildung 45: Wertschöpfungskette der AMAG Gruppe .....	100
Abbildung 46: Materialflussübersicht des integrierten flexibilitätsorientierten Walzwerks ....	102
Abbildung 47: Produktstruktur Aluminiumhalbzeug .....	102
Abbildung 48: Gießwellen .....	104
Abbildung 49: Produktkonfiguration in einem Walzwerk .....	106
Abbildung 50: Geschäftsfelder für Aluminiumhalbzeug anhand des Fallbeispiels .....	108
Abbildung 51: Entity-Relationship Diagramm eines Betriebsauftrages .....	111
Abbildung 52: Flexible Auftragsstruktur .....	112
Abbildung 53: Konfigurationsmodell für Vertrieb und Fertigung .....	114
Abbildung 54: Systemübersicht Arbeitsplangenerator .....	115
Abbildung 55: Materialflussübersicht Walzwerk mit Warmlinie .....	117
Abbildung 56: Reihenfolge der Anlagenreihenfolgeplanung im Kaltwalzwerk .....	119
Abbildung 57: Planungsablauf Kaltwalzwerk .....	122
Abbildung 58: Wissensbasierte Ansätze für das operative Produktionsmanagement .....	125
Abbildung 59: Wertstromorientierte Analyse .....	128
Abbildung 60: Stochastische Bedarfsermittlung .....	130
Abbildung 61: Stochastische und deterministische Bedarfsermittlung .....	131
Abbildung 62: Klassifikation Methoden der Materialbedarfsplanung .....	132
Abbildung 63: ABC-Analyse Walzbarrenverbrauch .....	133
Abbildung 64: Variationskoeffizient Walzbarrenverbrauch 2010 .....	135
Abbildung 65: Wöchentlicher Materialbedarf für 3 Produkte .....	138
Abbildung 66: Aggregierter 3-wöchiger Materialbedarfsverlauf mit Trends für 3 Produkte ..	138
Abbildung 67: Handlungsfelder im dynamischen Bestandsmanagement .....	139
Abbildung 68: Definition von Supply Chain Management .....	140
Abbildung 69: Aufgaben des Supply Chain Managements .....	141
Abbildung 70: CPFR innerhalb des ECR-Konzeptes .....	143
Abbildung 71: CPFR-Prozessmodell .....	144
Abbildung 72: CPFR durch Einführung logistischer Regelkreise .....	146
Abbildung 73: Paradigmenwechsel von der traditionellen Produktion zum flexiblen Produktionssystem .....	147
Abbildung 74: Die wesentlichsten Variantenbildungspunkte in einem Walzwerk .....	150
Abbildung 75: Ausgangssituation mit klassischer Materialbedarfsplanung .....	152
Abbildung 76: Vorgehensmodell für die kollaborative Materialbedarfsplanung (CMRP) .....	153
Abbildung 77: Variantenbildungspunkte einer Produktgruppe in zeitlicher Abfolge .....	154
Abbildung 78: Collaborative Material Requirement Planning (CMRP) .....	155
Abbildung 79: Zeitliche Entwicklung der Liefertreue nach der Einführung von CMRP .....	157
Abbildung 80: Verbesserung der Liefertreue nach Einführung des CMRP in KW .....	157
Abbildung 81: Datenkonstellationen mit erkennbarer und nicht erkennbarer Clusterstruktur	163
Abbildung 82: Klassifikation von Objekten .....	165
Abbildung 83: Prozess des überwachten maschinellen Lernens .....	166
Abbildung 84: Klassifizierung mittels Support Vector Machine (SVM)-Algorithmus .....	169
Abbildung 85: Die Schritte des KDD Prozesses .....	175
Abbildung 86: CRISP-DM Prozess .....	177
Abbildung 87: Zeitlicher Verlauf von Data-Mining Publikationen .....	183
Abbildung 88: Wissensbasiertes Produktionsplanungssystem .....	186
Abbildung 89: Auswirkung von Prioritätsregeln .....	188
Abbildung 90: Production-Excellence gemessen mit dem Lean-Performance-Index .....	190

Abbildung 91: Betrachtungsebenen von Produktionssystemen .....	192
Abbildung 92: Lean-Data-Mining Prozessmodell zur Verbesserung logistischer Zielgrößen	193
Abbildung 93: Ebenen des Produktionssystems .....	197
Abbildung 94: Mikrosystem KQ – Zugänge mit allen Zwischenschritten.....	198
Abbildung 95: Mikrosystem KQ – Zugänge mit allen Zwischenschritten je Stich.....	199
Abbildung 96: Zugänge mit Vorgänger vor erstem Bearbeitungsvorgang auf der fokalen Anlage KQ .....	200
Abbildung 97: Abgänge mit Nachfolger nach letztem Bearbeitungsvorgang auf der fokalen Anlage KQ .....	200
Abbildung 98: Visualisierung des Dilemmas der Ablaufplanung mit Produktionskennlinien	201
Abbildung 99: Trichtermodelle a und Durchlaufdiagramm b.....	204
Abbildung 100: Durchlaufdiagramm an der betrachteten Anlage.....	205
Abbildung 101: Bestandsverlauf an der betrachteten Anlage.....	205
Abbildung 102: Verteilung der Auftragszeiten am Kaltwalzgerüst .....	206
Abbildung 103: Verteilung der Durchlaufzeiten am Kaltwalzgerüst .....	206
Abbildung 104: Produktionskennlinien Kaltwalzgerüst.....	207
Abbildung 105: Logistische Positionierung am Fallbeispiel .....	208
Abbildung 106: Definition der Durchlaufzeitanteile .....	209
Abbildung 107: Vorgangsfolge Kaltwalzen.....	210
Abbildung 108: Durchlaufzeitpunkte bei einem Lossplit und Teillosbildung .....	211
Abbildung 109: Data Warehouse Komponenten.....	212
Abbildung 110: Datenbasis für die Durchlaufzeitenanalyse für eine Anlage und ein Betrachtungsjahr .....	213
Abbildung 111: ETL-Prozess.....	213
Abbildung 112: Vorgehensweise der Einflussfaktorenanalyse für Durchlaufzeiten.....	216
Abbildung 113: Clusterdiagramm.....	217
Abbildung 114: Abhängigkeitsnetzwerk.....	217
Abbildung 115: Ergebnisse der Einflussfaktorenanalyse am Beispiel KQ.....	218
Abbildung 116: Schwerpunktsetzung nach der Data-Mining Analyse.....	219
Abbildung 117: Anlage BB als Durchlaufzeittreiber identifiziert .....	220
Abbildung 118: Ergebnisse der Einflussfaktorenanalyse KQ-BB .....	220
Abbildung 119: Identifizierte Merkmale als Durchlaufzeittreiber einer Prozesstrecke .....	221
Abbildung 120: Interpretation der Ergebnisse mittels Ishikawa-Diagramm .....	221
Abbildung 121: Definition der Übergangszeit.....	224
Abbildung 122: Berichtsschema zum Controlling von Terminabweichungen und Durchlaufzeiten.....	225
Abbildung 123: Verlauf der Terminabweichung und Termintreue SGE A .....	226
Abbildung 124: Verlauf der Terminabweichung und Termintreue SGE B .....	226
Abbildung 125: Wirkung der Planungsregeln auf die Durchlaufzeit für die untersuchte Prozesstrecke .....	227
Abbildung 126: Änderung des Produktmixes nach dem Merkmal Qualität .....	227
Abbildung 127: Clusterkategorien .....	250
Abbildung 128: Kategoriebericht .....	250
Abbildung 129: Clusterprofile.....	251

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Prinzipien der qualitativen und quantitativen Forschung.....	13
Tabelle 2: Klassifizierung quantitativer Methoden.....	18
Tabelle 3: Einfluss der Produktionsprozessplanung auf die Durchlaufzeit .....	45
Tabelle 4: Perspektiven, Ziele und Kenngrößen für eine Lean BSC.....	52
Tabelle 5: Charakterisierung eines Hybridfertigungs-Netzwerks.....	60
Tabelle 6: Unterscheidungsmerkmale zwischen Prozess- und Fertigungsindustrie.....	61
Tabelle 7: Korrespondierende Begriffe in der diskreten und verfahrenstechnischen Produktion.....	65
Tabelle 8: Flexibilitätsarten nach Sethi/Sethi .....	71
Tabelle 9: Charakterisierung der flexibilitätsorientierten Prozessindustrie.....	77
Tabelle 10: Ausprägungen der Erzeugnisstruktur .....	78
Tabelle 11: Ausprägungen der Fertigungsart .....	80
Tabelle 12: Einsatzgebiete und Vorteile der Organisationstypen .....	80
Tabelle 13: Fertigungsarten und Organisationstypen .....	82
Tabelle 14: Morphologie zur Beurteilung der Materialflusskomplexität aus Planungs- und Steuerungssicht.....	85
Tabelle 15: MRPII-/ERP oder LEAN-/JIT-Konzepte versus Prozessorientierte Konzepte ..	86
Tabelle 16: Merkmale der Prozessindustrie, welche die Anwendung von Lean-Methoden erschweren .....	87
Tabelle 17: Gliederungen der Aluminiumlegierungen nach der DIN EN 573-3.....	97
Tabelle 18: Merkmale für die Produktkonfiguration .....	107
Tabelle 19: Unterschiede zwischen SGF und SGE .....	107
Tabelle 20: Betriebstypologische Einordnung des Fallbeispiels.....	124
Tabelle 21: Verfahren der Bedarfsermittlung .....	129
Tabelle 22: Beispiel zur Kategorisierung der Walzbarrenverbräuche nach der XYZ-Analyse	134
Tabelle 23: Ergebnis der XYZ-Analyse der Walzbarrenverbräuche .....	134
Tabelle 24: Kombinierte ABC- und XYZ-Analyse.....	136
Tabelle 25: Ergebnisse der Zeitreihenanalyse .....	137
Tabelle 26: Beispielhafte Walzbarrenvorschau .....	156
Tabelle 27: Kategorisierung Liefertreue .....	156
Tabelle 28: Begriffe für Datenanalyse und Mustererkennung.....	160
Tabelle 29: Systematisierung der multivariaten Verfahren.....	162
Tabelle 30: Hierarchische Klassifikationsverfahren.....	164
Tabelle 31: Einsatz von Methoden/Algorithmen in der Datenanalyse .....	172
Tabelle 32: Eingesetzte Data-Mining Methoden in Industrie und Forschung .....	172
Tabelle 33: Zuordnung der Verfahren des Data-Mining .....	173
Tabelle 34: Einsatz von Data-Mining Methoden .....	174
Tabelle 35: Vergleich zwischen KDD, SEMMA und CRISP-DM.....	178
Tabelle 36: Methoden zur Analyse und Verbesserung von Produktionssystemen .....	179
Tabelle 37: Datenmatrix für Data-Mining.....	214
Tabelle 38: Beispielhafte Planungsregeln.....	223
Tabelle 39: Anwendung der Planungsregeln anhand eines Beispiels .....	223
Tabelle 40: Data-Mining im DMAIC-Regelkreis .....	228

## Abkürzungsverzeichnis

APS	Advanced Planning System oder Advanced Planning and Scheduling
AV	Arbeitsvorgang
BI	Business Intelligence
BKT	Betriebskalendertag
BSC	Balanced Scorecard
BT	Betriebsfreier Tag
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
CART	Classification And Regression Tree
CIM	Computer Integrated Manufacturing
CMRP	Collaborative Material Requirement Planning
COPQ	Cost of poor Quality
CPFR	Collaborative Planning Forecasting and Replenishment
CRISP-DM	Cross-Industry Standard Process for Data-Mining
Diss.	Dissertation
DMAIC	Define, Measure, Analyze, Improve, Control
ECR	Efficient Consumer Response
EDI	Electronic Data Interchange
EMC	Electromagnetic Casting
ERP	Enterprise Resource Planning
EVA	Economic Value Added
f.	folgende Seite
ff.	folgende Seiten
GS	Geplanter Stillstand
HIPO	Hierarchie + Input-Process-Output
Hrsg.	Herausgeber
IfaA	Institut für angewandte Arbeitswissenschaften
ISA	International Society of Automation
JIT	Just in Time
KDD	Knowledge Discovery in Databases
LHC	Low Head Composite
LPI	Lean Performance Indicator
ME	Mengeneinheit
MES	Manufacturing Execution System
MESA	Manufacturing Execution System Association
MOS	Manufacturing Operation System
MRP	Material Requirement Planning
MRP II	Manufacturing Ressource Planning
NOA	Net Operating Asset

---

NOPAT	Net Operating Profit After Tax
OEE	Overall Equipment Effectivness
OPP	Order Penetration Point
PPS	Produktionsplanung und –steuerung
QRS	Quick Response Service
ROA	Return on Assets
ROCE	Return on Capital Employed
ROI	Return on Investment
RW	Reichweite
S.	Seite
SCM	Supply Chain Management
SEMMA	Sample, Explore, Modify, Model, Assess
SGE	Strategische Geschäftseinheit
SGF	Strategisches Geschäftsfeld
SMED	Single Minute Exchange of Die
TAA	Abgangsterminabweichung
TAB	Bearbeitungsanfang Auftrag (Auftragsanstoß)
TAB <sub>Ist</sub>	Ist-Bearbeitungsanfang Auftrag (Auftragsanstoß)
TAB <sub>plan</sub>	Plan-Bearbeitungsanfang Auftrag (Auftragsanstoß)
TAE	Bearbeitungsende Auftrag
TAE <sub>Ist</sub>	Ist-Bearbeitungsende Auftrag
TAE <sub>plan</sub>	Plan-Bearbeitungsende Auftrag
TAR	relative Terminabweichung
TAZ	Zugangsterminabweichung
TBE	Termin Bearbeitungsende eines Arbeitsvorganges
TBEV	Termin Bearbeitungsende des Vorgänger-Arbeitsvorganges
TQM	Total Quality Management
et al.	et alteri oder et alii = und andere
vgl.	Vergleiche
VDI	Verein Deutsche Ingenieure
VMI	Vendor Managed Inventory
WACC	Weighted Average Cost of Capital
ZDA	Auftragsdurchlaufzeit
ZDA <sub>Ist</sub>	Ist-Durchlaufzeit Auftrag
ZDA <sub>plan</sub>	Plan-Durchlaufzeit Auftrag
ZDL	Durchlaufzeit (Arbeitsvorgang)

# 1 Einleitung

In diesem Kapitel erfolgt eine Einführung in die Problemstellung. Der erste Abschnitt gibt einen Überblick über die der Arbeit zugrunde liegende Ausgangssituation. Nach einer thematischen Einordnung des Forschungsvorhabens werden im zweiten Abschnitt forschungsrelevante Themen aufgezeigt, um dann im dritten Abschnitt die daraus abgeleiteten Forschungsfragen und die Zielsetzung dieser Arbeit zu erläutern

## 1.1 Ausgangssituation

In den letzten 20 Jahren vollzog sich in der industriellen Produktion eine starke Strukturveränderung. Ausgehend von einer explosionsartigen Steigerung der Produktvielfalt und komplizierteren Kunden-/Lieferanten-Beziehungen werden international agierende Unternehmen mit einer immer größer werdenden Komplexität und einem sich stetig ändernden dynamischen Umfeld konfrontiert, das zu schwer zu antizipierenden diskontinuierlichen Entwicklungen führt.<sup>1</sup> Flexibilität, als Fähigkeit eines Unternehmens, sich geänderten Umweltbedingungen anzupassen, wurde daher neben Kosten, Qualität und Zeit zu einem wichtigen strategischen Erfolgsfaktor.<sup>2</sup> Der Anfang der 1990er Jahre einsetzende Trend in Richtung einer kundenindividuellen Produktion führte damit zur Weiterentwicklung von Produktionsstrategien wie Computer Integrated Manufacturing (CIM), Total Quality Management (TQM), Lean Management und Agile Manufacturing.<sup>3</sup>

Das Agile Manufacturing zielt vor allem auf eine höhere Flexibilität der Produktion ab, d.h. die Fähigkeit eines Produktionssystems, sich an unvorhergesehene Veränderungen von Produktionssituationen anzupassen.<sup>4</sup> Betrachtet man die Entwicklung produzierender Unternehmen, stellt eine agile Produktion den vorläufigen Endpunkt auf der Suche nach mehr Flexibilität in einem dynamischer werdenden Umfeld dar.<sup>5</sup> Agile Unternehmen zeichnen sich durch eine schnelle Reaktion auf Veränderungen der Kundenwünsche aus und interagieren auf vielfältige Art und Weise mit ihren Geschäftspartnern. Zu den typischen Merkmalen dieser Unternehmen zählen unter anderem der Einsatz von fortschrittlichen Informations- und Kommunikationstechnologien, die die Entwicklung von Fähigkeiten und die Ansammlung von Wissen fördern, sowie ein hoher Integrationsgrad und eine Kultur, die Experimentieren, Lernen und Innovation unterstützt. Herkömmliche flexible Fertigungssysteme können die menschliche Flexibilität und Lernfähigkeit nur ungenügend in das Produktionssystem einbringen.<sup>6</sup> Damit gewinnt Wissen als Produktionsfaktor zunehmend an Bedeutung.

Vor diesem Hintergrund beschäftigt sich die vorliegende Arbeit mit wissensbasierten Ansätzen zur Analyse und Verbesserung des operativen Produktionsmanagements in einem flexibilitätsorientierten Produktionssystem. Der Fokus liegt dabei auf einem flexibilitätsorientierten Produktionssystem in der Prozessindustrie, da diese üblicherweise durch eine geringe Flexibilität charakterisiert ist. Daher wurde die Prozessindustrie in der

---

<sup>1</sup> Vgl. Wannenwetsch (2009), S. 553

<sup>2</sup> Vgl. Pfohl (2009), S. 302; Kaluza/Blecker (2005a), S. 2ff

<sup>3</sup> Vgl. Rogalski (2011), S. 3f

<sup>4</sup> Vgl. Wycisk (2009), S. 110f

<sup>5</sup> Vgl. Friedli (2005), S. 153

<sup>6</sup> Vgl. Bullinger et al. (2003), S. 261

Literatur bezüglich Flexibilität im Gegensatz zur diskreten Fertigung, wie beispielsweise die Automobilindustrie, noch wenig betrachtet. Als Fallbeispiel dient ein Produktionssystem zur Herstellung von Aluminiumhalbzeug, das durch eine hohe Flexibilität gepaart mit einer hohen Komplexität und einer hohen Variantenvielfalt geprägt ist. Die für dieses Forschungsvorhaben relevanten Aspekte eines Produktionssystems sind in Abbildung 1 aus einer aspektbezogenen Betrachtungsperspektive dargestellt. Durch die Aspektsystem-Betrachtung können bestimmte Eigenschaften eines Produktionssystems in den Vordergrund gestellt bzw. die für diese Arbeit nicht bedeutsamen vernachlässigt werden.<sup>7</sup>

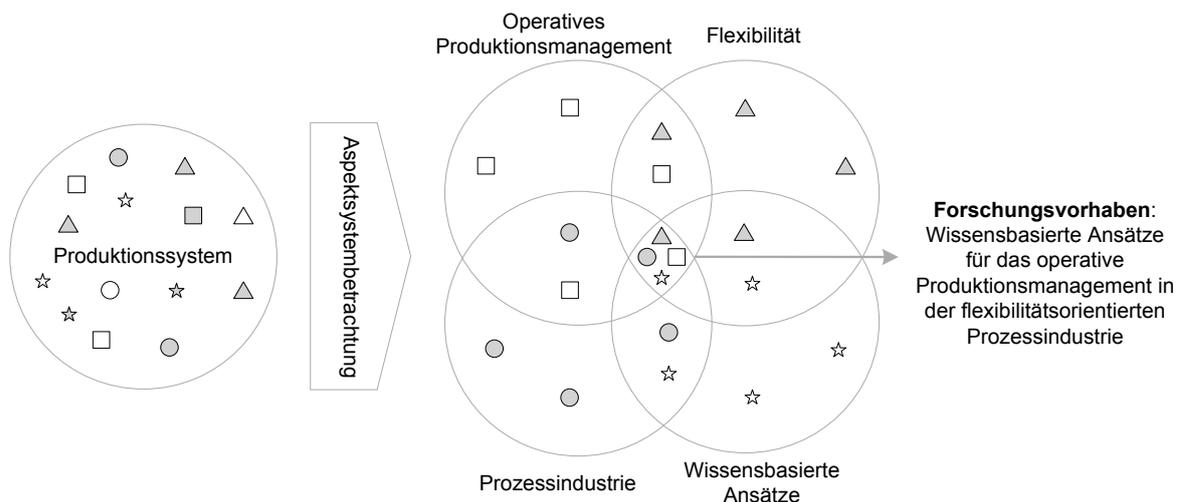


Abbildung 1: Aspektbezogene Betrachtung des Forschungsvorhabens

## 1.2 Forschungsrelevanz

Aus den vier Schwerpunktperspektiven werden in diesem Abschnitt der Forschungsbedarf und die Relevanz der behandelten Themenstellung konkretisiert.

### Flexibilität in der Prozessindustrie

Obwohl die Supply Chain der Prozessindustrie dadurch gekennzeichnet ist, dass ihre Performance sehr stark von der Flexibilität und Reaktionsfähigkeit des Produktionsprozesses abhängt, wurde diesem Thema in diesem Industriezweig noch nicht viel Aufmerksamkeit geschenkt.<sup>8</sup> Zu den Besonderheiten und spezifischen Problemstellungen innerhalb des operativen Produktionsmanagements in der flexibilitätsorientierten Prozessindustrie konnte bis jetzt noch kaum Literatur gefunden werden. Vermutlich ist das darauf zurückzuführen, dass die Prozessindustrie üblicherweise nur eine geringe Flexibilität erreicht, wie dies anhand der in Abbildung 2 dargestellten Produkt-Prozessmatrix ersichtlich ist. Berry und Cooper zeigten sogar, dass eine Zunahme der Produktvielfalt in der Prozessindustrie negative Auswirkungen auf Kosten und die Gewinnmarge bewirken kann.<sup>9</sup> Shah bemerkte auch, dass die Prozessindustrie das Konzept der Mass Customization, d.h. der kundenindividuellen Massenproduktion, noch nicht vollständig begriffen hat.<sup>10</sup>

<sup>7</sup> Vgl. Haberfellner/Daenzer (2002), S. 9

<sup>8</sup> Vgl. Shah (2005), S. 1233

<sup>9</sup> Vgl. Berry/Cooper (1999)

<sup>10</sup> Vgl. Shah (2005), S. 1233; zu Mass Customization siehe Piller (2006)

Da in der Literatur noch keine betriebstypologische Charakterisierung eines flexibilitätsorientierten Produktionssystems in der Prozessindustrie bekannt ist und auch keine Beschreibung der konkreten Planungsspezifika, die sich im operativen Produktionsmanagement anhand empirischer Fallbeispiele in einem solchen Produktionssystem ergeben, besteht hier noch Forschungsbedarf.

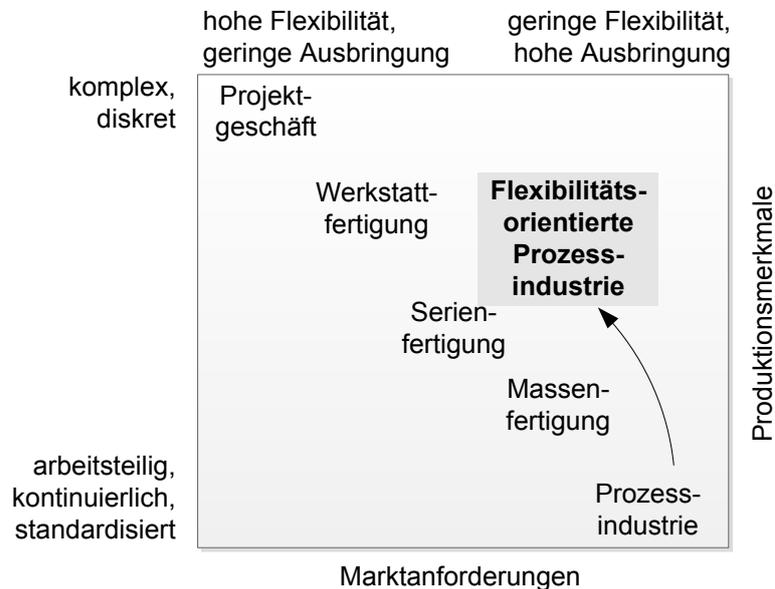


Abbildung 2: Prozessindustrie in der Produkt-Prozessmatrix<sup>11</sup>

### Produktionsmanagement in der Prozessindustrie

Die betriebswirtschaftlichen Entscheidungsprobleme des Produktionsmanagements betreffen vor allem die Produktionsplanung und –steuerung.<sup>12</sup> Als eine der Kernaufgaben der Produktionsplanung wird zunächst auf die Spezifika der Materialbedarfsplanung und danach auf die Besonderheiten in der Produktionsprozessplanung eingegangen, mit denen man in der Prozessindustrie konfrontiert ist.<sup>13</sup>

Bereits Schiewer stellte fest, dass herkömmliche Materialbedarfsplanungssysteme vor allem für flexibilitätsorientierte Produktionssysteme in der Prozessindustrie ohne aufwändige Adaptionen keine befriedigende Lösung bringen und daher neue Konzepte erforderlich sind.<sup>14</sup> Traditionelle Materialbedarfsplanungsverfahren basieren üblicherweise auf einer Klassifizierung der Produkte durch Artikel- oder Materialschlüssel, die in der Prozessindustrie zu einer nicht mehr überschaubaren und verwaltbaren Vielzahl von Produktnummern führen, wie das folgende Beispiel aus der Prozessindustrie veranschaulicht:<sup>15</sup> Ein Hersteller von Aluminiumbändern stellt ein bestimmtes Produkt mit der jeweiligen Spezifikation in einer variablen Breite von 500 bis 1000 Millimeter, einer Rollenlänge von 50 bis 100 Meter, und in fünf verschiedenen Beschichtungen her. Bei einer theoretisch möglichen Bandbreite pro

<sup>11</sup> Quelle: in Anlehnung an Jodlbauer (2008), S. 14

<sup>12</sup> Vgl. Kiener (2009), S. 1

<sup>13</sup> Eine umfassendere Ausführung zu den Aufgaben des Produktionsmanagements findet sich anschließend in Kapitel 3, in dem auch eine Eingrenzung des Forschungsvorhabens erfolgt.

<sup>14</sup> Vgl. Schiewer (1996)

<sup>15</sup> Vgl. ebenda

Zentimeter und einer Rollenlänge pro Meter würden sich 50 mal 50 mal 5, d.h. 12.500 unterschiedliche Artikelnummern für das gleiche Produkt ergeben.

Zusätzlich ergeben sich im Unterschied zur diskreten Fertigung in der Prozessindustrie, wie zum Beispiel in einem Walzwerk, aufgrund technologisch und verfahrensbedingter Restriktionen und Abhängigkeiten ein höherer Komplexitätsgrad und somit höhere Anforderungen an die Produktionsplanung und –steuerung. Schiefer hat bereits festgestellt, dass die Prozessindustrie in der logistischen Forschung aufgrund der hohen Komplexität dieser Produktionssysteme und der meist hohen Heterogenität des Produktionsprogrammes wenig betrachtet wird.<sup>16</sup> Zentrale Bestandteile ihrer Arbeit sind ein Bewertungsinstrumentarium, dessen Anwendung die Zielerreichung betreffend die Steigerung der Logistikleistung eines Produktionssystems überprüfen soll, und eine allgemeine Anleitung für die Produktionsprozessplanung in der Prozessindustrie. Die Anwendung des Konzeptes zur Optimierung logistischer Zielgrößen wurde anhand eines Fallbeispiels aus der Prozessindustrie am konkreten Beispiel eines Warmwalzwerkes (Blockwalzwerk) demonstriert und im Detail mit den einzelnen Phasen des Vorgehenskonzeptes beschrieben.

In diesem Vorgehenskonzept wird das Produktionssystem der Prozessindustrie auf der Meta-Ebene betrachtet, wodurch sich auch die Teile des Planungsalgorithmus auf die Meta-Ebene beziehen. Wie die Umsetzung am Fallbeispiel gezeigt hat, besteht jedoch die Herausforderung bei Produktionssystemen der Prozessindustrie darin, die Bearbeitungsreihenfolge der Aufträge so zu bestimmen, dass keine der meist zahlreichen verfahrenstechnischen Restriktionen verletzt wird. Für die Lösung dieser Problematik kann jedoch keine allgemeine Anleitung erstellt werden, da jedes Produktionssystem durch unterschiedliche Restriktionen charakterisiert ist.<sup>17</sup> In der Praxis ist es in der Prozessindustrie auch meistens unmöglich, alle Bedingungen in einem mathematischen Modell zu formulieren und eine realistische Schätzung der Kosteneffekte vorzunehmen.<sup>18</sup>

Daher besteht immer noch Forschungsbedarf bezüglich Vorgehensweisen zur Analyse sowie zur Optimierung des Produktionsplanungsprozesses, da die Optimierung der Produktionsprozessplanung ein bedeutendes Kriterium zur Verbesserung der logistischen Leistung eines Produktionssystems darstellt. Als weiteren Forschungsbedarf zeigt Schiefer auf, dass es interessant wäre, ihr Vorgehenskonzept um den Aspekt der Flexibilität zu erweitern, da eine hohe Reaktionsfähigkeit und –geschwindigkeit betreffend die Anforderungen des Marktes den Unternehmen einen wesentlichen Wettbewerbsvorteil verschaffen.<sup>19</sup>

Flexibilität in einem Unternehmen hängt einer Studie von Upton zufolge mehr von den Mitarbeitern ab, als von technischen Faktoren.<sup>20</sup> Anhand eines Beispiels aus der Prozessindustrie zeigte Upton, dass Mitarbeiter im Gegensatz zu computergestützten Lösungen mit ihrer Erfahrung bessere Rüstzeiten erzielen. Betriebliche Flexibilität wird damit primär durch die Mitarbeiter in der Produktion und auch durch das Ausmaß, mit dem die Führungskräfte mit diesen kommunizieren, determiniert. Die Maschinen und Computerintegration spielen dabei nur eine sekundäre Rolle. In der Prozessindustrie produziert ein Großteil der Unternehmen permanent oder zumindest zeitweise am

---

<sup>16</sup> Vgl. Schiefer (2009)

<sup>17</sup> Vgl. Schiefer (2009), S. 172

<sup>18</sup> Vgl. Berning et al. (2004), S. 913

<sup>19</sup> Vgl. Schiefer (2009), S. 204

<sup>20</sup> Vgl. Upton (1995)

Kapazitätslimit und verwendet selten computergestützte Optimierungssysteme. Da die Produktionsplanung weitestgehend den Anlagenfahrern überlassen wird, basiert die Planung daher im Wesentlichen auf Erfahrungswerten und Ermessensspielräumen.<sup>21</sup>

### Wissensbasierte Ansätze in der Prozessindustrie

Aus diesen Gründen scheinen wissensbasierte Ansätze in der Prozessindustrie besonders prädestiniert zu sein, zur Lösung der besonderen Planungsherausforderungen in diesem Unternehmenssektor beizutragen.

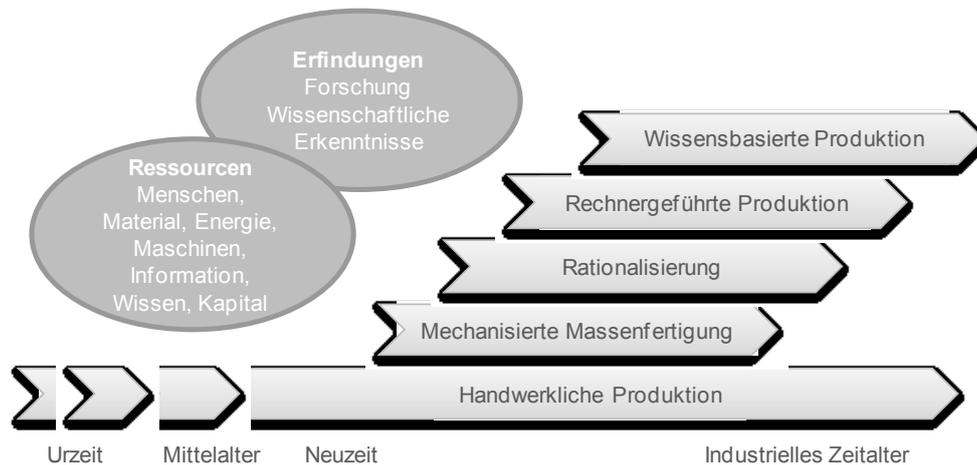


Abbildung 3: Historische Phasen der Produktion<sup>22</sup>

Betrachtet man die historische Entwicklung der industriellen Produktion, die mit einfachen Werkzeugen und Geräten begann, befindet man sich heute in der wissensbasierten Phase, die auf den wissenschaftlichen und technischen Fortschritten der letzten Jahrzehnte basiert. Diese wesentlichen Epochen sind in Abbildung 3 stark vereinfacht dargestellt. Die einzelnen Phasen werden insbesondere durch die Art des Einsatzes von Ressourcen, die zur Herstellung von Produkten verwendet werden, charakterisiert. Unter Ressourcen sind dabei nicht nur die elementaren Produktionsfaktoren zu verstehen, sondern auch die Ressourcen Information und Wissen.<sup>23</sup>

Information und Wissen kommen neben den materiellen und humanen Ressourcen der Mitarbeiter als weitere Ressource ins Spiel. Durch die Informations- und Kommunikationstechnik nimmt die Arbeitsteilung zwischen und innerhalb der Unternehmen zu. Der physische Materialfluss wird zunehmend mit dem Informationsfluss verknüpft und ermöglicht neue Kooperationen sowohl in der Produktentwicklung als auch in den logistischen Prozessen. Information und Wissen kommt nicht nur implizit aus den Köpfen der Mitarbeiter, sondern auch explizit über Netzwerke von beliebigen internen sowie externen Quellen entlang der Supply Chain.<sup>24</sup>

Nicht nur für ein Unternehmen, sondern auch für eine Supply Chain stellt Flexibilität einen der wesentlichen kritischen Erfolgsfaktoren dar, um unter komplexen Geschäftsbedingungen in einem dynamischen Umfeld mit kurzen Innovations- und Produktlebenszyklen erfolgreich

<sup>21</sup> Vgl. Schoner (2007), S. 1

<sup>22</sup> Quelle: in Anlehnung an Westkämper (2006), S. 6

<sup>23</sup> Vgl. Westkämper (2006), S. 5

<sup>24</sup> Vgl. Westkämper (2006), S. 21

sein zu können. Damit die zunehmende Unsicherheit und Komplexität bewältigt werden können, werden mehr Informationen benötigt. Ein Informationsaustausch zwischen den Unternehmen hat sich hierbei als effektive Strategie herausgestellt, um den Informationsfluss entlang der Supply Chain zu verbessern. Die dazu entwickelten Supply-Chain-Tools und Konzepte, wie Efficient Consumer Response (ECR), Vendor Managed Inventory (VMI) oder Collaborative Planning Forecasting and Replenishment (CPFR) wurden vor allem im Retailsektor eingeführt und der damit verbundene Informationsaustausch brachte Unternehmen wie Wal-Mart und Procter & Gamble die gewünschten Flexibilitätssynergien.<sup>25</sup> Die weitere Untersuchung der Potentiale dieser Konzepte abseits von Kooperationen zwischen Industrie und Handel war bis jetzt jedoch noch kaum Gegenstand der Forschung. Beispielsweise finden sich diese SCM-Ansätze noch nicht unter den gängigen Verfahren der Materialbedarfsplanung.

Da in der Literatur noch kein konkretes Vorgehensmodell für die kollaborative Materialbedarfsplanung in der Prozessindustrie bekannt ist, das abgeleitet aus bestehenden SCM-Ansätzen zur Verbreitung des erforderlichen Wissens entlang der Supply Chain beiträgt, besteht hier noch Forschungsbedarf.

Durch die rasante Entwicklung der IT verbesserten sich auch die computergestützten Produktionsplanungs- und Steuerungssysteme.<sup>26</sup> Aus der Fertigung stehen immer größere Datenmengen, quasi in Echtzeit, sowie in mehreren Dimensionen zur Verfügung. Damit ergibt sich für das Produktionsmanagement die Möglichkeit, das seit 30 Jahren verfolgte Ziel, optimale Pläne zu erstellen und diese auch umzusetzen, durch die optimale Nutzung von Fertigungsdaten mittels Analytic Manufacturing endlich zu verwirklichen.<sup>27</sup> Unter Analytic Manufacturing versteht Gronau die umfangreiche Nutzung von Daten, statistischen und quantitativen Analysen, Erklärungs- und Vorhersagemodellen und ein faktenbasiertes Produktionsmanagement, um Entscheidungen und Handlungen voran zu bringen.<sup>28</sup>

In der Literatur ist aber noch kein konkretes Vorgehensmodell bekannt, mit dem aus bestehenden Daten der Produktionsplanungssysteme implizit vorhandenes, potenziell nützliches Wissen entdeckt werden kann, das zur Ableitung von Planungsregeln und zur Verbesserung logistischer Zielgrößen beiträgt. Daher ergibt sich hier der nächste Forschungsbedarf.

### 1.3 Zielsetzung und Forschungsfragen

Basierend auf der beschriebenen Ausgangssituation und dem aufgezeigten Forschungsbedarf lässt sich die wissenschaftliche Kernfragestellung konkretisieren, die mit dieser Arbeit beantwortet werden soll:

**„Mit welchen wissensbasierten Ansätzen kann das operative Produktionsmanagement in der flexibilitätsorientierten Prozessindustrie gestaltet und verbessert werden?“**

Das Ziel dieser wissenschaftlichen Arbeit besteht damit darin, bestehende wissensbasierte Ansätze aus der Literatur zu identifizieren und entsprechend zu adaptieren, damit sie sich zur Gestaltung und Verbesserung des operativen Produktionsmanagements in einem

---

<sup>25</sup> Vgl. Qian et al. (2012), S. 550

<sup>26</sup> Vgl. Wannenwetsch (2009), S. 553

<sup>27</sup> Vgl. Gronau (2012a), S. 3

<sup>28</sup> Vgl. Gronau (2012b), S. 20

flexibilitätsorientierten Produktionssystem der Prozessindustrie eignen, logistische Zielgrößen zu verbessern. Aufgrund dieser Zielsetzung können die folgenden Forschungsfragen zu dem oben aufgezeigten Forschungsbedarf formuliert werden:

- (1) Welche theoretischen Grundlagen werden zur Beantwortung der wissenschaftlichen Kernfrage benötigt, und wie sieht dazu ein Basismodell des operativen Produktionsmanagements aus?
- (2) Welche betriebstypologischen Merkmale weist ein Produktionssystem in der flexibilitätsorientierten Prozessindustrie auf?
- (3) Welche Planungsspezifika weist ein Produktionssystem in der flexibilitätsorientierten Prozessindustrie auf?
- (4) Mit welchem Vorgehensmodell kann die Materialbedarfsplanung in der flexibilitätsorientierten Prozessindustrie unter Nutzung des in der Supply Chain vorliegenden Wissens verbessert werden?
- (5) Mit welchen prozessualen Vorgehen und Methoden lassen sich die in den PPS-Systemen vorliegenden Daten zur Ableitung von Planungsregeln und Verbesserung logistischer Zielgrößen nutzen, und wie muss ein PPS-System dafür aufgebaut sein?

## 2 Epistemologische Grundlagen

Dieses Kapitel widmet sich den epistemologischen Grundlagen dieses Forschungsvorhabens. Im ersten Abschnitt werden das Forschungsdesign, das dieser Arbeit zugrunde liegt, und der Aufbau dieser Schrift erläutert. Der zweite Abschnitt setzt sich mit den verwendeten Forschungsmethoden auseinander.

### 2.1 Forschungsdesign

*„Die Erkenntnis beginnt nicht mit Wahrnehmungen oder Beobachtungen oder der Sammlung von Daten oder von Tatsachen, sondern sie beginnt mit Problemen. Kein Wissen ohne Probleme – aber auch kein Problem ohne Wissen.“<sup>29</sup>*

#### 2.1.1 Wissenschaftliche Einordnung der Arbeit

Forschung lässt sich in Grundlagenforschung und angewandte Forschung untergliedern. Forschungslogik und –methodik sind weitgehend vor dem Hintergrund des Vorgehens in der Grundlagenforschung entwickelt und begründet worden, während auf der anderen Seite der Großteil der empirischen Forschungsarbeiten aus anwendungsorientierten Fragestellungen entstanden sind. Im Folgenden sollen die wesentlichen Differenzierungsmerkmale dieser beiden Forschungsbereiche gegenübergestellt werden:<sup>30</sup>

- **Forschungsinteresse:** In der Grundlagenforschung steht nicht der einzelne Fall sondern die generelle Tendenz im Vordergrund des Interesses. Ziel ist die Produktion von möglichst allgemeingültigem Wissen, verallgemeinerbare Beschreibung (Diagnose) und Erklärung von Sachverhalten und Zusammenhängen. Im Gegensatz dazu liegt das Interesse der anwendungsorientierten Forschung in der Anwendbarkeit der Ergebnisse auf einen aktuellen Fall oder auf eine Klasse gleichartiger Fälle in der Praxis.
- **Begründung der Relevanz:** Während die Grundlagenforschung ihre Relevanz in bestehenden Lücken bzw. Widersprüchen im bisherigen Wissensbestand begründet sieht, leiten sich die Fragestellungen in der anwendungsorientierten Forschung aus den Bedürfnissen der betrieblichen Praxis ab.
- **Präzision und Allgemeingültigkeit:** In der Grundlagenforschung steht die Sicherung der Gültigkeit der Resultate im Vordergrund. Damit präzise Aussagen zu dem erforschten Sachverhalt möglich sind, werden Experimente gegebenenfalls unter kontrollierten Bedingungen im Labor durchgeführt, auch wenn die Reichweite der Aussagen damit eingeschränkt werden sollte. In der anwendungsorientierten Forschung werden Präzision und Allgemeingültigkeit eher vernachlässigt, wenn dadurch die Durchführung des Forschungsvorhabens beeinträchtigt werden könnte.
- **Rechtfertigung der Ergebnisse:** Die Ergebnisse in der Grundlagenforschung sind in der Science Community vor Fachkollegen zu vertreten, vor denen auch das Vorgehen zu rechtfertigen ist. Dagegen steht in der anwendungsorientierten Forschung die unmittelbare Brauchbarkeit der Ergebnisse für die aktuell von ihnen zu lösenden Probleme in der betrieblichen Praxis im Vordergrund.

<sup>29</sup> Popper (1962), S. 234

<sup>30</sup> Vgl. Kromrey (2006), S. 19f

- **Veröffentlichung der Ergebnisse:** Alle Forschungsergebnisse sind in der Grundlagenforschung möglichst aktuell mit allen Einzelheiten zu veröffentlichen und allen Interessierten zugänglich zu machen. In der anwendungsorientierten Forschung hingegen, können Forscher oft nicht selbst darüber entscheiden, ob, wann und in welcher Detaillierung die von ihnen gewonnenen Erkenntnisse veröffentlicht werden.

Die vorliegende Arbeit ist dem Bereich der anwendungsorientierten Forschung zuzuordnen. Mit den ausgearbeiteten Lösungsvorschlägen zur Analyse von komplexen Produktionssystemen und Verbesserung logistischer Zielgrößen, sollen der Industrie nützliche Ergebnisse bereitgestellt werden. Zielgruppe sind Unternehmen, mit den in der Arbeit beschriebenen Charakteristika und Problemstellungen.

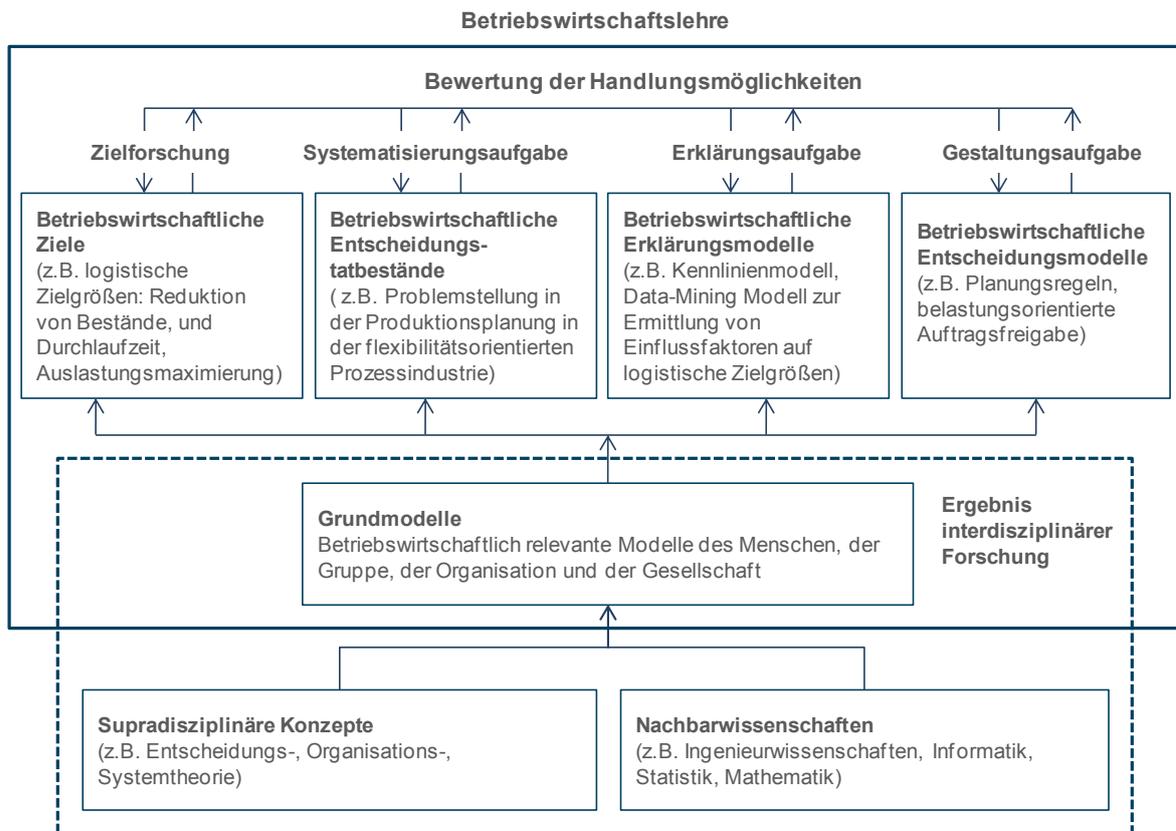


Abbildung 4: Forschungsansatz der entscheidungsorientierten Betriebswirtschaftslehre<sup>31</sup>

Der gewählte Forschungsansatz entspricht somit dem der entscheidungsorientierten Betriebswirtschaftslehre nach Heinen, die versucht die Phänomene und Tatbestände der Praxis aus der Perspektive betrieblicher Entscheidungen zu systematisieren, zu erklären und zu gestalten.<sup>32</sup> Abbildung 4 gibt einen Überblick über den Forschungsansatz der entscheidungsorientierten Betriebswirtschaft mit den für diese Arbeit relevanten Bereichen.

Die Entscheidungstheorie dient dabei allgemein als eines der zugrundeliegenden supradisziplinären Konzepte zur Formalisierung von betriebswirtschaftlichen Entscheidungen. Unter einer Entscheidung wird die bewusste Selektion einer von mehreren Alternativen durch einen oder mehrere Entscheidungsträger verstanden. Als wissenschaftliche Disziplin zur

<sup>31</sup> Quelle: in Anlehnung an Heinen (1991), S. 13

<sup>32</sup> Vgl. Heinen (1991), S. 12

Behandlung von Entscheidungen wird die Entscheidungstheorie unterteilt in die deskriptive Entscheidungstheorie und die normative Entscheidungstheorie. Die deskriptive Entscheidungstheorie versucht getroffene Entscheidungen in konkreten Situationen zu erklären und stellt das tatsächliche Problemlösungsverhalten eines Entscheidungsträgers in den Mittelpunkt. In der normativen Entscheidungstheorie dagegen stellt sich die Aufgabe, wie in einer konkreten Entscheidungssituation die in Bezug auf das Ziel des Entscheidungsträgers vorteilhafteste Alternative aus einer Menge von möglichen Alternativen selektiert werden kann.<sup>33</sup>

Basis dieser Arbeit ist sowohl die deskriptive als auch die normative Entscheidungstheorie sowie die Systemtheorie (Supradisziplinäres Konzept). Ausgangspunkt sind zunächst die betriebswirtschaftlichen Ziele der Produktionsplanung in der flexibilitätsorientierten Prozessindustrie, die im Rahmen der Zielforschung untersucht werden (Zielforschung). Dazu sind die betriebswirtschaftlichen Entscheidungstatbestände durch Systematisierung der spezifischen Problemstellung in diesen Unternehmen zu erheben (Systematisierungsaufgabe). Die von den Entscheidungsträgern in der Produktion getroffenen Entscheidungen sind im Sinne einer deskriptiven Entscheidungstheorie zu erklären (Erklärungsaufgabe). Dabei wird auf Methoden der Informatik und Statistik zugegriffen, mit denen explorative Ursachen und Zusammenhänge entdeckt werden können (Nachbarwissenschaften). Diese Erklärungen sollen in Form von handlungsanleitenden Planungsregeln im Sinne der normativen Entscheidungstheorie zur Gestaltung der Produktionsplanung verwendet werden (Gestaltungsaufgabe).

### 2.1.2 Vorgehen und Aufbau der Arbeit

Die Vorgehensweise der Arbeit orientiert sich, wie in Abbildung 5 dargestellt, an den Grundideen der Aktionsforschung aus der handlungsorientierten Betriebswirtschaftslehre. Die Aktionsforschung, die zur angewandten Forschung zählt, sieht einen dialogischen Prozess zwischen Theorie (Forscher) und Praxis (Unternehmen) vor und zielt dabei nicht allein auf Erkenntnis, sondern auf die Ausarbeitung von Handlungsmöglichkeiten, die das gemeinsame Handeln anleiten und somit zu praxisnahen Lösungen verhelfen.<sup>34</sup> Demzufolge soll das Untersuchungsthema unmittelbare praktische Relevanz besitzen und nicht abgehoben und theoretisch sein. Die Teilnehmer der Untersuchung sollen dabei aktiv an der Auswertung und Interpretation der Ergebnisse beteiligt werden.<sup>35</sup> Entsprechend diesen Grundsätzen aus dem Aktionsforschungsansatz basiert ein wesentlicher Teil der Arbeit auf einen dialogischen Prozess mit den Mitarbeitern des untersuchten Unternehmens, das als Fallbeispiel diene. Beispielsweise waren die Ergebnisse der Datenanalyse von den Teilnehmern im Rahmen von moderierten Workshops zu interpretieren. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse wurden den Untersuchungsteilnehmern sofort vermittelt, wodurch der Forschungsprozess im Sinne des dritten Grundsatzes der Aktionsforschung gleichzeitig zum Lern- und Veränderungsprozess für alle Beteiligten wurde.<sup>36</sup>

---

<sup>33</sup> Vgl. Homburg (2000), S. 455

<sup>34</sup> Vgl. Moser (1977), S. 16

<sup>35</sup> Vgl. Bortz/Döring (2006), S. 342

<sup>36</sup> Vgl. Bortz/Döring (2006), S. 342

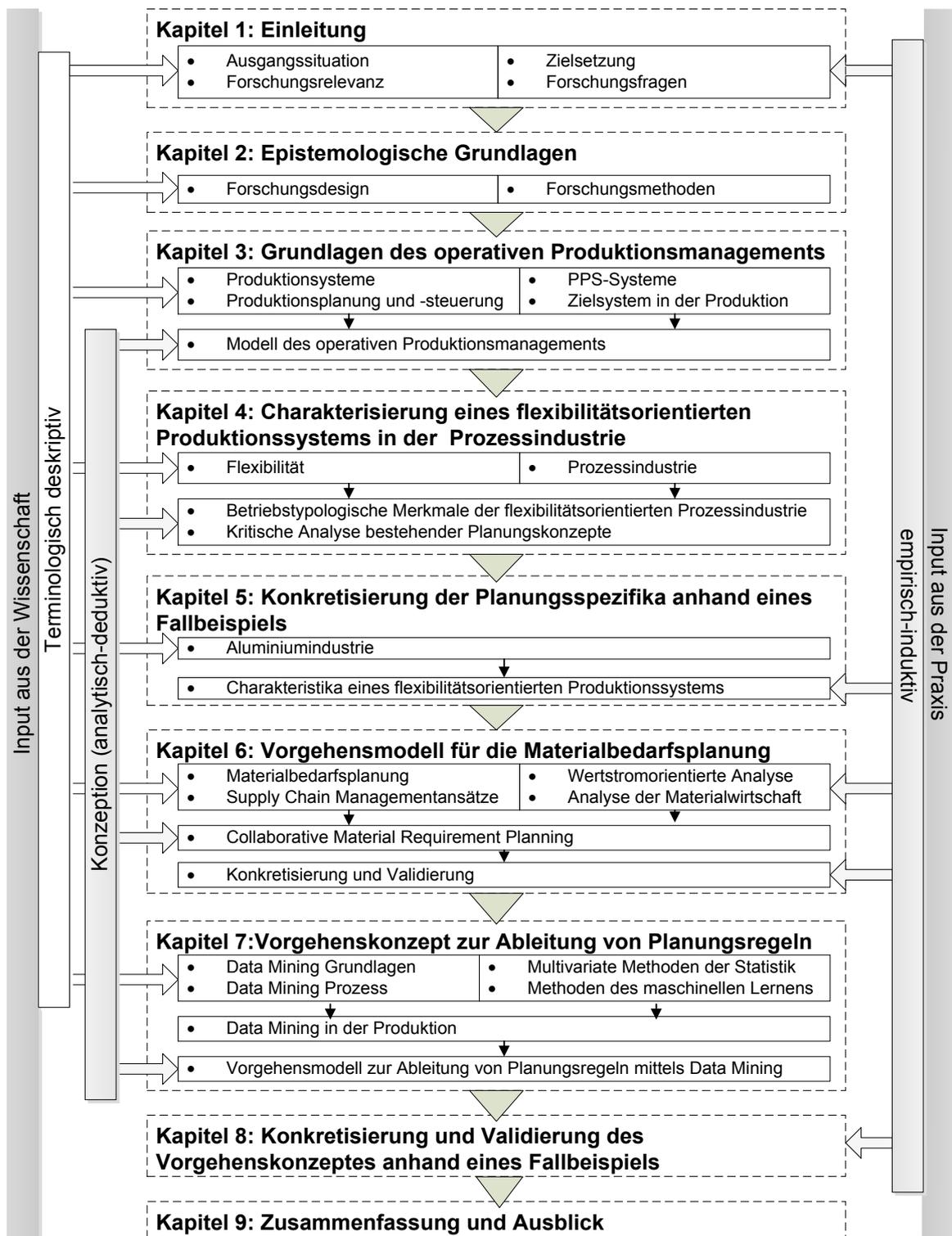


Abbildung 5: Aufbau der Arbeit

Der in Abbildung 5 dargestellte Aufbau der Arbeit lehnt sich an die Vorgehensweise der operationsanalytischen Konzeption des sozialwissenschaftlichen Forschungsprozesses nach Ulrich/Hill an.<sup>37</sup> Als Forschungsprozess in der handlungsorientierten Betriebswirtschaft ist hier nicht nur die empirische Forschungsaktivität zu verstehen, sondern der gesamte Prozess der Entwicklung, empirischen Überprüfung und Weiterentwicklung gedanklicher

<sup>37</sup> Vgl. Ulrich/Hill (1976), S. 347ff

Bezugsrahmen. Die einzelnen Forschungsaktivitäten können jeweils einer der folgenden Aufgabenstellungen zugeordnet werden:

- Terminologisch-deskriptive Aufgabenstellung
- Empirisch-induktive Aufgabenstellung
- Analytisch-deduktive Aufgabenstellung.

Die terminologisch-deskriptive Phase dient zum Aufbau des Problemverständnisses und befasst sich mit der Schaffung eines Begriffssystems sowie dessen Anwendung für die Beschreibung des zu untersuchenden Forschungsgegenstandes, was bereits auch eine empirisch (deskriptive) Aktivität impliziert. Ziel ist die Anforderungen aus der Praxis mit gängigen Theorien und Methoden kritisch zu spiegeln und daraus den Forschungsbedarf und die Forschungsfragen abzuleiten bzw. zu konkretisieren.

Die relevanten Begriffsdefinitionen und Abgrenzung werden in Kapitel 3 vorgenommen, das sich näher mit den notwendigen Grundlagen des operativen Produktionsmanagements beschäftigt. In Kapitel 4 wird ein flexibilitätsorientiertes Produktionssystem in der Prozessindustrie terminologisch-deskriptiv anhand betriebstypologischer Merkmale aus der Literatur charakterisiert. Kapitel 5 widmet sich der empirisch-induktiven Konkretisierung der Planungsspezifika anhand eines Fallbeispiels. Die darauffolgende Erarbeitung eines Konzeptes mit dem Ziel neue Lösungen in Form von Modellen und Methoden abzuleiten ist eine analytisch-deduktive Aufgabe. Die Ableitung einer Lösung für die Materialbedarfsplanung erfolgt deduktiv in Kapitel 5 auf Basis bestehender Verfahren zur Materialbedarfsplanung und Methoden aus dem Supply Chain Management. Für die Produktionsprozessplanung und –steuerung wird in Kapitel 7 deduktiv eine Lösung mit Hilfe von bestehenden Data-Mining-Methoden aus der Literatur entwickelt.

In der empirischen Phase erfolgt die Validierung des Konzeptes anhand eines Anwendungsbeispiels aus der Praxis in Kapitel 8, in der die Machbarkeit der erarbeiteten Lösungen überprüft und mit Hinweisen zur Weiterentwicklung und Verbesserung kritisch gewürdigt wird. Die Erkenntnisse aus diesem empirisch-induktiven Schritt werden zum Abschluss als Handlungs- und Gestaltungsempfehlung für Forschung und Industrie zusammengefasst. Das am Ende von Kapitel 6 vorgestellte Vorgehensmodell für die kollaborative Materialbedarfsplanung sowie das am Ende von Kapitel 7 beschriebene Vorgehenskonzept zur Ableitung von Planungsregeln mittels Data-Mining sind in diesem Sinne auch als Handlungsempfehlungen zu verstehen. Die Überprüfung der beiden Lösungen auf ihre Machbarkeit in der Praxis sind empirisch einerseits in Kapitel 6 sowie in Kapitel 8 anhand eines Fallbeispiels mit ausführlichen Hinweisen für die Weiterentwicklung beschrieben.

## 2.2 Forschungsmethoden

Dieses Unterkapitel gibt einen Überblick über die verwendeten Forschungsmethoden der vorliegenden Arbeit. Im Folgenden wird zunächst sowohl ein Überblick über die qualitative als auch über die quantitative Forschung gegeben, um danach näher auf den allgemeinen empirischen Forschungsprozess und im speziellen auf die Datenanalyse einzugehen. Zum Abschluss des Unterkapitels zeigt eine Analyse quantitativer Methoden im Produktionsmanagement, dass diese im Produktionsmanagement, verglichen mit anderen Unternehmensbereichen, viel weniger in der Literatur betrachtet werden. Zusammen mit

einem Überblick von bestehenden Methoden zur Geschäftsprozessoptimierung in Abschnitt 7.4 wird damit die Relevanz dieser Arbeit bestätigt.

### 2.2.1 Qualitative Forschung

Auch wenn qualitative Forschung sehr vielfältig ist, lassen sich einige typische Charakteristika von qualitativen Vorgehensweisen bestimmen. Nach Hussy et al. zeichnet sich qualitative Forschung dadurch aus, dass sie empirisch und systematisch vorgeht, sich flexibel an den Forschungsgegenstand anpasst und die Rekonstruktion von Bedeutung in den Mittelpunkt stellt.<sup>38</sup> Damit geht die qualitative Forschung genauso wie auch die quantitative Forschung empirisch vor, unterscheidet sich aber im Hinblick auf den Stellenwert der Flexibilität. Die Flexibilität besitzt in der qualitativen Forschung einen höheren Stellenwert als die Systematik. Die unterschiedlichen Prinzipien der qualitativen Forschung im Vergleich zur quantitativen Forschung sind in Tabelle 1 zusammengefasst und werden im Folgenden dargelegt.

Tabelle 1: Prinzipien der qualitativen und quantitativen Forschung<sup>39</sup>

<b>Qualitative Forschung</b>	<b>Quantitative Forschung</b>
Naturalistische Vorgehensweise	Aktive Manipulation
Offene Verfahren	Vorgegebene Kategorien
Fallorientierung	Variablenorientierung
Holistisch	Elementaristisch
Induktives Vorgehen	Deduktives Vorgehen
Emergente Flexibilität des Designs	Festlegung der Vorgehensweise vor Untersuchungsbeginn
Ziel: Beschreibung, Verstehen	Ziel: Kausalerklärung
Interpretationsbedürftige Daten	Numerische Daten
Forschende als Messinstrumente	Standardisierte, objektive Messinstrumente
Theoretische Verallgemeinerung	Statistische Verallgemeinerung
Gütekriterium der Validität	Gütekriterien der Objektivität, Reliabilität und Validität

Unter naturalistischer Vorgehensweise ist zu verstehen, dass der Untersuchungsgegenstand in der qualitativen Forschung durch die Untersuchung meist nicht aktiv verändert bzw. manipuliert wird, während in der quantitativen Forschung das Experiment unter aktiver Herstellung unterschiedlicher Bedingungen als primäre Methode zur Anwendung kommt.<sup>40</sup>

Ein weiteres Charakteristikum für die qualitative Forschung sind offene Verfahren, wie Interviews, bei denen sich die Befragten in ihren eigenen Worten äußern und subjektiv relevante Aspekte thematisieren. Im Gegensatz zur quantitativen Forschung, wo vorab festgelegte Beschreibungskategorien, wie beispielsweise bei Fragebögen mit Ratingskalen, definiert werden, wird der Untersuchungsgegenstand in seiner spezifischen Erscheinung untersucht und beschrieben. Im Unterschied zur qualitativen Forschung, die mehr auf Beschreibung und Verstehen ausgerichtet ist, wird in der quantitativen Forschung meist eine Kausalerklärung angestrebt. Während die qualitative Forschung somit eher als fallorientiert und holistische gesehen werden kann, ist die quantitative Forschung auf die Erfassung von

<sup>38</sup> Vgl. Hussy et al. (2009), S. 180

<sup>39</sup> Quelle: in Anlehnung an Hussy et al. (2009), S. 184

<sup>40</sup> Vgl. Hussy et al. (2009), S. 184

Variablen in Form von ganz spezifischen Merkmalen des Untersuchungsgegenstandes ausgerichtet. Daraus ergibt sich auch eine häufige induktive Vorgehensweise in der qualitativen Forschung, bei der der Forscher nicht von Vorannahmen ausgeht, sondern die Schlussfolgerungen über das Untersuchungsobjekt ergeben sich erst aus den Daten. Die Theorie wird somit am Ende der Untersuchung und nicht am Anfang gebildet. Durch die induktive Vorgehensweise werden relevante Merkmale der Untersuchung oft erst im Forschungsverlauf sichtbar. Dadurch kann es notwendig werden, dass die Fragestellung und die Instrumente der Datenerhebung und Auswertung während des Forschungsverlaufs noch zu ändern sind. Im Unterschied zur quantitativen Forschung, wo dies nicht mehr möglich ist, wird diese Offenheit der Vorgehensweise als emergente Flexibilität des Designs bezeichnet.<sup>41</sup>

Die vorliegende Arbeit lässt sich sowohl der qualitativen als auch der quantitativen Forschung zuordnen. Auch wenn die Ableitung der betriebstypologischen Merkmale für ein flexibilitätsorientiertes Unternehmen in der Prozessindustrie zunächst deduktiv aus der Literatur erfolgt, werden die spezifischen Problemstellungen und Planungsspezifika qualitativ anhand eines Fallbeispiels dargestellt. Zur Lösung der sich ergebenden Problemstellung wird dann ein Vorgehensmodell entwickelt, das auf quantitativen Methoden aus der Statistik bzw. des maschinellen Lernens zugreift. Durch die emergente Flexibilität des Forschungsdesigns werden die verwendeten Methoden im Laufe der Arbeit weiter konkretisiert.

### 2.2.2 Empirischer Forschungsprozess

Atteslander unterscheidet in der empirischen Forschung grundsätzlich fünf Phasen, die üblicherweise für alle Vorhaben angewandt werden können:<sup>42</sup>

1. Problembenennung
2. Gegenstandsbenennung
3. Durchführung (Anwendung von Forschungsmethoden)
4. Analyse (Auswertungsverfahren)
5. Verwendung von Ergebnissen

Eine ähnliche Einteilung eines empirischen Forschungsprojektes findet sich bei Schnell et al., die in Abbildung 6 mit den typischen Arbeitsschritten dargestellt ist.<sup>43</sup>

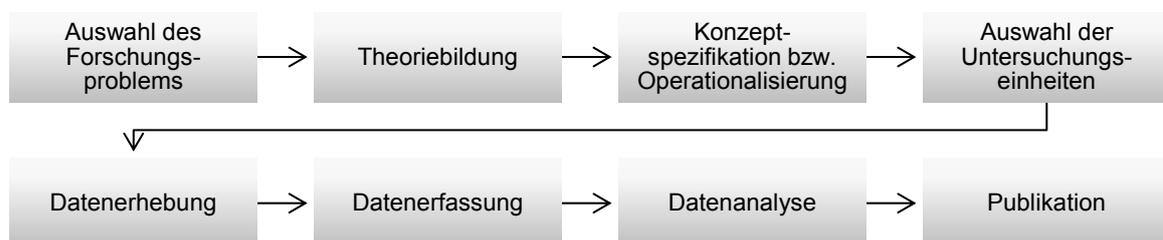


Abbildung 6: Phasen eines empirischen Forschungsprozesses<sup>44</sup>

<sup>41</sup> Vgl. Hussy et al. (2009), S. 185

<sup>42</sup> Vgl. Atteslander (2003), S. 22

<sup>43</sup> Vgl. Schnell et al. (2008), S. 8ff

<sup>44</sup> Quelle: in Anlehnung an Schnell et al. (2008), S. 8

Am Anfang steht die Formulierung des Forschungsproblems mit der Festlegung des Gegenstandes der Forschung. Danach beginnt die Phase der Theoriebildung, in der eine neue Theorie für den Gegenstandsbereich entwickelt wird oder eine bereits in der Literatur ausgearbeitete Theorie adaptiert bzw. abgeleitet wird. In der Konzeptspezifikation werden die verwendeten Konzepte und Begriffe präzisiert, um die aufgestellten theoretischen Konstrukte in Form von beobachtbaren und somit messbaren Indikatoren zu operationalisieren. Die Art der Operationalisierung hängt dabei stark von der gewählten Untersuchungsform, wie z.B. Einzelfallstudie, Sekundäranalyse oder Netzwerkanalyse ab. Nach Bestimmung des Forschungsdesigns sind die Untersuchungsobjekte durch ein exakt definiertes und reproduzierbares Auswahlverfahren auszuwählen und die Daten mit geeigneten Verfahren zu erheben. Um Daten zu erhalten, kann man diese entweder als Primärdaten neu erheben oder auf bereits bestehende Sekundärdaten, die schon zu anderen Forschungszwecken erhoben wurden, zurückgreifen.<sup>45</sup>

Vor der Datenauswertung sind die erhobenen Daten zu speichern und entsprechend zu strukturieren und meistens ist auch noch eine Datenbereinigung und Plausibilitätsprüfung notwendig, bei der Fehler in den Daten gesucht und beseitigt werden. In der Datenanalysephase werden vorwiegend statistische Methoden unter Verwendung von spezieller Software angewandt. Mit Hilfe statistische Verfahren können die zuvor in den Theorien aufgestellten Aussagen über Zusammenhänge zwischen bestimmten Aspekten des Gegenstandsbereichs in den erhobenen Daten nachgewiesen werden oder nicht. An dieser Stelle findet somit eine Rückkopplung zwischen der zu prüfenden Theorie und den empirischen Daten statt.<sup>46</sup>

Die in diesem Abschnitt erläuterten Phasen des empirischen Forschungsprozesses finden sich in dem in Kapitel 7 entwickelten Vorgehensmodell wieder, das zusätzlich auf dem ebenda beschriebenen Data-Mining-Prozess basiert.

### 2.2.3 Datenerhebung

Um die Charakteristika eines flexibilitätsorientierten Produktionssystems anhand eines Fallbeispiels zu erheben, wird die Methode der qualitativen Datenerhebung verwendet. Im Unterschied zum quantitativen Forschungsansatz, wo Messwerte statistisch analysiert werden, werden beim qualitativen Forschungsansatz verbale bzw. nichtnumerische Daten interpretiert und verarbeitet.<sup>47</sup>

Schnell unterscheidet bei den Datenerhebungstechniken grob zwischen Befragung, Beobachtung und Inhaltsanalyse.<sup>48</sup> Zu den wichtigsten grundlegendsten Techniken zur Erhebung qualitativer Daten zählen nichtstandardisierte oder teilstandardisierte Befragungen, Beobachtungen und nonreaktive Verfahren.<sup>49</sup> Im Folgenden werden diese Verfahren, die sowohl zur Erhebung der Charakteristika als auch der Planungsspezifika in dem betrachteten flexibilitätsorientierten Produktionssystem verwendet wurden, erläutert.

---

<sup>45</sup> Vgl. Kaya (2007), S. 49

<sup>46</sup> Vgl. Schnell et al. (2008), S. 13

<sup>47</sup> Vgl. Bortz/Döring (2006), S. 298

<sup>48</sup> Vgl. Schnell et al. (2008), S. 319

<sup>49</sup> Vgl. Bortz/Döring (2006), S. 308

### Qualitative Befragung

In einem offenen Interview wird die subjektive Sichtweise über den Untersuchungsgegenstand von den interviewten Akteuren ermittelt, wobei der Gesprächsverlauf mehr vom Interviewten als vom Interviewer gesteuert wird. Der Interviewer gibt dabei nur ein Rahmenthema vor, über das die Befragten ohne Einflussnahme und ohne vorgegebene Struktur sprechen. Die Durchführung erfolgt meist mündlich, da die Befragten eher zu mündlichen Äußerungen bereit sind. Schriftliche Ausarbeitungen sind zwar im Vergleich zu mündlichen Aussagen meist besser durchdacht und umfassender, jedoch weniger spontan und werden von den Befragten auch oft als schwieriger und erschöpfender befunden. Da bei offenen Befragungen das typische Frage-Antwort-Muster fehlt, bezeichnet man diese auch als Forschungs- oder Feldgespräch.<sup>50</sup>

### Qualitative Beobachtung

Das systematische Erfassen, Festhalten und Deuten sinnlich wahrnehmbaren Verhaltens zum Zeitpunkt seines Geschehens wird als Beobachtung bezeichnet. Die wissenschaftliche Beobachtung unterscheidet sich von der alltäglichen Beobachtung dadurch, dass erstere zur Beschreibung der Wirklichkeit vor dem Hintergrund einer leitenden Forschungsfrage dient und eigens dazu entwickelte systematische Verfahrensanweisungen verwendet, während alltägliches Beobachten nur der Orientierung der Akteure dient.<sup>51</sup>

Der Hintergedanke einer teilnehmenden Beobachtung, die erstmals wissenschaftlich von Ethnologen zum Einsatz kam, ist denkbar einfach. Wenn man herausfinden möchte, was andere Menschen tun, mit welchen Problemstellungen sie konfrontiert sind und wie sie diese lösen, geht man einfach zu ihnen hin, bleibt eine Weile, macht das mit, was diese Menschen üblicherweise tun, und lernt ihr Tun so durch eigene Erfahrung besser kennen.<sup>52</sup>

Als wichtigste Art der qualitativen Beobachtung hat sich aus der teilnehmenden Beobachtung mit der Feldforschung ein selbständiger Forschungsansatz entwickelt. Daneben zählen auch noch die Beobachtung von Rollenspielen, die Einzelfallbeobachtung und die Selbstbeobachtung zu den qualitativen Beobachtungstechniken. Allgemein lässt sich die qualitative Beobachtung durch folgende Merkmale charakterisieren:<sup>53</sup>

- Die Beobachtungen erfolgen im natürlichen Lebensumfeld unter Vermeidung künstlicher Laborbedingungen oder sonstigen Störungen.
- Der Beobachter nimmt aktiv am Geschehen teil. Durch die Interaktion zwischen Beforschten und Forschern bzw. der Integration von Selbst- und Fremdbeobachtung kommt es zu einer Aufhebung der Subjekt-Objekt-Trennung.
- Statt Messung einzelner Variablen findet eine holistische Konzentration auf größere Einheiten bzw. Systeme statt.
- Anstelle einer Fixierung auf ein festgelegtes Beobachtungsschema ist eine Offenheit für neue Einsichten und Beobachtungen wesentlich.

<sup>50</sup> Vgl. ebenda

<sup>51</sup> Vgl. Atteslander (2003), S. 79

<sup>52</sup> Vgl. Ullmann (2009), S. 248

<sup>53</sup> Vgl. Bortz/Döring (2006), S. 322f

## Nonreaktive Verfahren

Unter nonreaktive Verfahren werden Datenerhebungsmethoden verstanden, die keinerlei Einfluss auf die untersuchten Personen, Ereignisse oder Prozesse ausüben, und daher auch als Sonderformen der Beobachtung aufgefasst werden können. Während bei verdeckten Beobachtungen keine Störungen der natürlichen Situation erfolgen, wird durch indirekte Beobachtungen versucht, indirekt aus Dokumenten auf das Verhalten von Menschen zu schließen. Dabei können sowohl quantitative als auch qualitative Daten erzeugt werden.<sup>54</sup> Die Verwendung von vorhandenen Betriebsdaten, wie sie beispielsweise in ERP-Systemen zur Verfügung stehen, kann somit zu diesen nonreaktiven Verfahren gezählt werden.

### 2.2.4 Datenanalyse

Erst durch die Auswertung der Daten und Generierung von nützlichen Informationen sind Aussagen über die Annahme oder Verwerfung von Hypothesen möglich, da die erhobenen Daten von sich aus überhaupt nichts „sagen“, und keine Computer und keine Software in irgendeiner Hinsicht theoretisch interessante Ergebnisse liefern können, wenn den Analysen keine sinnvollen Theorien zu Grunde liegen. Der Datenanalyseprozess ist meistens ein iterativer Prozess, indem die Daten basierend auf den theoretischen Vorüberlegungen in einer bestimmten Art und Weise analysiert werden, aufgrund der Ergebnisse die Hypothesen verworfen, modifiziert oder verfeinert werden, neue Analysen eventuell mit transformierten Variablen durchgeführt und die theoretischen Vorstellungen wiederum adaptiert werden.<sup>55</sup>



Abbildung 7: Von den Daten über die Information zum Wissen<sup>56</sup>

Im oben beschriebenen klassischen empirischen Forschungsprozesses werden Verfahren der beschreibenden (deskriptiven) Statistik verwendet, um Daten zusammengefasst darzustellen und Informationen über die Grundgesamtheit zu gewinnen. Danach kann man entweder confirmatorisch unter Verwendung strukturprüfender Verfahren der induktiver Statistik oder explorativ unter Anwendung strukturentdeckender Verfahren der explorativen Statistik vorgehen. Im ersten Fall geht man von einer Hypothese oder mehreren Hypothesen aus, die man prüfen will, während man im zweiten Fall gezielt Strukturen sucht.<sup>57</sup> In beiden Fällen ist das Ziel nützliches Wissen zu generieren. Dieser Zusammenhang ist in Abbildung 7 schematisch dargestellt.<sup>58</sup> Für die Extraktion von Wissen aus Daten hat sich in der Literatur auch der Begriff Data-Mining etabliert, mit dem sich schwerpunktmäßig Kapitel 7 beschäftigt. Die quantitativen Methoden, die dabei verwendet werden, werden ebenso ausführlich im Kapitel 7 erörtert. Im nächsten Abschnitt wird ein erster Überblick über die in der betriebswirtschaftlichen Literatur verwendeten quantitativen Methoden gegeben.

<sup>54</sup> Vgl. Bortz/Döring (2006), S. 326

<sup>55</sup> Vgl. Schnell et al. (2008), S. 403

<sup>56</sup> Quelle: in Anlehnung an Cleff (2008), S. 5

<sup>57</sup> Vgl. Handl (2002), S. 3

<sup>58</sup> Vgl. Cleff (2008), S. 5

### 2.2.5 Quantitative Methoden in der Betriebswirtschaft

Die Zeitschriftenanalyse von Boysen et al. zum Einsatz quantitativer Methoden ergab, dass in der betriebswirtschaftlichen Forschung verstärkt höhere, multivariate Analyseverfahren angewendet werden.<sup>59</sup> In dieser Untersuchung wurden im Zeitraum von 1965 bis 2004 insgesamt 1.712 Aufsätze in der Zeitschrift „Die Betriebswirtschaft“ (DBW), in der „Zeitschrift für Betriebswirtschaft“ (ZfB) und in „Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung“ (ZfbF) auf dem Gebiet der quantitativen betriebswirtschaftlichen Forschung identifiziert und wie in Tabelle 2 dargestellt klassifiziert.

Tabelle 2: Klassifizierung quantitativer Methoden<sup>60</sup>

Optimierungsverfahren	Empirische Methoden
1. Lineare Programmierung (LP)	1. Clusteranalyse (CLU)
2. Sonstige Standardverfahren der mathematischen Programmierung (SMP)	2. Conjointanalyse (CA) 3. Faktorenanalyse (FAK)
3. Differenzialanalyse (DIFF)	4. Häufigkeitsauswertung (HÄU)
4. Heuristische Verfahren (HEU)	5. Hypothesentest (HYP)
5. Stochastik und Simulationen (STO)	6. Kausalanalyse (KAU)
6. Sonstiger Einsatz von Optimierungsverfahren (SON)	7. Korrelationsanalyse (KOR) 8. Regressionsanalyse (REG) 9. Sonstige Empirische Forschung (SEF)

Unter den empirischen Methoden befinden sich neben deskriptiven Analysetechniken, wie Häufigkeitsauswertungen, auch multivariate Analyseverfahren, wie Cluster-, Conjoint-, Faktoren- oder Kausalanalyse. Weitere multivariate Verfahren, wie Varianzanalyse, Diskriminanzanalyse oder multidimensionale Skalierung, sind dem Bereich der sonstigen empirischen Forschung zugeordnet, da diese deutlich weniger häufig eingesetzt wurden.

Das Ergebnis bei den Optimierungsverfahren deutet darauf hin, dass die Problemstellungen mit den Jahren komplexer geworden sind, und dass es häufig besser erscheint, auf die Optimallösung eines stark vereinfachten Modells zu verzichten und dafür eine nicht optimale Lösung für ein der Realität näheres heuristisches Modell zu ermitteln.

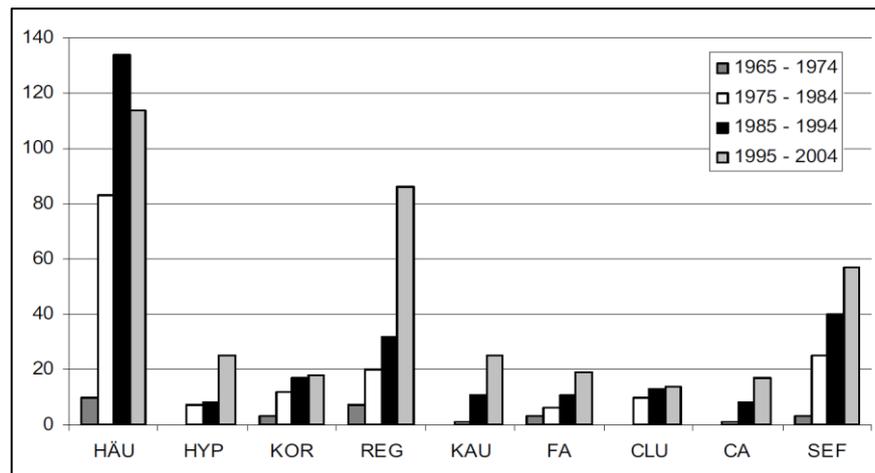
Neben den Optimierungsverfahren zählen die Verfahren zur Auswertung und Analyse von empirisch erhobenen Datensätzen aus der empirischen Sozialforschung zu den untersuchten Methoden. Im Gegensatz zur verfahrenstheoretischen Forschung sollen damit induktiv aus empirischen Daten Zusammenhänge aufgedeckt oder theoretische vermutete Zusammenhänge bestätigt werden.<sup>61</sup>

Aus Abbildung 8 geht deutlich die Häufigkeitsauswertung als am weitesten verbreitete empirische Forschungsmethode in den betrachteten Zeitschriften hervor. Die zeitliche Betrachtung zeigt, dass, neben diesem einfachen deskriptiven Ansatz, in den letzten Jahren verstärkt höhere, multivariate Analyseverfahren in der betriebswirtschaftlichen Forschung zum Einsatz kommen.

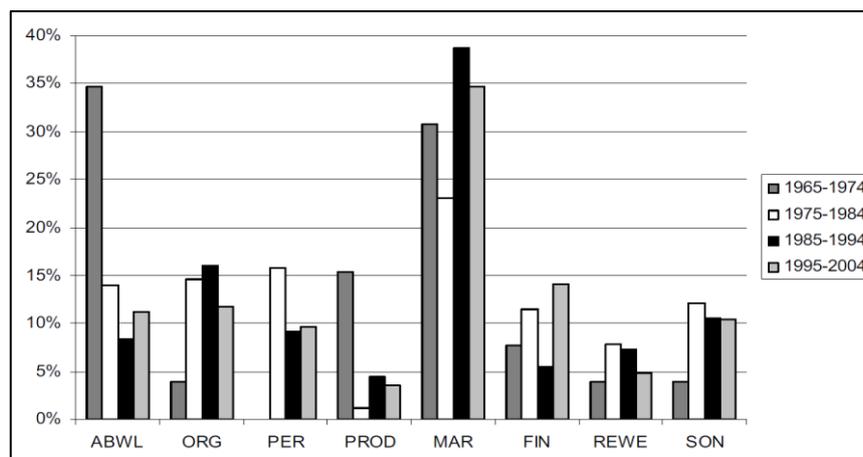
<sup>59</sup> Vgl. Boysen et al. (2008)

<sup>60</sup> Quelle: Boysen et al. (2008), S. 6

<sup>61</sup> Vgl. Boysen et al. (2008), S. 14

Abbildung 8: Anwendung empirischer Methoden im Zeitablauf<sup>62</sup>

Die Ergebnisse deuten wieder darauf hin, dass die untersuchten Fragestellungen komplexer werden und damit den Einsatz komplexer und leistungsfähiger Methoden erfordern. Auf der anderen Seite nehmen auch die verfügbare Datenbasis und die Software-Unterstützung ständig zu. Wie aus nachfolgender Abbildung 9 ersichtlich sind die meisten empirischen Forschungsarbeiten dem Marketing zuzuordnen, wohingegen der Bereich Produktion von untergeordneter Bedeutung ist.

Abbildung 9: Anwendung empirischer Methoden nach Funktionsbereichen<sup>63</sup>

Dieses Ergebnis lässt den Schluss zu, dass der Fokus der Produktionswirtschaft in der quantitativen Betriebswirtschaft noch stark an der Anwendung von Optimierungsverfahren<sup>64</sup> ausgerichtet ist, und noch Forschungsbedarf zum Einsatz empirischer Methoden im Bereich der Produktion besteht. Insbesondere für die Analyse der immer komplexer werdenden Produktionssysteme, scheinen multivariate Verfahren geeignete Methoden zu sein, um beispielsweise Ursachen- und Wirkungszusammenhänge von produktionslogistischen Zielgrößen zu untersuchen.

<sup>62</sup> Quelle: Boysen et al. (2008), S. 18

<sup>63</sup> Quelle: Boysen et al. (2008), S. 20

<sup>64</sup> Klassische Anwendungsgebiete sind zum Beispiel die Losgrößen- und Bestellmengenplanung oder die Reihenfolgeplanung, für die bereits eine Reihe von Optimierungsmodellen entwickelt wurde.

Auch die stetig steigende Menge der in Unternehmen gespeicherten Daten und die zur Erzielung von Wettbewerbsvorteilen verbundene Notwendigkeit diesen Datenbestand aus den immer komplexer werdenden IT-Systemen auch schnell und effizient zu analysieren, haben zu einer Zunahme der Bedeutung von Ansätzen der Datenanalyse geführt.<sup>65</sup> Nachdem sich Data-Mining im heutigen IT-Zeitalter im Kontext von Datenanalyse und empirisch-quantitativer Exploration etabliert hat, wird in dieser Arbeit der Einsatz von Data-Mining als wissensbasierter Ansatz zur Beantwortung der Forschungsfrage fünf untersucht:

*„Mit welchen prozessualen Vorgehen und Methoden lassen sich die in den PPS-Systemen vorliegenden Daten zur Ableitung von Planungsregeln und Verbesserung logistischer Zielgrößen nutzen, und wie muss ein PPS-System dafür aufgebaut sein?“*

Die im Produktionsmanagement gängigen quantitativen Ansätze sind in Abbildung 10 zusammengefasst. Aus dieser in der Literatur üblichen Zuordnung ist ersichtlich, dass sich bei den bestehenden gängigen Methoden noch keine Data-Mining Ansätze etabliert haben. Daraus lässt sich ein erster Forschungsbedarf erkennen. Die Anwendung von Data-Mining zur Beantwortung der Forschungsfrage wird anhand eines Vorgehensmodells in Kapitel 7 erörtert, um diese Forschungslücke zu schließen. In diesem Kapitel wird auch die bestehende Literatur zu dem Thema ausführlich behandelt, um die bestehende Forschungslücke genauer einzugrenzen und zu konkretisieren.

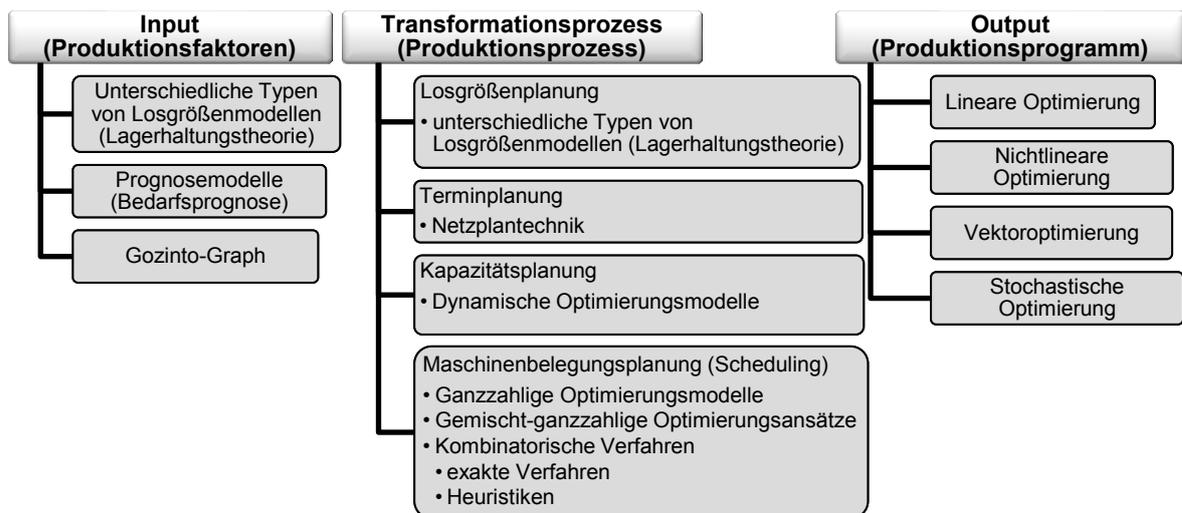


Abbildung 10: Quantitative Ansätze für die drei Schwerpunktbereiche der Produktionsplanung<sup>66</sup>

<sup>65</sup> Vgl. Düsing (2006), S. 242

<sup>66</sup> Quelle: In Anlehnung an Homburg (2000), S. 344

## 3 Grundlagen des operativen Produktionsmanagements

Dieses Kapitel hat die Beantwortung der folgenden Forschungsfrage als Gegenstand:

*„Welche theoretischen Grundlagen werden zur Beantwortung der wissenschaftlichen Kernfrage benötigt, und wie sieht dazu ein Basismodell des operativen Produktionsmanagements aus?“*

Den Beginn dieses Kapitels bildet die Erörterung der relevanten Grundlagen bzw. -begriffe des Produktionsmanagements. Dabei wird im ersten Abschnitt zunächst ein Produktionssystem aus systemorientierter Sicht betrachtet sowie in Anlehnung an das Regelkreissystem der Kybernetik weiter untergliedert und die wesentlichsten Elementen des Produktionsmanagements darin dargestellt. Der zweite Abschnitt erläutert die Aufgaben und Methoden des operativen Produktionsmanagements, das sich vor allem mit der Durchführung der Produktionsplanung und –steuerung beschäftigt. Bevor im vierten Abschnitt die Zielsysteme in der Produktion behandelt werden, wird im dritten Abschnitt auf die informationstechnologischen Systeme in der Produktionsplanung und –steuerung näher eingegangen. Den Abschluss bildet ein Modell des operativen Produktionsmanagements, das abgeleitet aus den in diesem Kapitel erörterten Grundlagen die Ausgangsbasis und den Bezugsrahmen für die weitere Arbeit darstellt.

### 3.1 Grundbegriffe des operativen Produktionsmanagements

#### 3.1.1 Produktionssysteme

Zur Darstellung von Produktionssystemen wird oft auf die Systemtheorie zurückgegriffen. Die Systemtheorie beschäftigt sich theoretisch mit den Beziehungen zwischen Systemelementen, der Beziehung zwischen Struktur und Funktion von Systemen und der Beziehungen zwischen Teilsystemen und Gesamtsystem. Vereinfacht zusammengefasst arbeitet die Systemtheorie mit abstrakten Modellen, die nach einigen wesentlichen Regeln aufgebaut sind:<sup>67</sup>

- Ein System besteht aus einer Menge von Elementen und der Beziehungen zwischen diesen Elementen.
- Eine Struktur wird durch eine Gruppe von Elementen gebildet, die über Beziehungen verknüpft sind.
- Eine Zerlegung jedes System in Subsysteme von niederer Ordnung ist möglich.
- Teilsysteme sind Elemente, welche nach anderen Beziehungen zusammengefasst werden.
- Das gesamte System, jedes Subsystem und jedes einzelne Element, kann mit einer Systemgrenze abgegrenzt und durch Eingang (Input), Ausgang (Output) und eine Funktion mittels einer sogenannte Black-Box-Darstellung beschrieben werden.
- Wenn das System als Ganzes weder Eingangs- noch Ausgangsgrößen hat, spricht man von einem geschlossenen System, ansonsten von einem offenen System.

---

<sup>67</sup> Vgl. Wiendahl (2010), S. 8f

Diese grundlegenden Begriffe sind am Beispiel eines geschlossenen Systems in einem allgemeingültigen Zusammenhang in Abbildung 11 dargestellt. Angewandt auf ein Produktionsunternehmen, stellen die Elemente der Systemtheorie die einzelnen Funktionen dar, die zur Erzeugung von Produkten erforderlich sind und durch die Material-, Energie- sowie Informationsflüsse in Beziehung stehen.<sup>68</sup> Die Beschreibung des Fallbeispiels in Abschnitt 5.2 basiert auf dieser systemorientierten Betrachtungsweise.

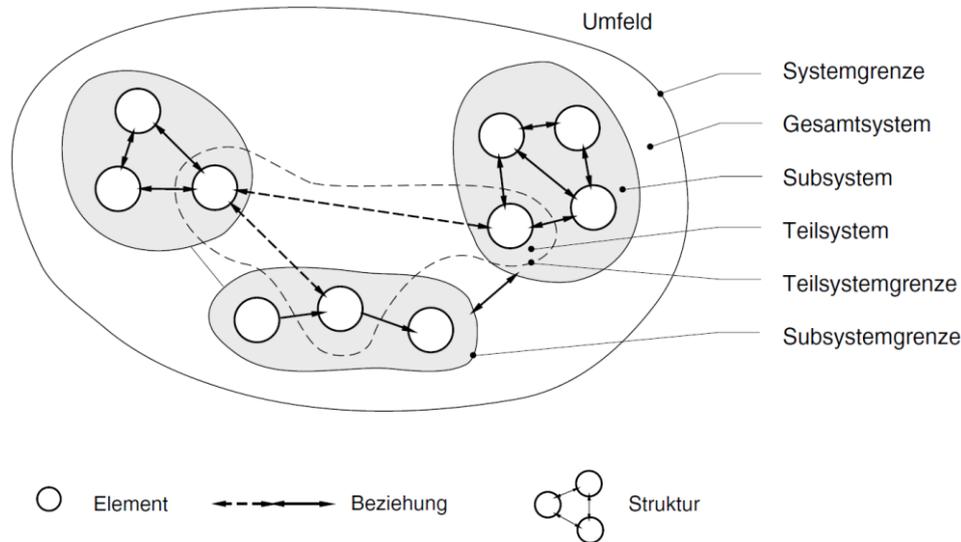


Abbildung 11: Grundbegriffe zur Systemdefinition<sup>69</sup>

In der produktionswirtschaftlichen Literatur gibt es zahlreiche Definitionen des Begriffes der Produktion, die sich zumeist in eine der drei folgenden Gruppen zuordnen lassen:<sup>70</sup>

- Produktion als Faktorkombination: Bei dieser weiten Fassung stellt jegliches betriebliche Geschehen, bei dem eine Kombination von Produktionsfaktoren erfolgt, letztlich Produktion dar.
- Produktion als Phase des Betriebsprozesses zwischen den Phasen Beschaffung und Absatz.
- Produktion als wertschaffender Prozess, d.h. es geht um die Bereitstellung von Gütern zum Zwecke des Verbrauchs.

Kombiniert man die erste und letzte Sichtweise, handelt es sich bei der Produktion um einen Wertschöpfungsprozess, bei dem Inputfaktoren bzw. Produktionsfaktoren in einen Transformationsprozess eingehen, um werterhöhten Output zu erzeugen.<sup>71</sup> Der betriebliche Leistungserstellungsprozess wird damit als Wertschöpfungsprozess betrachtet, der in ein Produktionssystem sowie seiner Umwelt eingebettet ist.<sup>72</sup> Abbildung 12 veranschaulicht diese gängige Sichtweise, in der ein Produktionssystem mit Infrastruktur und den unterschiedlichen Beziehungen zur Umwelt skizziert sind.

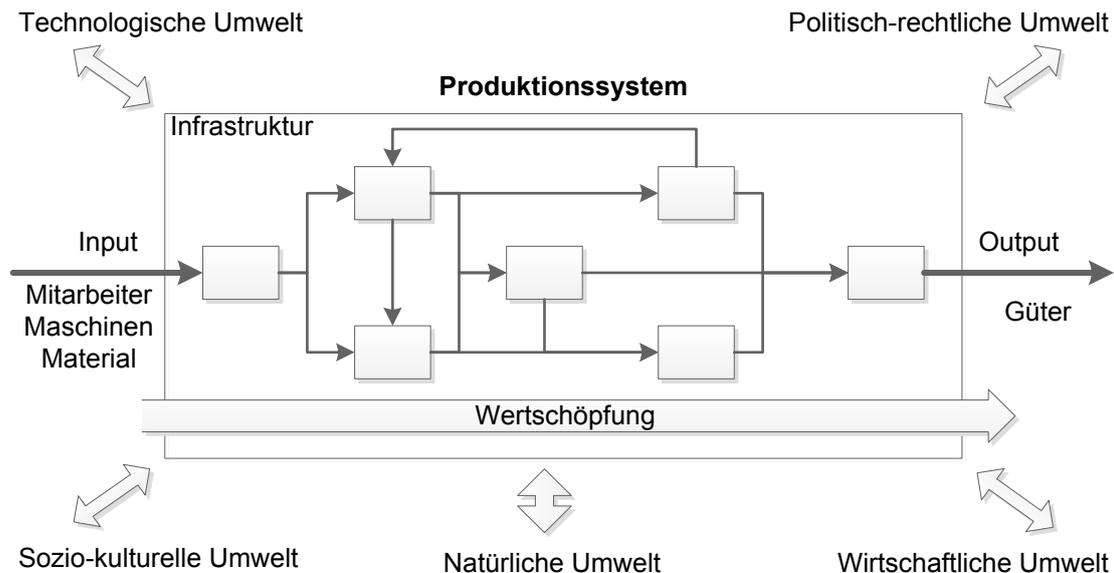
<sup>68</sup> Vgl. Arnold (2004), S. B 3–5

<sup>69</sup> Quelle: Wiendahl (2010), S. 9

<sup>70</sup> Vgl. Gutenberg (1983), S. 298; Corsten/Gössinger (2012), S. 1

<sup>71</sup> Vgl. Zäpfel (2001), S. 1

<sup>72</sup> Vgl. Günther/Tempelmeier (2005), S. 2

Abbildung 12: Produktionssystem in seiner Umwelt<sup>73</sup>

Bei der betrieblichen Leistungserstellung als Transformations- bzw. Wertschöpfungsprozess sind menschliche Arbeitsleistungen erforderlich, um einerseits den realen Prozess mit durchzuführen und andererseits das physische System der Leistungserstellung zu lenken. Der dispositive Faktor, dem die Lenkung der Leistungserstellung zukommt, wird daher auch als Produktionsführung bzw. als Produktionsmanagement bezeichnet.<sup>74</sup>

### 3.1.2 Produktionsmanagement

Unter Management wird in der Literatur einerseits zwischen Management als Institution und andererseits als Funktion unterschieden. Unter Management aus institutioneller Sicht, versteht man die Gruppe von Personen, die in einer Organisation mit Anweisungsbefugnissen betraut ist. Dazu zählen somit alle Organisationsmitglieder, die eine Vorgesetztenfunktion wahrnehmen, wie beispielsweise ein Meister, Produktions- oder Betriebsleiter. Von dieser Perspektive ist die funktionale Sicht abzugrenzen, die unabhängig von bestimmten Positionen oder Personen, unmittelbar an den Aufgaben ansetzt, die zur Steuerung eines Unternehmens zu erfüllen sind. Dabei geht es zunächst nicht darum wie und wem diese Steuerungsaufgaben zugeteilt werden, sondern um die Aufgaben und Managementfunktionen, die zu erfüllen sind, damit das Unternehmen die Ziele erreichen kann. Aus funktionaler Sicht kann das Management als Querschnittsfunktion betrachtet werden, die den Einsatz der Ressourcen und das Zusammenspiel der originären betrieblichen Funktionen wie Einkauf, Produktion oder Verkauf steuert.<sup>75</sup> In dieser Arbeit steht vor allem die funktionale Perspektive des Produktionsmanagements im Mittelpunkt, die im Abschnitt 3.2 näher erläutert wird.

Dem Produktionsmanagement kommt somit die Willensbildung und –durchsetzung im Bereich der Leistungserstellung eines Unternehmens zu, d.h. es hat die Systemzustände für jenen betrieblichen Funktionsbereich zu regeln, der dazu dient, Sachgüter und Dienstleistungen zu erstellen, um menschliche Bedürfnisse zu befriedigen. Neben der Funktion der Personalführung ist damit aus prozessualer Sicht die zielorientierte Planung und

<sup>73</sup> Quelle: in Anlehnung an Günther/Tempelmeier (2005), S. 2

<sup>74</sup> Vgl. Zäpfel (2001), S. 3

<sup>75</sup> Vgl. Schreyögg/Koch (2007), S. 7

Steuerung der Produktion gemeint. Zielorientierung bedeutet, dass dem Führungsprozess eine Vielzahl von ökonomischen und personalen bzw. sozialen Zielen zugrunde liegen kann.<sup>76</sup> Mit dem Zielsystem der Produktion beschäftigt sich Abschnitt 3.4.

Fandel et al. verstehen den Begriff Produktionsmanagement so, dass zur rationalen Gestaltung und Bewältigung der Aufgaben der Leistungserstellung in Unternehmungen Beiträge aus vier unterschiedlichen Bereichen integriert werden müssen, die sich in den jeweiligen Perspektiven der Problemsicht unterscheiden.<sup>77</sup> Diese vier Bereiche sind, wie in Abbildung 13 dargestellt, durch die betriebswirtschaftliche Aufgabenstellung der Produktionsplanung, durch die entsprechende Formulierung eines entscheidungsorientierten mikrotheoretischen Modells, durch das System der erforderlichen Informationsverarbeitung sowie durch die in Frage kommenden Lösungsalternativen gekennzeichnet. Die Systeme zur Informationsverarbeitung werden in Abschnitt 3.3 erörtert.

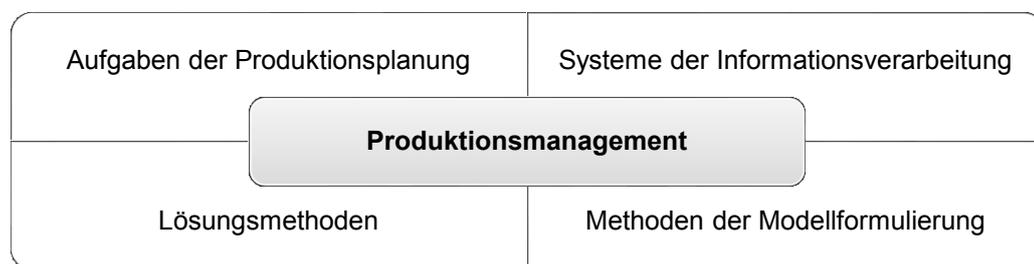


Abbildung 13: Elemente des Produktionsmanagements<sup>78</sup>

Neben der Informationstechnologie steht die Produktionswirtschaft auch in einem engen Zusammenhang mit Teilgebieten der Betriebswirtschaftslehre wie beispielsweise mit der Logistik als Querschnittsfunktion.<sup>79</sup> Insbesondere im Bereich der innerbetrieblichen Logistik und teilweise auch in der Beschaffungslogistik sind Produktion und Logistik unmittelbar miteinander verbunden. In der Literatur werden daher für Produktionsmanagement auch synonym die Begriffe „Produktion und Logistik“ verwendet, wenn es dabei um primär produktionswirtschaftliche Ausführungen geht, welche die für die Produktion relevanten logistischen Aspekte integrativ inkludieren.<sup>80</sup> In der englischsprachigen Literatur wird dafür der Begriff Operations Management verwendet. So verstehen Günther/Tempelmeier „Produktion und Logistik“ als eine betriebswirtschaftliche Disziplin, deren Erkenntnisgegenstand die Entscheidungen sind, die im Zusammenhang mit der Vorbereitung, Durchführung und Kontrolle der Produktion einschließlich der resultierenden logistischen Prozesse zu treffen sind.<sup>81</sup>

Zur Eingrenzung der in diesem Forschungsvorhaben zu behandelnden Aufgabenbereiche des operativen Produktionsmanagements, sind diese zunächst näher zu erläutern. Eine detailliertere Beschreibung und Abgrenzung der in dieser Arbeit behandelten Aufgaben wird in den folgenden Abschnitten vorgenommen. Dabei wird zunächst das operative Produktionsmanagement aus Sicht der Kybernetik eingegrenzt.

<sup>76</sup> Vgl. Zäpfel (2000), S. 1

<sup>77</sup> Vgl. Fandel et al. (2009), S. 3f

<sup>78</sup> Quelle: in Anlehnung an Fandel et al. (2009), S. 3

<sup>79</sup> Vgl. Dyckhoff/Spengler (2007), S. 5

<sup>80</sup> Vgl. Günther/Tempelmeier (2005), S. 9

<sup>81</sup> Vgl. Günther/Tempelmeier (2005), S. 25

### 3.1.3 Regelkreis des Produktionsmanagements

In Anlehnung an das Regelkreismodell der Kybernetik lässt sich ein Produktionssystem weiter in die beiden Hauptsysteme Management und Leistungserbringung untergliedern, denen auch die zwei Hauptgebiete der Produktionswirtschaftslehre, die Allgemeine Produktionstheorie und die Produktionsmanagementlehre, zugeordnet werden können. Der Aufgabenbereich der Produktionswirtschaft besteht damit einerseits in der betriebswirtschaftlichen Analyse von Produktionssystemen, die dem Teilgebiet der Allgemeinen Produktionstheorie zuzurechnen sind, und andererseits in der Unterstützung von Managemententscheidungen im Hinblick auf die Systemgestaltung und den Systembetrieb, also dem Produktionsmanagement.<sup>82</sup>

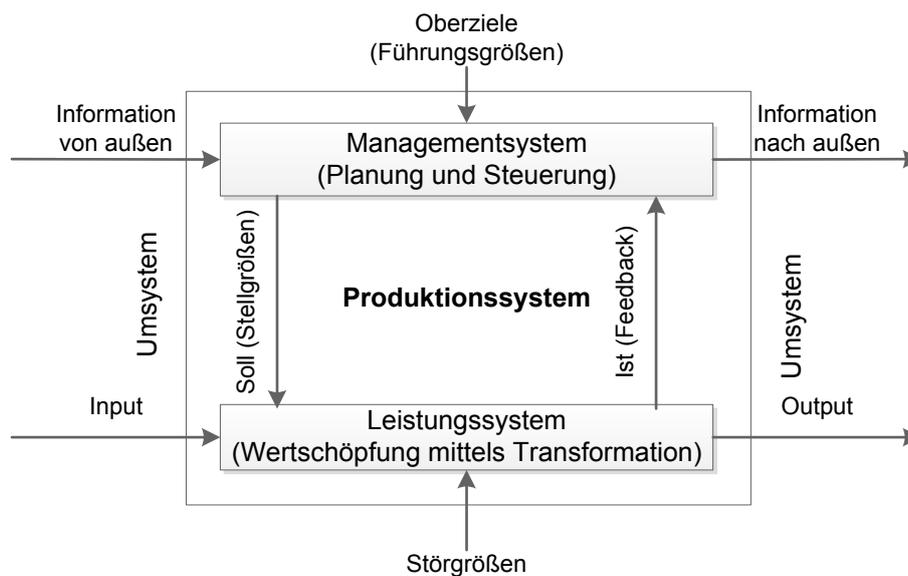


Abbildung 14: Regelkreis des Produktionsmanagements<sup>83</sup>

Im Regelkreismodell wird der Leistungsprozess wie in Abbildung 14 veranschaulicht mit übergeordneten Zielen als Führungsgröße unter Zugriff auf vorhandene interne und externe Daten gesteuert. Der Wertschöpfungsprozess läuft im Leistungserbringungssystem als Transformationsprozess der Produktion ab, dem das Produktionsmanagement mit dem Planungs- und Steuerungssystem der Produktion übergeordnet ist.<sup>84</sup>

Die Aufgabe des Produktionsmanagements liegt in der Konkretisierung der von der Unternehmensleitung formulierten Unternehmensziele im Bereich der betrieblichen Leistungserbringung und somit in der zielorientierten Planung und Steuerung der Produktion. Unter Planung ist dabei die Willensbildung im Sinne einer zielgerichteten Festlegung zukünftigen Handelns zu verstehen, die in einen Planentscheid als Sollvorgabe für das Produktionsgeschehen dient. Die Aufgabe der Steuerung des Produktionssystems ist die Veranlassung der Umsetzung dieser Sollvorgaben aus der Planung und deren Überwachung, indem Handlungsalternativen systematisch identifiziert und so festgelegt werden, dass die vorgenommenen Produktionsziele erfüllt werden können.<sup>85</sup> In der Sprache der Kybernetik

<sup>82</sup> Vgl. Dyckhoff/Spengler (2007), S. 6

<sup>83</sup> Quelle: in Anlehnung an Dyckhoff (2006), S. 7

<sup>84</sup> Vgl. Dyckhoff (2006), S. 6

<sup>85</sup> Vgl. Dyckhoff/Spengler (2007), S. 29

übernimmt dabei das Produktionsmanagement die Aufgabe eines Reglers, der bei Nichterreicherung vorgegebener Führungsgrößen geeignete Stellgrößen formuliert, die auf das Leistungssystem als Regelstrecke einwirken.

Das Entscheidungsfeld der Produktion besteht aus einer Menge von Einzelentscheidungen, zwischen denen enge wechselseitige Abhängigkeiten bestehen, und die sich durch einige wesentliche Eigenschaften charakterisieren lassen:<sup>86</sup>

- Planungshorizont und Realisierungszeitraum
- Bedeutung und Tragweite bzw. Risiko für das Unternehmen
- Aggregationsgrad
- Entscheidungsträger auf unterschiedlichen Managementebenen

Auf Basis dieser Entscheidungsmerkmale ergibt sich wie in Abbildung 15 dargestellt eine strategische, taktische und operative Managementebene und eine Untergliederung des Produktionsmanagements in ein strategisches, taktisches und operatives Produktionsmanagement, dessen Aufgabenteilung nach Günther/Tempelmeier wie folgt beschrieben werden können:<sup>87</sup>

- Im strategischen Produktionsmanagement sind die langfristigen Rahmenbedingungen zu schaffen, unter denen sich ein Unternehmen erfolgreich entwickeln kann.
- Die Aufgabe des taktischen Produktionsmanagements besteht darin, die in der strategischen Entscheidungsebene gesetzten Ziele schrittweise zu verwirklichen und die Leistungsstärke nachhaltig aufzubauen.
- Das operative Produktionsmanagement soll dazu beitragen, jene Leistungspotentiale auszuschöpfen, die zuvor durch die Entscheidungen der taktischen Planungsebene geschaffen wurden.

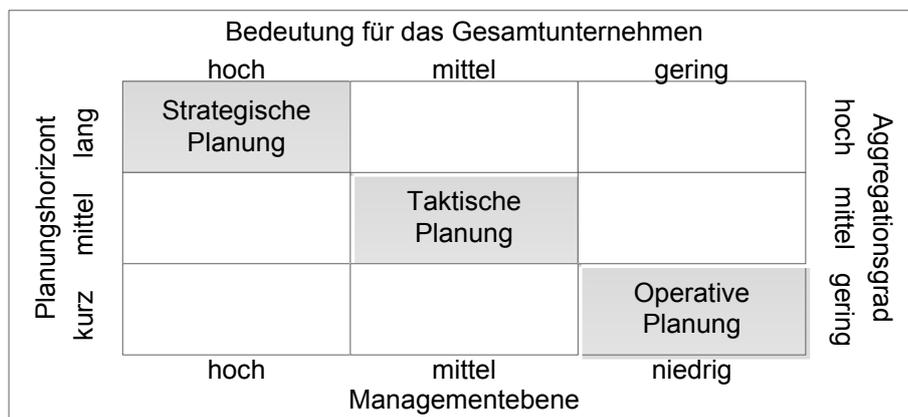


Abbildung 15: Charakterisierung strategischer, taktischer und operativer Entscheidungen<sup>88</sup>

Die Integration dieser drei Ebenen in den Regelkreis des Produktionsmanagements ergibt ein dreistufiges Regelkreissystem mit hierarchisch angeordneten Entscheidungsebenen, die in Abbildung 16 veranschaulicht sind und folgende allgemeinen Eigenschaften aufweisen:<sup>89</sup>

<sup>86</sup> Vgl. Günther/Tempelmeier (2005), S. 26ff

<sup>87</sup> Vgl. Günther/Tempelmeier (2005), S. 27

<sup>88</sup> Quelle: in Anlehnung an Günther/Tempelmeier (2005), S. 26

- Zerlegung des Planungssystems in mehrere Subsysteme: Durch eine vertikale Anordnung in mehrere Ebenen wird das gesamte Regelungsproblem arbeitsteilig gelöst. Voraussetzung für die vertikale Struktur, die durch Festlegung von Über-/Unterordnungsbeziehungen zwischen den Ebenen entsteht, ist, dass jede Ebene zumindest mit der direkt über- und der direkt untergeordneten Ebene kommuniziert.
- Recht der oberen Ebene, Vorgaben zu setzen: Die Stellgrößen der übergeordneten Ebene sind für die untere jeweils bindende Vorgaben oder Restriktionen, die bei der Problemlösung der nachgeordneten Ebene zu berücksichtigen sind.
- Erfolgsabhängigkeit der oberen Ebenen von den Ergebnissen der unteren: Die Qualität einer Entscheidung der oberen Ebene hängt davon ab, welche Ergebnisse die untergeordnete Ebene unter Beachtung dieser Vorgaben oder Restriktionen erzielen kann. Diese Ergebnisse werden ex post als Rückmeldeinformationen der oberen Ebene mitgeteilt. Nur wenn die obere Ebene bei ihren Entscheidungen ex ante korrekte Annahmen über das Systemverhalten auf der unteren Ebene trifft, ist eine Optimierung des Gesamtergebnisses möglich.

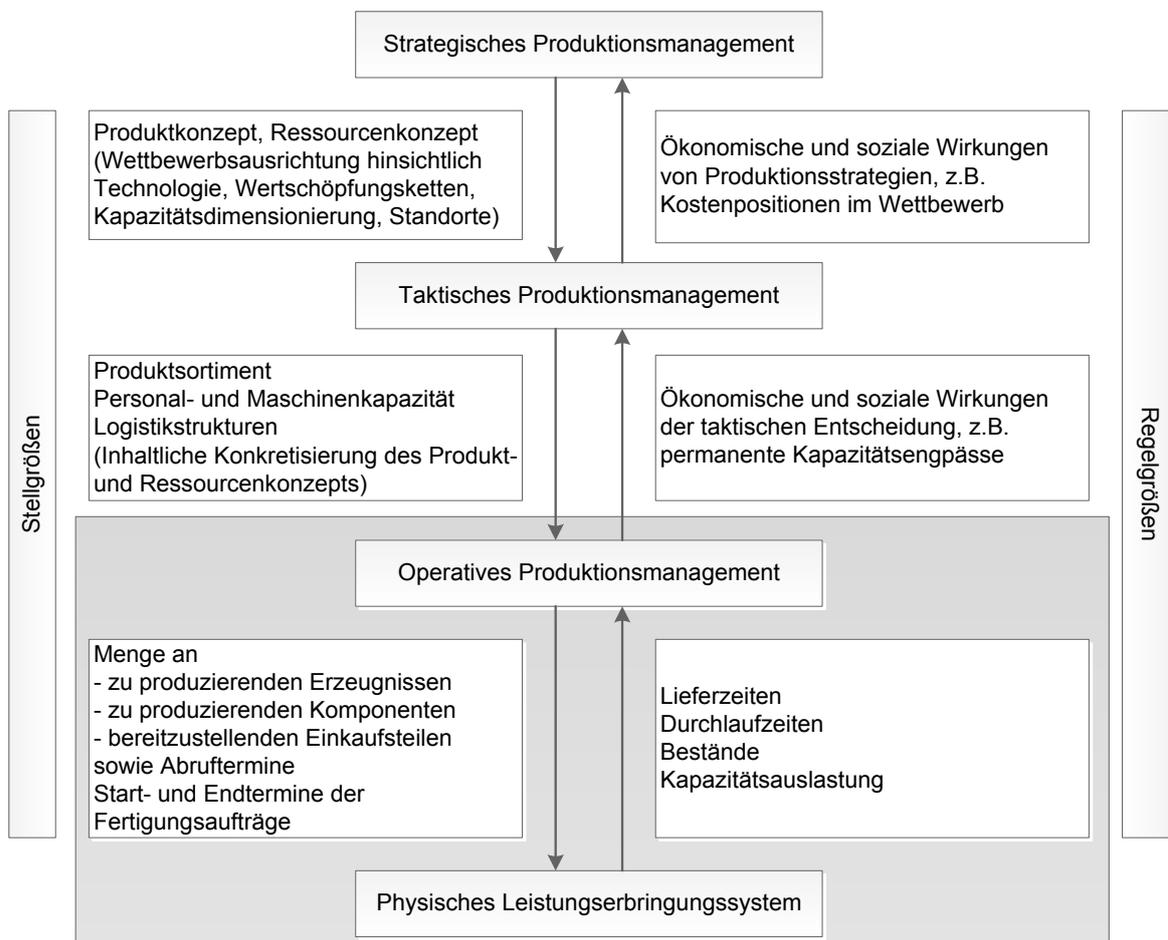


Abbildung 16: Stell- und Regelgrößen eines hierarchischen Produktionsmanagements<sup>90</sup>

<sup>89</sup> Vgl. Zäpfel (2001), S. 48f

<sup>90</sup> Quelle: in Anlehnung an Zäpfel (2001), S. 49

Zentraler Inhalt des in Abbildung 16 hervorgehobenen operativen Produktionsmanagements auf der untersten Ebene sind Entscheidungen zum wirtschaftlichen Vollzug der laufenden Prozesse der Leistungserstellung für einen gegebenen Produktionsapparat und ein gegebenes Produktprogramm. Damit verbunden sind die laufende Festlegung der zu produzierenden Menge an Leistungen (Output), die Bereitstellung der dafür notwendigen Produktionsfaktoren (Input) und der wirtschaftliche Vollzug des zeitlichen Produktionsprozesses (Throughput). Für das operative Produktionsmanagement ergeben sich daraus folgende Aktionsparameter als Lenkungsaufgaben der Leistungserstellung:<sup>91</sup>

- Entscheidungen über das Produktionsprogramm: Art und Menge der zu produzierenden Leistungen im Zeitablauf sowie die Koordinierung der Material- und Warenflüsse
- Entscheidungen über die einzusetzenden Produktionsfaktoren (Mensch, Betriebsmittel und Werkstoffe),
- Entscheidungen über den zeitlichen Ablauf der Leistungserstellung.

Als Stellgrößen, die als Vorgaben auf die durchzuführenden Produktionsstellen einwirken und vom operativen Produktionsmanagement festzulegen sind, dienen nach Zäpfel:<sup>92</sup>

- Primärbedarf: Menge an zu produzierenden Enderzeugnissen im definierten Planungszeitraum.
- Sekundärbedarf: Menge an zu produzierenden Teilen und Baugruppen, die für die Enderzeugnisse benötigt werden, sofern die Enderzeugnisse aus mehreren eigengefertigten Komponenten bestehen.
- Tertiärbedarf: Bedarf an Betriebsstoffen, der nicht unmittelbar in das Enderzeugnis eingeht, aber bei der Produktion ver- bzw. gebraucht wird.
- Einkaufsteile: Menge an bereitzustellenden Einkaufsteilen, die zur Produktion für die vorhergesehenen Enderzeugnisse benötigt werden.
- Start- und Endzeitpunkte für die daraus resultierenden Fertigungsaufträge und den damit verbundenen Arbeitsvorgängen auf den entsprechenden Produktionsstellen.

## 3.2 Produktionsplanung und-steuerung

Nachdem nun die Grundlagen des Produktionsmanagements erörtert wurden, beschäftigt sich dieser Abschnitt mit der Produktionsplanung und -steuerung. Dazu sollen die wesentlichsten Aufgaben und Methoden erläutert werden, bevor im nächsten Abschnitt der informationstechnologische Aspekt näher betrachtet wird.

Zentrale Aufgabe des operativen Produktionsmanagements ist die Durchführung der Produktionsplanung sowie der Produktionssteuerung (PPS).<sup>93</sup> Innerhalb des hierarchischen Führungssystems der Produktion kommt somit dem Subsystem der operativen Produktionsplanung und -steuerung sowie dem damit eng verbundenen Informationsversorgungssystem eine wesentliche Bedeutung zu. Die Aufgabe der PPS besteht somit darin, den mengenmäßigen und zeitlichen Produktionsablauf unter Beachtung der

---

<sup>91</sup> Vgl. Zäpfel (2001), S. 47

<sup>92</sup> Vgl. Zäpfel (2001), S. 55

<sup>93</sup> Vgl. Kiener et al. (2006), S. 137

verfügbaren Ressourcen, wie beispielsweise Kapazitäten aufgrund erwartet und/oder vorliegender Kundenaufträge durch Planvorgaben festzulegen, diese zu veranlassen sowie zu überwachen und bei Abweichungen Maßnahmen zu ergreifen, sodass die betrieblichen Ziele erreicht werden.<sup>94</sup>

Nach Gutenberg kann die Produktionsplanung in die Aufgabenbereiche Produktionsprogrammplanung, Bereitstellungsplanung und Produktionsprozessplanung untergliedert werden.<sup>95</sup> Adam ergänzt diese drei klassischen Bereiche um einen Planungsblock für die Demontageplanung und erhält damit bis zu vier Aufgabenbereiche:<sup>96</sup>

- (1) Festlegung des Leistungsprogramms (Programmplanung nach Menge und Qualität sowie Wahl der Fertigungstiefe);
- (2) Die Planung des Fertigungsvollzuges (Produktionsdurchführungsplanung);
- (3) Die Bereitstellung der zur Fertigung erforderlichen Produktionsfaktoren, insbesondere des Materials (Bereitstellungsplanung)
- (4) Die Demontageplanung für Altprodukte, die ein Produzent aufgrund rechtlicher Vorgaben zurücknehmen muss (Demontageplanung).

Während sich die ersten drei Planungsbereiche auf die Fertigung neuer Erzeugnisse beziehen, tritt der vierte Fragenkomplex nur beim Recycling von Altprodukten auf. Dennoch können zwischen den ersten drei Bereichen und dem vierten vielfältige Verflechtungen bestehen, wenn ein Unternehmen beispielsweise die Demontage selbst vornimmt und aufgearbeitete Altprodukte oder rückgewonnene Rohstoffe, wie Metalle, wieder in der Produktion einsetzt.

Entsprechend der im vorigen Abschnitt beschriebenen systemorientierten Betrachtungsweise eines Produktionssystems in die Bereiche Input, Transformationsprozess und Output lassen sich die drei wesentlichen Schwerpunkte der Produktionsplanung wie folgt zuordnen:<sup>97</sup>

- (1) Planung des Outputs: Produktionsprogrammplanung
- (2) Planung des Transformationsprozesses: Produktionsprozessplanung
- (3) Planung des Inputs: Produktionsfaktorplanung

#### **3.2.1 Produktionsprogrammplanung**

Gegenstand der Programmplanung ist die Auswahl der in einem bestimmten Zeitraum zu produzierenden Erzeugnisse nach Art und Menge.<sup>98</sup> Das Ergebnis der Programmplanung ist der Programmplan bzw. das Produktionsprogramm, das aus folgenden drei Komponenten besteht:<sup>99</sup>

- (1) eine qualitative Komponente (Art der zu erstellenden Leistungen)
- (2) eine quantitative Komponente (Menge an einzelnen Leistungsarten)
- (3) eine zeitliche Komponente (vorgesehene Zeitpunkte der Erstellung der Leistungen).

Auf Basis der Fristigkeit kann hierbei zwischen dem potentiellen und aktuellen Produktionsprogramm differenziert werden. Gegenstand des potentiellen

---

<sup>94</sup> Vgl. Zäpfel (2001), S. 56

<sup>95</sup> Vgl. Gutenberg (1983), S. 149

<sup>96</sup> Vgl. Adam (1997), S. 103f

<sup>97</sup> Homburg (2000), S. 343

<sup>98</sup> Vgl. Adam (1997), S. 103

<sup>99</sup> Vgl. Zäpfel (2001), S. 79

Produktionsprogramms sind langfristige Entscheidungen über grundsätzlich zu fertigende Produktarten unter Beachtung der Unternehmensziele. Es ist also zu bestimmen, in welchen Produktfeldern das Unternehmen aktiv sein will und wie entsprechende Produktlinien ausgestaltet werden sollen. Ein Produktfeld ergibt sich dabei aus der Menge der Produkte, die auf ein Grundprodukt zurückgeführt werden können. Eine Produktlinie oder Produktgruppe beschreibt die von einem Unternehmen für ein bestimmtes Produktfeld hergestellten Erzeugnisse. Das potentielle Produktionsprogramm ist durch folgende Merkmale gekennzeichnet:<sup>100</sup>

- Programmstruktur
- Produktstandardisierung
- Marktbezug (Art der Programmbildung)

Die Programmstruktur wird charakterisiert durch die Anzahl der Produktarten bzw. Produktlinien (Breite des Programms) und die Anzahl der zu durchlaufenden Fertigungsstufen (Tiefe des Programms oder Grad der vertikalen Integration). Während standardisierte Produkte aus vorgegebenen Einzel- und Bauteilen gefertigt werden, werden Individualprodukte verstärkt an den konkreten Anforderungen einzelner Kunden orientiert. Als Mischformen gelten teilstandardisierte Produkte, sogenannte Produktvarianten, die mit Hilfe eines Baukastenprinzips hergestellt werden. Unter Marktbezug ist die Art der Auftragserteilung, die stark von der Programmstruktur und der Produktstandardisierung abhängt, zu verstehen. Während standardisierte Produkte in der Regel einfacher aufgebaut sind und in größeren Mengen für den anonymen Markt produziert werden, weisen Individualprodukte zumeist eine komplexe Struktur auf und sind an konkrete Kundenaufträge gebunden.

Das aktuelle Produktionsprogramm bestimmt auf Basis der Vorgaben aus der strategischen und taktischen Produktionsplanung unter Berücksichtigung der übergeordneten Unternehmensziele die in einem Planungszeitraum tatsächlich herzustellenden Produkte nach Art, Menge und zeitlichen Rahmen. Die Planung des Produktionsprogramms hat dabei die Absatzerwartungen des Unternehmens, die vorhandenen Produktionskapazitäten sowie die Beschaffungsmöglichkeiten zu berücksichtigen und ist somit eng mit der Beschaffungs- und Absatzplanung verbunden.<sup>101</sup>

Zur Abstimmung der Produktions- und Absatzmengen im Zeitverlauf, stehen vor allem produktions- und absatzwirtschaftliche Instrumente zur Verfügung. Das bedeutendste Anpassungsinstrument im Rahmen der operativen Produktionsplanung ist dabei die zeitliche Anpassung der Produktionsmengen, die im Hinblick auf den Absatzverlauf in den folgenden Formen erfolgen kann:<sup>102</sup>

- **Synchronisation** (Gleichlauf-, Parallelprinzip): Die Produktion wird dabei vollständig mit den Absatzmengen synchronisiert. Voraussetzung hierzu ist, dass die Produktiveinheiten in einem Umfang bereitstehen, der es erlaubt, auch Absatzspitzen in voller Höhe zu produzieren. Ein schwankender Absatzverlauf führt zu variierenden

---

<sup>100</sup> Vgl. Domschke et al. (1993), S. 9

<sup>101</sup> Vgl. Domschke et al. (1993), S. 10

<sup>102</sup> Vgl. Zäpfel (2001), S. 113

Produktionsmengen mit einer ungleichmäßigen Beanspruchung von Arbeitskräften und Betriebsmittel und erfordert damit ein gewisses Maß an Flexibilität.

- **Emanzipation** (vollständige Emanzipation, Ausgleichsprinzip): Während des gesamten Planungszeitraums bleibt die Ausbringung pro Zeiteinheit gleich. Dadurch ist eine geringere Dimensionierung der Kapazitäten möglich. Saisonale Absatzschwankungen führen aufgrund der konstanten Produktionsrate zu einem Auf- und Abbau von Lagerbeständen. Als Vorteil ergibt sich eine gleichmäßige Beschäftigung der Arbeitskräfte und Auslastung der Betriebsmittel.
- **Zeitstufenprinzip** (teilweise Emanzipation): Eine Mischform der beiden obigen Extremformen durch tendenzielle Anpassung der Produktionsniveaus an die Absatzentwicklung.

In der flexibilitätsorientierten Prozessindustrie liegt meistens eine Mischform durch eine teilweise Emanzipation vor, indem das Produktionsniveau an die Absatzentwicklung angepasst werden muss. Dabei sind die technologischen Restriktionen und Rahmenbedingungen zu berücksichtigen, die eine vollständige Synchronisation erschweren.

#### 3.2.2 Produktionsprozessplanung

Neben Angaben über das zu produzierende Leistungsprogramm, hat der Produktionsplan auch Anweisungen für die Durchführung der Produktion zu enthalten, die festlegen, wann unter Einsatz welcher Produktionsfaktoren welche Leistungen zu erstellen sind. Dies erfolgt im Rahmen der Produktionsdurchführungsplanung, die auch als Produktionsprozessplanung bezeichnet wird.<sup>103</sup>

Die Produktionsprozessplanung umfasst somit die zeitliche, mengenmäßige und räumliche Planung des Produktionsvollzugs auf Wochen-, Tage- oder Stundenbasis. Auf Basis der durch das aktuelle Produktionsprogramm vorgegebenen Produktionsmengen und der Vorgaben aus der Materialbedarfsplanung sind konkrete Fertigungsaufträge zu erzeugen und einzuplanen. Ein Fertigungsauftrag bezeichnet dabei eine zeitlich determinierte Arbeitsanweisung zur Herstellung einer bestimmten Menge eines Vor-, Zwischen- oder Endproduktes. Dazu sind im Wesentlichen folgende Fragen zu beantworten bzw. Entscheidungen zu treffen:<sup>104</sup>

- Welche Fertigungsaufträge sind zu bilden bzw. gemeinsam auszuführen?
- Welche Produktiveinheiten werden zur Bearbeitung von Fertigungsaufträgen mit welchen Intensitäten eingesetzt?
- Welche Werkstoffe werden verwendet?
- In welcher Reihenfolge sind Fertigungsaufträge, die dieselben Produktiveinheiten benötigen, einzuplanen?
- Detaillierte zeitliche Festlegung der Ausführungen von Fertigungsaufträgen aus?

Zu berücksichtigen sind bei diesen Entscheidungen die durch die Produktionsform vorgegebene Strukturen sowie die durch die Bereitstellungsplanung determinierten Kapazitäten. Eine Anpassung der Kapazitäten ist nur mehr in begrenzten Umfang möglich.

---

<sup>103</sup> Vgl. Adam (1997), S. 104

<sup>104</sup> Vgl. Domschke et al. (1993), S. 15

Die Produktionsprozessplanung kann in drei Phasen unterteilt werden:<sup>105</sup>

- (1) **Losgrößenplanung:** In dieser Phase wird entschieden, ob unter vorgegebenen Zielsetzungen eine Zusammenfassung von Fertigungsaufträgen zu Losen sinnvoll ist oder nicht. Als ein Los wird dabei eine Menge von Aufträgen bezeichnet, die von einer Produktiveinheit unmittelbar hintereinander ohne Rüstvorgänge gefertigt werden kann. Unter Einhaltung vorgegebener Restriktionen sind kostenminimale Losgrößen und deren zeitliche Verteilung innerhalb des betrachteten Planungszeitraums gesucht.
- (2) **Durchlauf- und Kapazitätsterminierung:** Auf Basis der vereinbarten Liefertermine bzw. Terminvorgaben aus der Materialbedarfsplanung, sind für jeden Fertigungsauftrag früheste und späteste Zeitpunkte für die Bearbeitung sowie entsprechende Pufferzeiten zu ermitteln. Als Methode für die Durchlaufterminierung, die sich nur auf den zeitlichen Aspekt bezieht, wird die Netzplantechnik verwendet. Mit den Informationenaus der Durchlaufzeiterminierung erfolgt dann im Rahmen der Kapazitätsterminierung ein Kapazitätsabgleich, d.h. ein Ausgleich zwischen Kapazitätsbedarf und –angebot.
- (3) **Reihenfolgeplanung und Feinterminierung (Maschinenbelegungsplanung):** Nachdem sowohl Lose als auch die Termine für die Fertigungsaufträge feststehen, werden die Reihenfolgen für die Bearbeitung der Aufträge gebildet, und es erfolgt die detaillierte zeitliche Zuteilung der Aufträge auf die einzelnen Maschinen.

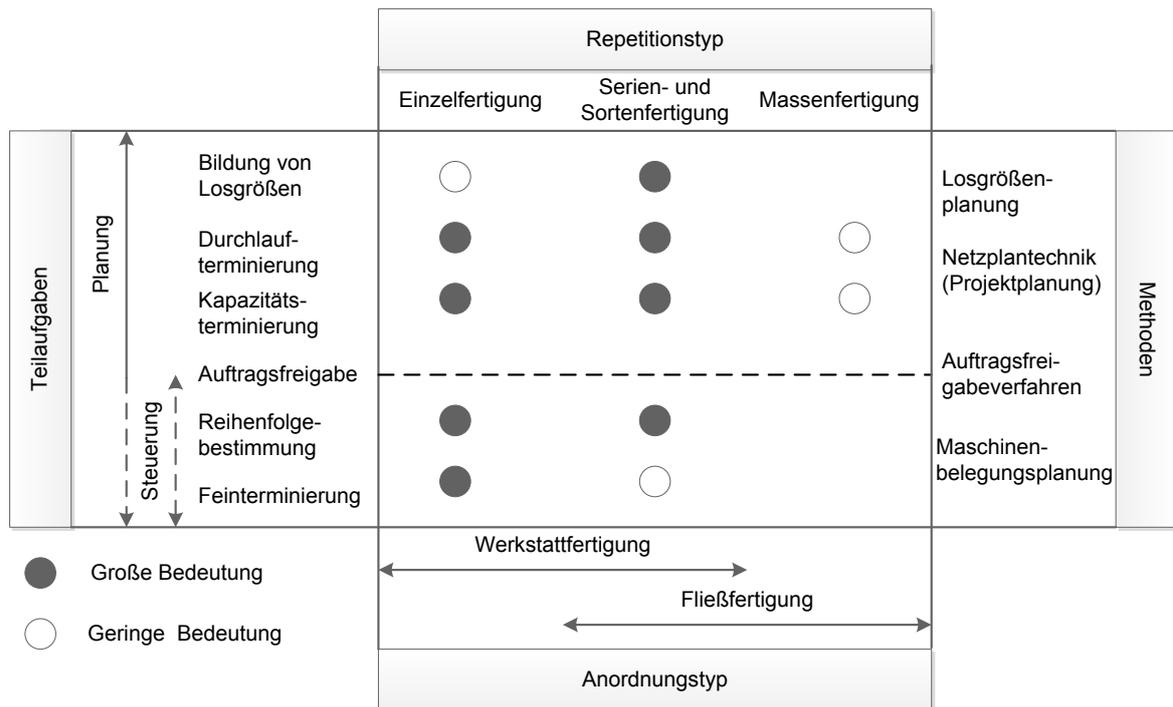


Abbildung 17: Einordnung der Planungsbereiche der Produktionsprozessplanung<sup>106</sup>

Die Zusammenhänge zwischen den obigen Planungsbereichen und den Produktionscharakteristika Repetitionstyp und Anordnungstyp sind in Abbildung 17 im Überblick mit verwendeten Methoden veranschaulicht. Darin ist auch ersichtlich und

<sup>105</sup> Vgl. Domschke et al. (1993), S. 16

<sup>106</sup> Quelle: in Anlehnung an Domschke et al. (1993), S. 17

dargestellt, dass üblicherweise nach der Durchlauf- und Kapazitätsterminierung die Auftragsfreigabe erfolgt, d.h. die Freigabe der Fertigungsaufträge zur Produktion. Die der Auftragsfreigabe nachgeordneten Aufgaben der Reihenfolgeplanung und der Feinterminierung werden daher meist dem Bereich der Steuerung zugeordnet.<sup>107</sup> Die Produktionssteuerung folgt der Produktionsplanung zur Realisierung der Planvorgaben in konkrete Durchsetzungsaktivitäten und besteht als unterste PPS Ebene aus den Bereichen der Auftragsfreigabe, Maschinenbelegung bzw. Feinterminierung und Betriebsdatenerfassung.<sup>108</sup>

Dieser fertigungsnahe Bereich wird anhand des Fallbeispiels für ein flexibilitätsorientiertes Produktionssystem in der Prozessindustrie in Kapitel 5 näher beschrieben. Von besonderer Bedeutung ist in der Prozessindustrie in diesem Zusammenhang auch die Feinterminierung, die wie in Abbildung 17 veranschaulicht im Gegensatz zur Sortenfertigung in der diskreten Fertigung eher von geringer Bedeutung ist. In der Prozessindustrie sind jedoch im Rahmen der Reihenfolgeplanung auch technologisch bedingte Nebenbedingungen, wie minimale oder maximale Liegezeiten zu berücksichtigen. Das Wissen aller verfahrensbedingter Restriktionen und Abhängigkeiten gewinnt damit in der Produktionssteuerung mit Zunahme der Variantenvielfalt zunehmend an Bedeutung. Mit dem in Kapitel 7 vorgestellten Vorgehenskonzept können Planungsregeln zur Unterstützung der Produktionssteuerung abgeleitet werden. Die Anwendung dieses Konzeptes wird in Kapitel 8 anhand des Fallbeispiels validiert und konkretisiert. Mit dem in Kapitel 6 vorgestellten Vorgehenskonzept für die kollaborative Materialbedarfsplanung, wird ein Beitrag zur Beantwortung von Forschungsfragen geleistet, die sich im Rahmen der Bereitstellungsplanung ergeben.

#### **3.2.3 Bereitstellungsplanung**

Die Aufgabe der Bereitstellungsplanung besteht darin, festzulegen, wie die für die Fertigung des Produktionsprogramms erforderlichen Produktionsfaktoren in der benötigten Menge und Qualität zur rechten Zeit am rechten Ort mit möglichst geringen Kosten verfügbar gemacht werden sollen.<sup>109</sup> Entsprechend der Einteilung der Produktionsfaktoren in Betriebsmittel bzw. Anlagen, Arbeitskräfte bzw. Personal und Werkstoffe bzw. Material lässt sich die Bereitstellungsplanung in die drei folgenden Teilfunktionen untergliedern:<sup>110</sup>

- (1) Planung der Bereitstellung von Betriebsmittel bzw. Anlagen (Aufgabe der Anlagenwirtschaft)
- (2) Planung der Bereitstellung von Arbeitskräften bzw. Personal (Aufgabe der Personalwirtschaft)
- (3) Planung der Bereitstellung von Werkstoffen bzw. Material (Aufgabe der Materialwirtschaft)

Aufgaben der Bereitstellungsplanung von menschlichen Arbeitskräften sind unter anderem die Personalbedarfsermittlung, die Personalbeschaffung, die Personalentwicklung, der Personaleinsatz, die Personalführung und die Personalverwaltung.<sup>111</sup> Hinsichtlich der Betriebsmittel sind vor allem die Bereitstellung von immobilien Betriebsmitteln, wie die Beschaffung von Grundstücken und Gebäuden, und langlebigen maschinellen Anlagen zu

---

<sup>107</sup> Vgl. Domschke et al. (1993), S. 16

<sup>108</sup> Vgl. Hansmann (2006), S. 257

<sup>109</sup> Vgl. Bloech et al. (2003), S. 176

<sup>110</sup> Vgl. Fandel (2005), S. 18

<sup>111</sup> Vgl. Bloech et al. (2003), S. 176

planen sowie Entscheidungen über betriebliche Standorte und das innerbetriebliche Layout zu treffen. Während diese zwei Bereiche eher mittel- und langfristig orientiert sind, sind die Fragen der Bereitstellung von Werkstoffen bzw. Materialien im Rahmen der Materialbedarfsplanung eher kurz- bis mittelfristig einzustufen.<sup>112</sup>

In diesem Zusammenhang stehende Fragen werden in der Lagerwirtschaft behandelt, die zusammen mit der Materialdisposition zu den Tätigkeitsfeldern der Materialwirtschaft gehört. Die Materialwirtschaft stellt damit das Bindeglied zwischen der Planung des Produktionsprogramms bzw. allgemeiner des Primärbedarfs und der Produktionssteuerung dar.<sup>113</sup> Aufgrund dieser integrativen Aufgabenstellung werden in Kapitel 6 kollaborative Ansätze aus dem Supply Chain Management näher untersucht, um einen Beitrag zur Beantwortung der Forschungsfragen zu leisten, die sich mit der Verbesserung der Materialdisposition und Verfahren der Materialbedarfsplanung beschäftigen. Der Fokus liegt dabei auf Unternehmen der Prozessindustrie. Die eher mittel- und langfristigen orientierten Bereiche der Anlagen- und Personalwirtschaft werden in dieser Arbeit nicht weiter behandelt.

### 3.3 Systeme zur Produktionsplanung und –steuerung

Zur Unterstützung der Aufgaben der Produktionsplanung und der mit ihnen verbundenen betrieblichen Funktionen verwenden viele Unternehmen ERP (Enterprise Resource Planning)-Systeme, die sich im Laufe der Zeit aus den Systemen der Produktionsplanung und –steuerung (PPS-Systeme) über das Computer Integrated Manufacturing (CIM) entwickelt haben.<sup>114</sup> Als PPS-Systeme werden rechnergestützte Systeme bezeichnet, die zur Planung und Kontrolle des Materialflusses in sämtlichen die Produktion im weiteren Sinne betreffenden Bereichen eingesetzt werden. Der Bogen spannt sich dabei über die gesamte logistische Kette von der Auftragsabwicklung über die Materialwirtschaft und die eigentliche Produktion bis hin zum Versand.<sup>115</sup> Durch die Verbreitung von Softwarepaketen zur Unterstützung der Produktionsplanung und –steuerung (PPS) in Unternehmen, hat mittlerweile eine Vermischung der Begrifflichkeiten „PPS“ als Unternehmensfunktion, organisatorisches System und Informatiksystem stattgefunden.<sup>116</sup> Ausgehend vom MRP-Verfahren werden in den folgenden Abschnitten die Informatiksysteme der PPS kurz vorgestellt, welche die Basis für das in Kapitel 7 vorgestellte wissensbasierte PPS-System bilden.

#### 3.3.1 ERP Systeme

Als Hauptkomponente eines umfassenden PPS-Systems wird meist das Material Requirement Planning (MRP) eingesetzt, das auch allein als materialwirtschaftliches Planungsinstrument zur Stücklistenauflösung herangezogen werden kann. Unter MRP wird ein computergestütztes Verfahren zur Materialbedarfsplanung bezeichnet, das als Heuristik zur Lagerbestandsführung und Teiledisposition, Bedarfsermittlung und zeitpunktgenauen Produktionsplanung bei mehrstufiger Fertigung eingesetzt wird.<sup>117</sup>

---

<sup>112</sup> Vgl. Domschke et al. (1993), S. 11

<sup>113</sup> Vgl. Fandel et al. (2009), S. 321

<sup>114</sup> Vgl. Fandel et al. (2009), S. 4

<sup>115</sup> Vgl. Domschke et al. (1993), S. 18

<sup>116</sup> Vgl. Scherer (1996), S. 3f

<sup>117</sup> Vgl. Kistner/Steven (2001), S. 186f

Aus dem MRP-Konzept wurde von Wight<sup>118</sup> der MRP II-Ansatz entwickelt, der als traditionelles PPS-Verfahren die Basis in vielen Softwaresystemen bildet. Wie die Abkürzung zeigt, ist MRP II zwar eine Weiterentwicklung von MRP, bedeutet aber „Manufacturing Resource Planning“. Im Unterschied zum materialorientierten MRP-Konzept, ist die Grundidee eine ganzheitliche markt- und ressourcenorientierte Planung der Absatz-, Produktions- und Bestandsmengen, die auf oberster Managementebene beginnt und eng mit dem Geschäftsplan verbunden ist.<sup>119</sup> Das von Wight entwickelte MRP II Konzept zeichnet sich durch folgende Charakteristika aus:<sup>120</sup>

- Die Integration aller Teilbereiche der Produktionsplanung und –steuerung zu einer logistischen Kette durch einen durch den Materialfluss bewegenden Informationsfluss,
- Anwendung des Prinzips der Sukzessivplanung und damit der gedanklichen Hierarchisierung des Produktionsprozesses.

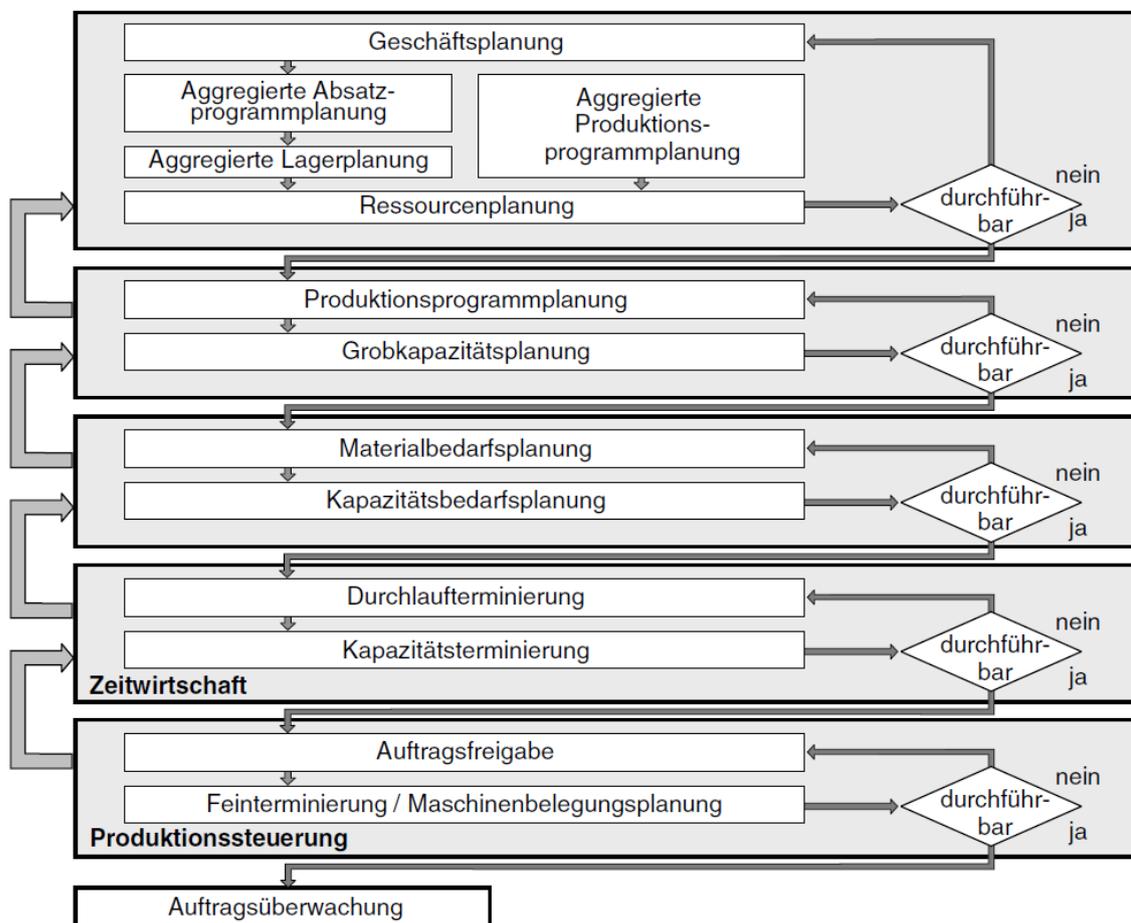


Abbildung 18: Bausteine des MRP II Konzeptes<sup>121</sup>

Dieses Konzept sieht eine sequenzielle Abarbeitung der in Abbildung 18 dargestellten Aufgaben vor. Durch die auf der jeweils linken Seite der Planungsebenen dargestellten Feedbackschleifen sollen die Konsistenz der Aufgaben gewährleistet werden. Da dies aber

<sup>118</sup> Vgl. Wight (1995)

<sup>119</sup> Vgl. Kurbel (2005), S. 2

<sup>120</sup> Vgl. Hansmann (2006), S. 250f

<sup>121</sup> Quelle: Wiendahl (2010), S. 331

meist nicht durch das PPS-System sichergestellt wird, wird die Planungsqualität von solchen MRP II-Systemen oft bemängelt. Beispielsweise erfolgt kein automatischer Abgleich der Vorlaufzeiten in der Stücklistenauflösung mit den Plandurchlaufzeiten der Durchlaufterminierung statt, die wiederum nicht mit den tatsächlichen erreichten Durchlaufzeiten verglichen und gegebenenfalls angepasst werden. Die auf der rechten Seite angedeutete Durchführbarkeitsabfrage hinsichtlich der Kapazitäten und des Materials funktioniert demgegenüber vergleichsweise gut.<sup>122</sup>

Ausgehend von diesen ursprünglichen Planungskonzepten der Stücklistenauflösung mit dem Material Requirement Planning, das dann zu Manufacturing Resource Planning erweitert wurde, hat sich der Begriff Enterprise Resource Planning entwickelt. Der ERP-Begriff deutet bereits darauf hin, dass nicht nur Ressourcen aus der Fertigung betrachtet werden, sondern alle Bereiche eines Unternehmens. Im deutschen Sprachraum werden Enterprise-Resource-Planning-Systeme auch oft mit Betriebliche Anwendungssoftware bzw. –systeme oder nur Anwendungssysteme übersetzt. Da sich der Begriff weder in der Praxis noch in der Literatur durchsetzen konnte, soll auch hier in weiterer Folge der Begriff ERP weiter verwendet werden.<sup>123</sup>

Im APICS Dictionary wird ERP definiert als Framework zur Organisation, Definition und Standardisierung von Geschäftsprozessen, die notwendig sind, um eine Organisation effektiv planen und steuern zu können, sodass das intern vorhandene Wissen zum eigenen Vorteil verwendet werden kann.<sup>124</sup> Diese Definition zeigt den sehr breiten Umfang den ERP abdeckt auf. Auch wenn der primäre Fokus in der Produktionsplanung und –steuerung liegt, muss ein Gesamtsystem alle Geschäftsprozesse, angefangen von Buchhaltung, Controlling und Personalwirtschaft, bis hin zur Personalabrechnung, Verkauf, Marketing und Vertrieb berücksichtigen und in einem System integrieren.

ERP-Systeme sind durch eine gemeinsame Datenhaltung charakterisiert, die eine Integration verschiedener Anwendungsfunktionen, Aufgaben und Daten in einem Informationssystem ermöglicht. Über die Software wird neben der datentechnischen auch eine organisatorische Integration erreicht, indem Geschäftsprozesse über Abteilungsgrenzen hinweg in einem einzigen ERP-System abgebildet werden.<sup>125</sup> Nach Gronau umfasst ein ERP-System die Verwaltung aller zur Durchführung der Geschäftsprozesse notwendigen Informationen über die Ressourcen Material, Personal, Kapazitäten, wie Maschinen oder Handarbeitsplätze, Finanzen und Informationen. Um der Anforderung einer unternehmensweiten Ressourcenplanung gerecht zu werden und um sich damit von speziellen Anwendungssystemen abzugrenzen, die sich beispielsweise nur auf die Fertigung beziehen, sollte eine ERP-System die Verwaltung von mindestens drei der oben genannten Ressourcen integrieren.<sup>126</sup>

Der Integrationsumfang spiegelt somit die Anzahl der betrieblichen Funktionen wieder, die in der betrieblichen Unternehmenssoftware abgebildet ist. Der Umfang der Integration kann sich dabei nur auf die Bereiche Finanz- und Rechnungswesen, Produktion und Logistik sowie Personalwesen beschränken, oder alle diese Bereiche umfassen. Im letzten Fall spricht man

---

<sup>122</sup> Vgl. Wiendahl (2010), S. 330

<sup>123</sup> Vgl. Gronau (2004), S. 4

<sup>124</sup> Vgl. Cox/Blackstone (2005)

<sup>125</sup> Vgl. Gronau (2004), S. 6

<sup>126</sup> Vgl. Gronau (2012c), S. 39

von einem voll integrierten ERP-System. Ein vollständig integriertes System bringt jedoch nicht nur Vorteile. Der Nachteil einer engen Integration ist die damit verbundene Erhöhung der Komplexität, die dazu führt, dass nur noch wenige Experten die komplexen Systemzusammenhänge verstehen.<sup>127</sup>

### 3.3.2 Supply Chain Management Systeme

Aufgrund der Beschränkung der ERP-Systeme auf die internen Prozesse wurden in den neunziger Jahren Supply Chain Management (SCM)-Systeme entwickelt, welche die integrierte Planung, Simulation, Optimierung und Steuerung der Waren-, Informations- und Geldflüsse entlang der gesamten Wertschöpfungskette von Kunden bis hin zum Rohstofflieferanten umfassen. Im Unterschied zur sukzessiven Abarbeitung der Planungsaufgaben nach dem MRP II Konzept, betrachten SCM-Systeme alle Planungsschritte parallel und enthalten zusätzliche Optimierungs- und Simulationsprogramme, welche diverse variabel einstellbare Bedingungen berücksichtigen können. SCM-Systeme mit solchen Planungsfunktionalitäten werden auch als Advanced Planning & Scheduling (APS)-Systeme bezeichnet.<sup>128</sup>

Unter APS wird zum einen ein konzeptioneller Begriff für bestimmte Planungs- und Steuerungsansätze, zum anderen aber auch die Lösungen in computergestützten Informationssystemen verstanden. Die erweiterten und verbesserten ERP-Funktionalitäten von APS-Systemen sind gekennzeichnet durch:<sup>129</sup>

- Ausgeprägte Modellierungsmöglichkeiten,
- Starke Orientierung an Engpässen (Constraint Management),
- Leistungsfähige Algorithmen, z.B. mathematische Optimierung (lineare Programmierung, gemischt-ganzzahlige Programmierung) und heuristische Methoden wie genetische Algorithmen, Simulated Annealing, Neuronale Netze und andere,
- Unterstützung komplexer Datenstrukturen (vieltufige Stücklisten und Arbeitspläne),
- Berücksichtigung des Peggings (Verbindung von Beschaffungs-, Produktions-, Transport- und Kundenaufträgen, wie in konventionellen Fertigungsauftragsnetzen, aber übergreifend),
- Simulationsmöglichkeiten (What-if-Simulation) für unterschiedliche Produktions- und Lieferszenarien,
- Schnittstellen zu ERP-Systemen.

Während sich die meisten Module eines Advanced Planning-Systems wie Network Design, Demand Planning, Collaborative Forecasting, Collaborative Replenishment, Vendor Management Inventory auf unternehmensübergreifende Planungsaspekte der taktischen und strategischen Supply Chain Ebene beziehen, behandeln die im Modul „Production Planning/Detailed Scheduling“ vor allem die Themenstellungen der operativen Produktionsplanung und –steuerung. Diese Funktionen eines APS-Systems finden sich auch in den sogenannten Manufacturing Execution Systemen wieder, die zur Unterstützung der dezentralen Feinplanung auf Shop Floor Ebene entstanden sind. Eine Dezentralisierung von

---

<sup>127</sup> Vgl. Gronau (2012c), S. 43

<sup>128</sup> Vgl. Wannenwetsch (2005), S. 61

<sup>129</sup> Vgl. Kurbel (2005), S. 367f

Planungsentscheidungen erhöht die Reaktionsfähigkeit, da die Entscheidungen an dem Ort getroffen werden, wo Störungen auftreten, die eine Planungsänderung erfordern.

### 3.3.3 Manufacturing Execution Systeme

Produktionsabläufe unterliegen meist einer unvorhersehbaren Dynamik mit laufend variierenden Rahmenbedingungen, wodurch eine effiziente Planung vor der Herausforderung steht, die permanent neue „Realität“ der Abläufe in Echtzeit zu berücksichtigen und deren Auswirkungen transparent zu machen. Aktuelle Daten aus den Produktionsdaten müssen für die Entscheidungsträger im Unternehmen sofort verfügbar sein, damit diese realitätsnahe Entscheidungen treffen können. Diese flexible und transparente Planung verlangt die Gestaltung der Fertigungsbereiche mit einem Höchstmaß dezentraler Funktionsfähigkeit einerseits und größtmöglicher Integration in das Gesamtsystem andererseits, d.h. eine kollaborative Planung, die die zentrale Koordination über das gesamte Unternehmen hinweg ermöglicht und zugleich die autarke, flexible Steuerung einzelner Funktionsfelder erhält.<sup>130</sup>

Aus historischer Sicht hat sich das heutige Verständnis von Manufacturing Execution Systemen (MES) vor dem Hintergrund zweier Entwicklungsströme auf dem Gebiet der Management-Konzepte entwickelt.<sup>131</sup> Auf der einen Seite war das Ziel des in den 1980er Jahren entworfenen Computer Integrated Manufacturing (CIM) die Automatisierung der Produktionsprozesse. Zeitgleich wurde das Material Requirement Planning Konzept (MRP) zum umfassenderen Management Resource Planning (MRPII) erweitert, dessen Ziel die Optimierung des gesamten Produktionssystems im Sinne einer ganzheitlichen Produktionsorganisation war. Bestehende PPS-Systeme wurden entweder mit horizontal benachbarten Systemen integriert oder kaufmännisch orientierte Finanzlösungen um die Funktionalität für die PPS erweitert, um die Basis für die weitere Entwicklung heutiger Enterprise Resource Planning (ERP) Systeme zu schaffen. Dagegen wurde das MRPII-Konzept, das heute in den meisten PPS-Systemen eingesetzt wird, in Richtung Feinplanung und –steuerung methodisch nicht weiterentwickelt. Wird ein solches PPS oder ERP-System neben der eigentlichen Aufgabe als Grobplanungswerkzeug auch als Instrument zur Fertigungssteuerung genutzt, ergeben sich Probleme bei der Feinplanung, da diese Systeme einerseits gegen unendliche Kapazitäten der Produktionsfaktoren planen und andererseits keine zeitnahe Rückmeldungen zu den Ereignissen in der Produktion verarbeiten.<sup>132</sup> Viele relevante Einschränkungen bezüglich Verfügbarkeit von Mensch, Maschine und Material durch nicht planbare Gegebenheiten wie Maschinenstörung, qualitativ minderwertiges Rohmaterial oder nicht genügend qualifiziertes Personal werden nicht berücksichtigt. Aufgrund nicht vorhandener zeitnaher Rückmeldungen dieser Ereignisse ist der Regelkreis der Fertigungssteuerung für ein rechtzeitiges Gegensteuern in Engpass- und Konfliktsituationen zu träge und es kommt zu Terminabweichungen.

Die aus diesem Hintergrund entstandenen Manufacturing Execution Systeme zeigen neue Lösungsansätze auf und unterstützen die fertigungsnahe, operative Planung und Steuerung, damit diese viel schneller auf ungeplante Ereignisse in der Fertigung reagieren kann und auch bekannte Engpässe bereits im Vorfeld in der Planung berücksichtigt. Die Schaffung einheitlicher Begriffsdefinitionen und genauer Aufgaben- sowie Funktionsabgrenzungen für

---

<sup>130</sup> Vgl. Bronk/Vogt (2001), S. 14

<sup>131</sup> Vgl. Kleinert/Sontow (2010), S. 29ff

<sup>132</sup> Vgl. Kletti (2006), S. 86f

MES, wurde insbesondere von der MESA (Manufacturing Execution System Association), ISA (International Society of Automation) und vom VDI (Verein Deutsche Ingenieure) vorangetrieben.

Die MESA beschäftigte sich als einer der ersten Organisationen mit dem Thema MES und hat zwölf Funktionsgruppen definiert, die in einem MES zur Unterstützung des operativen Produktionsmanagements erforderlich sind.<sup>133</sup> Der ISA S 95 Standard wurde von einem Komitee aus ca. 200 Anwendern und Herstellern entwickelt, mit dem Ziel zu definieren, was man unter einem MES verstehen soll. Neben dem Begriff MES wurde dabei auch der Begriff MOS (Manufacturing Operation System) eingeführt. Die Funktionsstruktur basiert dabei auf drei Ebenen: Unternehmensmanagement, MES bzw. MOS und Automatisierungsebene.

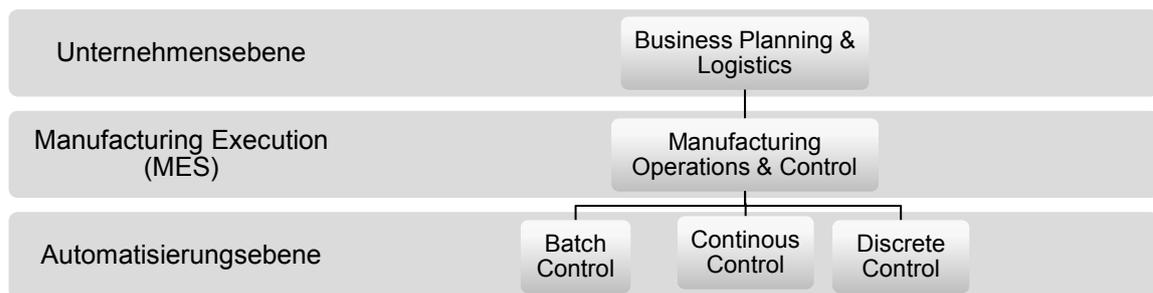


Abbildung 19: Funktionale 3-Schicht Architektur der ISA<sup>134</sup>

Diese 3-Schicht Architektur der ISA ist in Abbildung 19 veranschaulicht. Auf der untersten Ebene wird zwischen drei Fertigungsarten unterschieden:<sup>135</sup>

- (1) Prozessfertigung (kontinuierlicher Fertigung)
- (2) Batch-Fertigung (chargen- oder losorientierte kontinuierliche Fertigung)
- (3) Diskrete Fertigung (teileorientierte Fertigung)

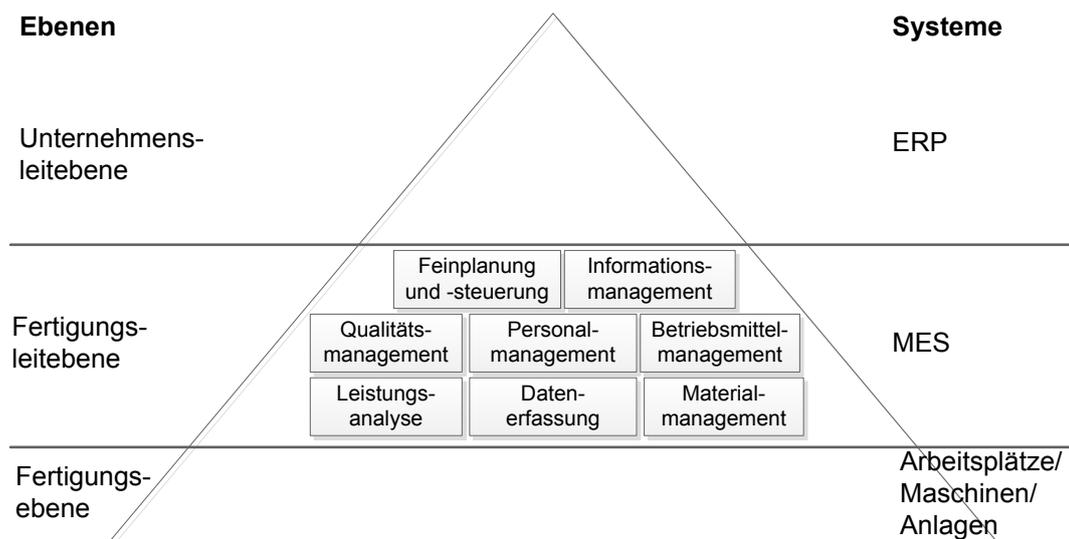


Abbildung 20: Einordnung der Aufgaben von MES<sup>136</sup>

<sup>133</sup> Vgl. Kletti (2006), S. 25f

<sup>134</sup> Quelle: in Anlehnung an Scholten (2007), S. 29

<sup>135</sup> Vgl. Kletti (2006), S. 27

Nach VDI-Richtlinie 5600 ist unter MES ein betrieblicher Aufgabenbereich zu verstehen, der, wie in Abbildung 20 dargestellt, acht betriebliche Aufgabenbereiche umfasst.<sup>137</sup> MES-Lösungen unterstützen dabei alle oder ausgewählte Aufgabenbereiche aus diesem MES-Aufgabenspektrum. MES-Lösungen wurden ursprünglich für die diskrete Fertigung entwickelt, können aber auch durch Adaptionen an die spezifischen Bedürfnisse der jeweiligen Prozessindustrie angepasst werden.<sup>138</sup>

### 3.4 Zielsystem in der Produktion

Nachdem nun mit den wesentlichsten Aufgabenstellungen, Methoden und verwendeten IT-Systemen in der Produktion ein grober Überblick über den Stand der Technik im Produktionsmanagement gegeben wurde, werden in diesem Abschnitt die Ziele in der Produktion beleuchtet. Dem Forschungsansatz der entscheidungsorientierten Betriebswirtschaft folgend sind diese im Rahmen der Zielforschung zu behandeln. Dieser Abschnitt bildet auch die Grundlage für die Zielformulierung und Definition der zu untersuchenden Zielgrößen für die Data-Mining Analyse in Kapitel 7. Unter Ziele versteht man Aussagen über Zustände, die als Ergebnis von Entscheidungen angestrebt werden. Zur eindeutigen Formulierung von Zielen werden folgende Angaben benötigt:<sup>139</sup>

- Inhalt: die durch die Entscheidung zu beeinflussende Größe
- Ausmaß: Maximierung, Minimierung, Fixierung oder Limitierung
- Zeitbezug: Periode, in der ein Ziel erreicht werden soll.

Da meist mehrere Ziele nebeneinander verfolgt werden, sind die unterschiedlichen Zielbeziehungen am besten durch ein strukturiertes Zielsystem zu berücksichtigen. Als Zielsystem wird eine geordnete Gesamtheit von Zielelementen (einzelnen Zielen) verstanden, zwischen denen Beziehungen bestehen oder hergestellt werden können. Die Beziehungen zwischen den einzelnen Zielen eines Zielsystems können auf gleicher Ebene oder auf unterschiedlichen Stufen bestehen. Das Erfüllen der primären Ziele soll dabei durch Erreichen der einzelnen Zielelemente gewährleistet werden.<sup>140</sup>

#### 3.4.1 Ziele in der Produktion

Die Ziele des Produktionsmanagements richten sich generell am sozio-ökonomischen Prinzip. Darunter ist zu verstehen, dass sich die Mitarbeiter in der Produktion nicht nur nach einem Ziel, sondern nach einem Zielsystem orientieren, das gleichzeitig ökonomische und soziale Zielvorstellungen enthält. Aus ökonomischer Sicht geht es um die wirtschaftliche Ergiebigkeit des Transformationsprozesses. Die Ergiebigkeit zwischen Output- und Inputgrößen wird durch wert- und mengenmäßige Relationen dargestellt. Dem grundlegenden ökonomischen Minimum- bzw. Maximum Prinzip folgend, geht es im Rahmen der Produktion darum, entweder den angestrebten Output mit einem Minimum an Input zu erreichen oder den Output bei gegebenem Input zu maximieren.<sup>141</sup>

---

<sup>136</sup> Quelle: in Anlehnung an Kletti/Deisenroth (2012), S. 19

<sup>137</sup> Vgl. VDI 5600 (2007), S. 7ff

<sup>138</sup> Vgl. Loos (1997), S. 7

<sup>139</sup> Vgl. Kiener et al. (2006), S. 14

<sup>140</sup> Vgl. Jung (2006), S. 33

<sup>141</sup> Vgl. Zäpfel (2001), S. 37

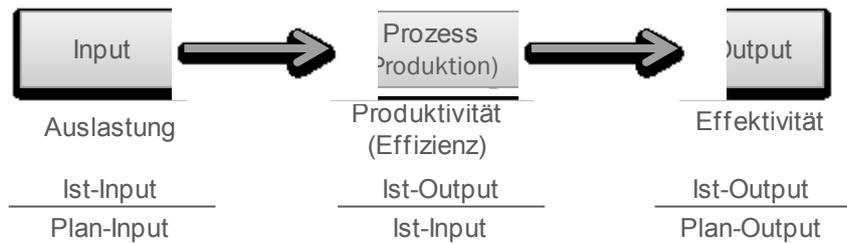


Abbildung 21: Input-Output Performance Kennzahlen<sup>142</sup>

Betrachtet man ein Produktionssystem aus einfacher Input-Prozess-Output-Sicht ergeben sich zur Performance Messung des Transformationsprozesses die in Abbildung 21 dargestellten drei Kennzahlenbereiche:<sup>143</sup>

- (1) **Input:** Auf der Seite des Inputs beantwortet die Auslastung die Frage nach möglichen Leerkosten. Als Messgrößen können die geleisteten Arbeitsstunden in Relation zu den geplanten Arbeitsstunden, die Ist-Maschinenstunden in Relation zu den geplanten Maschinenstunden oder die tatsächlichen Materialverbräuche in Relation zu den geplanten Materialverbräuchen verwendet werden.
- (2) **Prozess (Throughput):** Zur Messung der Effizienz des Produktionsprozesses kann die klassische Produktivität herangezogen werden. Dabei sind die jeweiligen Faktorproduktivitäten als Teilproduktivitäten zu bilden, da die Ermittlung der Gesamtproduktivität als Relation von Gesamtpoutput zu Gesamtinput durch unterschiedliche Einheiten der Produktionsfaktoren nicht möglich ist.
- (3) **Output:** Während die Produktivität darauf abzielt, ob die Produktion richtig bzw. effizient läuft, geht es beim Output auch darum, ob das Richtige produziert wurde bzw. die Produktion effektiv läuft. Mithilfe der Effektivität und Kennzahlen wie Qualität und Liefertreue wird beurteilt, ob richtig gearbeitet wird und die Leistungsziele der Produktion erreicht werden.

Für Lenkungsentscheidungen im operativen Produktionsmanagement sind neben der Rentabilität, als wohl gängigste betriebswirtschaftliche Kennziffer zur Erfassung des finanziellen Erfolges, vor allem die Produktivität und Wirtschaftlichkeit von Bedeutung.<sup>144</sup>

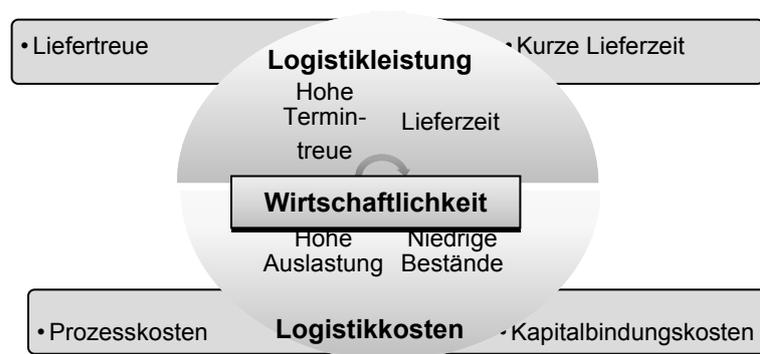


Abbildung 22: Zielsystem der Produktionslogistik<sup>145</sup>

<sup>142</sup> Quelle: in Anlehnung an Kiener et al. (2006), S. 18

<sup>143</sup> Vgl. Kiener et al. (2006), S. 18

<sup>144</sup> Vgl. Zäpfel (2001), S. 37

Ausgehend von der Wirtschaftlichkeit ist in Abbildung 22 das Zielsystem der Produktionslogistik nach Wiendahl dargestellt, der dieses in die Bereiche Logistikleistung und Logistikkosten untergliedert. Die Logistikleistung beschreibt die vom Kunden wahrgenommene Sicht mit den Größen Lieferzeit und Liefertreue. Eine kurze externe Lieferzeit erfordert auch eine kurze interne Durchlaufzeit in der Produktion. Ebenso bedingt eine hohe externe Liefertreue zum Kunden eine hohe Termintreue bei der Lieferung der Produktion. Die Logistikkosten setzen sich aus den Kapitalbindungskosten für Bestände und logistischen Prozesskosten zusammen, die durch eine hohe Auslastung positiv beeinflusst werden. Diese Logistikkostenarten werden weiter differenziert nach Kosten für Lenkung und Auftragsabwicklung, Wareneingang, -ausgang und Transport sowie Einlagerung, Lagerung und Auslagerung von Material.<sup>146</sup>

Bei den Zielen zur Maximierung der Termintreue und Minimierung der Durchlaufzeiten handelt es sich um eine komplementäre Zielbeziehung, da die Verfolgung des einen Ziels ebenfalls zu einer Verbesserung des anderen Ziels führt. Im Gegensatz dazu sind die Ziele einer hohen Auslastung und minimale Durchlaufzeiten konfliktär, da mit der Verbesserung des einen Ziels der Realisierungsgrad des anderen Ziels verschlechtert wird und vice versa. Zur Maximierung der Kapazitätsauslastung der Anlagen müssen die Leerzeiten minimiert werden. Daher werden möglichst viele Materialbestände vor der betroffenen Anlage vorgehalten. Dadurch sollen Leerzeiten durch ungeplante Anlagenstörungen und auch Rüstzeiten vermieden bzw. minimiert werden, indem andere Produktionsaufträge vorgezogen werden können. Die Sicherung einer hohen Auslastung erfordert somit hohe Bestände, die wiederum zu langen Durchlaufzeiten führen. Dieser Zielkonflikt der Produktionssteuerung zwischen Maximierung der Auslastung einerseits und Minimierung der Durchlaufzeiten andererseits wird nach Gutenberg als Dilemma der Ablaufplanung bezeichnet.<sup>147</sup> Demnach existiert prinzipiell nicht nur ein Ziel, dessen Wert zu maximieren oder zu minimieren ist, sondern es sind immer die Auswirkungen von Maßnahmen auf alle Teilziele gleichzeitig zu berücksichtigen.<sup>148</sup> In den folgenden Abschnitten werden zunächst die Kennzahlen für die einzelnen Teilziele diskutiert, um diese dann in einem Kennzahlensystem mit ihren Wechselwirkungen zusammenzuführen und darzustellen.

#### 3.4.2 Anlagenbezogene Kennzahlen

Als Maß für die Anlagenproduktivität wird in der Literatur meist die Gesamtanlageneffektivität (OEE Overall Equipment Effectiveness) genannt. Die OEE ist die zentrale Kennzahl innerhalb des TPM-Konzeptes (Total Productive Maintenance) und ergibt sich durch Multiplikation von Verfügbarkeit, Leistungseffizienz und Qualitätsrate, die sich durch die Berücksichtigung der Anlagenverlustarten unterscheiden.<sup>149</sup>

- **Verfügbarkeit:** Ausgehend von der Gesamtverfügbarkeit werden ungeplante Stillstandszeiten aufgrund von Maschinenversagen und Rüstzeiten zum Einrichten und Justieren bzw. Einstellen der Maschinen berücksichtigt. Die Gesamtverfügbarkeit ergibt sich durch die Kalenderzeit abzüglich geplanter Stillstandszeiten (inklusive

---

<sup>145</sup> Quelle: in Anlehnung an Wiendahl (2010), S. 252

<sup>146</sup> Vgl. Wiendahl (2010), S. 252

<sup>147</sup> Vgl. Gutenberg (1983), S. 214

<sup>148</sup> Vgl. Nyhuis/Wiendahl (2002), S. 4

<sup>149</sup> Vgl. Hartmann (2007), S. 62ff

Pausen) sowie von Zeiten, zu denen kein Betrieb vorgesehen ist. Zieht man von der geplanten Laufzeit Rüst- und Einstellvorgänge ab, erhält man die Betriebszeit, von der man die ungeplanten Stillstandszeiten abzieht, um die Nettobetriebszeit zu erhalten.

- **Leistungseffizienz:** Basis für die Ermittlung der Leistungseffizienz ist die Nettobetriebszeit, die um Leerlauf und kurze Stopps sowie Geschwindigkeitsverluste vermindert wird, um zur nutzbaren Betriebszeit zu gelangen.
- **Qualitätsrate:** Die nutzbare Betriebszeit abzüglich des Zeitverlusts durch Defekte ergibt die Nettoproduktivzeit.

Als Maß für die wirkliche Anlagenproduktivität spiegelt nach Hartmann die totale effektive Anlagenproduktivität (TEEP Total Effective Equipment Productivity) die reale Produktivität einer Anlage wieder.<sup>150</sup> Die TEEP berücksichtigt sowohl die Gesamtanlageneffektivität als auch die Anlagenauslastung und ergibt sich durch Multiplikation der OEE mit der Anlagenauslastung. Voraussetzung für eine hohe Anlagenproduktivität ist somit eine hohe Auslastung, die dann auch zu einer hohen Anlagenrentabilität (ROA Return on Assets) führt. Die Anlagenauslastung definiert Hartmann dabei als Relation von planmäßiger Betriebsmitteleinsatzzeit zur Kalenderzeit. Entsprechend der Formel für die Auslastung auf der Inputseite aus Abbildung 21 steht die planmäßige Betriebsmitteleinsatzzeit damit für den Ist-Input, während die Kalenderzeit den Plan-Input repräsentiert.<sup>151</sup>

Eine weitere Kennzahl, die sich an dieser Definition der Auslastung orientiert, ist der Nutzungsgrad, der oft als synonyme Begriff für die Verfügbarkeit verwendet wird.<sup>152</sup> Die DIN 13306 definiert die Verfügbarkeit als die Fähigkeit einer Einheit, zu einem gegebenen Zeitpunkt oder während eines gegebenen Zeitraums in einem Zustand zu sein, der eine geforderte Funktion bei gegebenen Bedingungen unter der Annahme erfüllt, dass die erforderlichen äußeren Hilfsmittel bereitgestellt sind.<sup>153</sup> Die Berechnung der Verfügbarkeit bzw. des Nutzungsgrads erfolgt durch Relation der Summe der Betriebszeiten zur Summe der Betriebszeiten und der Summe der Ausfallzeiten.

Abbildung 23 gibt einen Überblick über die Verfügbarkeitsarten. Im Zusammenhang mit den Kennzahlen zur Messung der Anlagenproduktivität bzw. -effektivität ist zu beachten, dass in der Literatur zahlreiche unterschiedliche Definitionen existieren. So verwendet beispielsweise Rasch von der Norm abweichend die von Miyoshi<sup>154</sup> gewählte Definition der Overall Plant Effectiveness (OPE) zur Definition der Gesamtanlageneffektivität. Als Begründung führt er die bessere Eignung für die Prozessindustrie an. Die OPE entspricht dabei der TEEP nach Hartmann und berücksichtigt bewusst auch planungsbasierte Verluste, die sowohl auf Produktionsplananpassungen als auch auf geplante Anlagenstillstände zurückzuführen sind.<sup>155</sup>

---

<sup>150</sup> Vgl. Hartmann (2007), S. 61

<sup>151</sup> Allgemein beschreibt die Kapazitätsauslastung die Nutzung der Kapazität, d.h. die prozentuale Relation von benötigter Kapazität zu vorhandener Kapazität, vgl. Pawellek (2007), S. 159. Je nach Betrachtung ergeben sich dadurch unterschiedliche Kennzahldefinitionen, vgl. Jodlbauer (2008), S. 22

<sup>152</sup> Vgl. Sommer (2008), S. 31

<sup>153</sup> Vgl. DIN 13306 (2010), S. 12

<sup>154</sup> Vgl. Miyoshi (1994)

<sup>155</sup> Vgl. Rasch (2000), S. 198

Belegungszeit $T_B$			
Maschinenbedingte technische Störung: $T_T$	Theoretische Verfügbarkeit		
	Maschinenbedingte Wartung, Kalibrierung $T_W$	Technische Verfügbarkeit	
		Organisatorische Störungen fehlende Ver-/Entsorgung $T_O$	Praktische Verfügbarkeit

Abbildung 23: Verfügbarkeitsarten<sup>156</sup>

Nicht alle der genannten Zeitanteile können durch die Produktionsplanung beeinflusst werden. Mit der Produktionsprozessplanung können vor allem die organisatorische Ausfallzeiten  $T_O$  beeinflusst werden, wie beispielsweise der Wechsel von Betriebsmitteln sowie das Fehlen von Werkstücken, Werkzeugen oder personeller Kapazität. Dagegen sind maschinenbedingte Ausfallzeiten  $T_T$  und geplante Wartungszeit  $T_W$  nicht unmittelbar durch die Ablaufplanung beeinflussbar. Damit stellen die praktische Anlagenverfügbarkeit bzw. der Gesamtnutzungsgrad, geeignete Kennzahlen dar, die im Rahmen einer Analyse zur Identifikation von Verbesserungspotentialen in der Produktionsplanung und zur Ableitung von Planungsregeln herangezogen werden können.

Zieht man auch noch Leerläufe und Kurzstillstände in Betracht, die ebenfalls durch die Produktionsprozessplanung beeinflusst werden können, eignet sich auch der Leistungsgrad als Kennzahl für eine weitere Analyse. Darüber hinaus kann auch die Qualitätsrate insbesondere in der Prozessindustrie durch die Produktionsplanung beeinflusst werden, indem beispielsweise durch nicht Beachtung von minimal oder maximal erforderlichen Liegezeiten, wie Abkühlzeiten, im Rahmen der Reihenfolgeplanung Ausschuss verursacht wird. Damit können auch die Qualitätsrate und somit auch der OEE sowie der TEEP als Kennzahl für die Bewertung der Zielerreichung der Produktionsplanung verwendet werden.

Nach den anlagenbezogenen Kennzahlen spielen für die Bewertung der Zielerreichung in der Produktion Kennzahlen für die Durchlaufzeiten eine wesentliche Rolle, die im folgenden Abschnitt erläutert werden.

### 3.4.3 Durchlaufzeit

Die Durchlaufzeit eines Auftrags (Betriebsauftrag) ZDA wird, wie in Abbildung 24 veranschaulicht, definiert als die Zeitdauer zwischen der Auftragsfreigabe TAB und dem Bearbeitungsende TAE eines Auftrags. Vereinfachend wird meist eine tagesgenaue Planung bzw. Rückmeldung und somit die Einheit Betriebskalendertage (BKT) angenommen.<sup>157</sup>

$$ZDA = TAE - TAB$$

mit    ZDA    Auftragsdurchlaufzeit [BKT]  
        TAE    Bearbeitungsende Auftrag [BKT]  
        TAB    Bearbeitungsanfang Auftrag (Auftragsanstoß) [BKT]

<sup>156</sup> Quelle: in Anlehnung an Sommer (2008), S. 34

<sup>157</sup> Vgl. Lödding (2008), S. 29

Die Durchlaufzeit eines Arbeitsvorgangs ist definiert als die Zeitspanne, die ein Auftrag von der Beendigung des vorhergehenden Arbeitsvorganges bis zum Bearbeitungsende des betrachteten Arbeitsvorganges selbst benötigt.<sup>158</sup>

$$ZDL = TBE - TBEV$$

- mit ZDL Durchlaufzeit (Arbeitsvorgang) [BKT]
- TBE Termin Bearbeitungsende eines Arbeitsvorganges [BKT]
- TBEV Termin Bearbeitungsende des Vorgänger-Arbeitsvorganges [BKT]

Gemäß dieser üblichen Definition werden die Liegezeit nach Bearbeitung, die Transportzeit und die Liegezeit vor Bearbeitung dem betrachteten Arbeitsvorgang zugeordnet und als Übergangszeit zusammengefasst. Der zweite Teil der Durchlaufzeit setzt sich aus Rüst- und Bearbeitungszeit zusammen und wird als Durchführungszeit zusammengefasst.

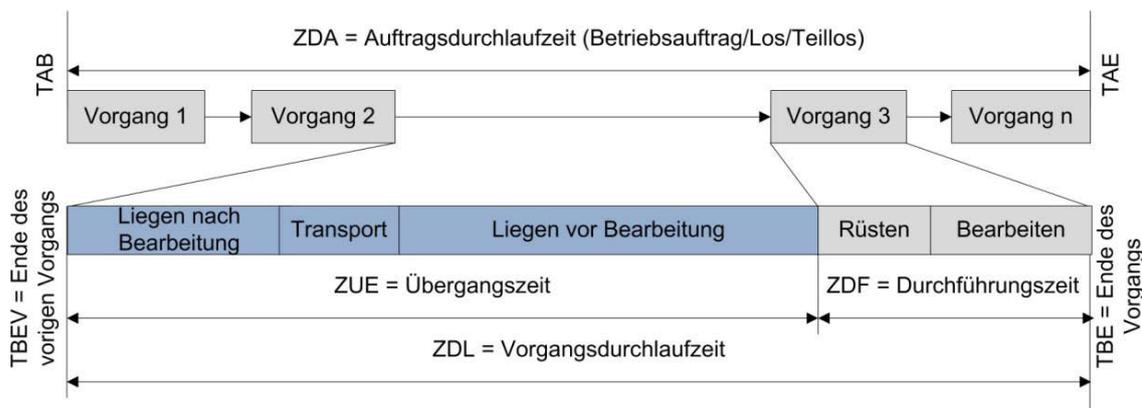


Abbildung 24: Auftrags- und Vorgangsbezogene Durchlaufzeitanteile<sup>159</sup>

Nicht alle Durchlaufzeitanteile sind durch die Produktionsprozessplanung optimierbar. Ausgehend von der Durchlaufzeitgliederung nach dem REFA-Schema sind in Tabelle 3 die durch die Ablaufplanung beeinflussbaren Zeitanteile dargestellt.

Tabelle 3: Einfluss der Produktionsprozessplanung auf die Durchlaufzeit<sup>160</sup>

Durchlaufzeit					
Planmäßige Durchlaufzeit					Zusatzzeit
Belegungszeit		Übergangszeit			Zusatzzeit
Haupt-	Neben-				Zusatzzeit
Bearbeitungszeit	Rüstzeit	Wartezeit	Technol. Liegezeit	Transportzeit	Zusatzzeit
	Durch Ablaufplanung beeinflussbar				

Lediglich der reihenfolgeabhängige Anteil der Rüstzeit und die Wartezeit sind durch die Produktionsprozessplanung beeinflussbar.<sup>161</sup> Diese Zeitanteile sollen daher die Ausgangsbasis bei der Analyse von Durchlaufzeiten bilden, um planungsinduzierte Verbesserungsmaßnahmen zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit ableiten zu können. Als Maß für die der Wirtschaftlichkeit eines Gesamtprozesses kann der Prozesswirkungsgrad bzw. die

<sup>158</sup> Vgl. Nyhuis/Wiendahl (2002), S. 21f  
<sup>159</sup> Quelle: in Anlehnung an Nyhuis/Wiendahl (2002), S. 22  
<sup>160</sup> Quelle: in Anlehnung an Teich (2002), S. 295  
<sup>161</sup> Vgl. Teich (2002), S. 295

Prozesseffizienz (PEF) als Verhältnis der wertschöpfenden Zeit zur gesamten Durchlaufzeit berechnet werden:<sup>162</sup>

$$\text{Prozesseffizienz (PEF)} = \frac{\text{wertschöpfende Zeiten}}{\text{Durchlaufzeit}}$$

Die wertschöpfende Zeit bezeichnet dabei die Zeit, in der ein Mehrwert durch „Veredelung“ des Produktes geschaffen wird, für die der Kunde bereit ist zu bezahlen.<sup>163</sup>

### 3.4.4 Terminabweichung und Termintreue

Die Terminabweichung ist definiert als Abweichung des tatsächlichen vom geplanten Auftragsdurchlauf und kann im Zugang, im Abgang und gegenüber der Plan-Durchlaufzeit eines Auftrags wie nachfolgend dargestellt gemessen werden.<sup>164</sup>

Die Zugangsterminabweichung TAZ drückt aus, um wie viele Tage ein Auftrag gegenüber dem Plan-Starttermin verspätet (TAZ > 0) bzw. verfrüht (TAZ < 0) freigegeben bzw. gestartet wird. Die Zugangsterminabweichung dient insbesondere zur Analyse und Beurteilung der Auftragsfreigabe, wobei ein verspäteter Auftragsstart auch häufig zu einer verspäteten Fertigstellung des Auftrags führt.<sup>165</sup>

$$\text{TAZ} = \text{TAB}_{\text{Ist}} - \text{TAB}_{\text{Plan}}$$

mit	TAZ	Zugangsterminabweichung [BKT]
	TAB <sub>Ist</sub>	Ist-Bearbeitungsanfang Auftrag (Auftragsanstoß) [BKT]
	TAB <sub>Plan</sub>	Plan-Bearbeitungsanfang Auftrag (Auftragsanstoß) [BKT]

Die Abgangsterminabweichung TAA gibt an, um welche Zeitdauer ein Auftrag gegenüber dem Plan-Fertigstellungstermin verspätet fertig gestellt wird. Ein negativer Wert bedeutet dabei eine vorzeitige, ein positiver Wert eine verspätete Fertigstellung.<sup>166</sup>

$$\text{TAA} = \text{TAE}_{\text{Ist}} - \text{TAE}_{\text{Plan}}$$

mit	TAA	Abgangsterminabweichung [BKT]
	TAE <sub>Ist</sub>	Ist-Bearbeitungsende Auftrag [BKT]
	TAE <sub>Plan</sub>	Plan-Bearbeitungsende Auftrag [BKT]

Da die Abgangsterminabweichung direkt auf die Lieferterminabweichung und damit auf die Liefertreue wirkt, hat sie eine hohe Bedeutung als interne logistische Zielgröße. Die Liefertermintreue bezeichnet den Grad der Übereinstimmung zwischen dem zugesagten bzw. bestätigten Termin und dem tatsächlichen Termin der Auftragserfüllung. Damit lässt sich aus der Liefertermintreue auch die Zuverlässigkeit eines Unternehmens ableiten, die insbesondere für die Eignung von Just-in-time Konzepten oder für die Einrichtung von puffer- und bestandsarmen Abläufen von wesentlicher Bedeutung sind.<sup>167</sup>

<sup>162</sup> Vgl. Kletti/Schumacher (2011), S. 71

<sup>163</sup> Vgl. Mollenhauer et al. (2007), S. 142

<sup>164</sup> Vgl. Lödding (2008), S. 29f, zu den einzelnen Definitionen siehe auch Dombrowski (1988)

<sup>165</sup> Vgl. Lödding (2008), S. 30

<sup>166</sup> Vgl. Lödding (2008), S. 29

<sup>167</sup> Vgl. Wegner (1993), S. 37

Die relative Terminabweichung (TAR) beschreibt die Zeitdauer, mit welcher der Durchlauf eines Auftrags durch die Fertigung gegenüber der Plan-Durchlaufzeit verzögert ( $TAR > 0$ ) bzw. beschleunigt ( $TAR < 0$ ) wurde:<sup>168</sup>

$$TAR = ZDA_{Ist} - ZDA_{Plan} = TAA - TAZ$$

mit	TAR	relative Terminabweichung [BKT]
	$ZDA_{Ist}$	Ist-Durchlaufzeit Auftrag [BKT]
	$ZDA_{Plan}$	Plan-Durchlaufzeit Auftrag [BKT]

Mit dieser Kennzahl kann die Durchlaufzeit eines Auftrags durch die Fertigung bewertet werden. Bei einer positiven relativen Terminabweichung ( $TAR > 0$ ) wird der Auftrag auch häufig zu spät fertig gestellt.

Während die Terminabweichung für einen einzelnen Auftrag bestimmt wird, kann mit der Termintreue die Gesamtheit aller Aufträge eines Zeitraums beurteilt werden. Die Abgangstermintreue ist definiert als prozentualer Anteil der innerhalb einer gegebenen Termintoleranz fertig gestellten Aufträge. Da die Termintreue je nach Lieferzeitpuffer direkt auf die Liefertreue wirkt, ist sie auch eine wichtige logistische Zielgröße und kann auch als logistische Prozesssicherheit gedeutet werden, d.h. als Genauigkeit und Zuverlässigkeit, mit der Planvorgaben wie die Durchlaufzeit eingehalten werden.<sup>169</sup>

### 3.4.5 Bestände

Bestände tragen auf unterschiedlicher Art und Weise zum Logistikerfolg bei und sind unter gewissen Umständen unerlässlich. Die wichtigsten Vorteile, die Bestände mit sich bringen und für den Aufbau von Beständen sprechen, lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:<sup>170</sup>

- Ausgleich zeitlicher Abweichungen zwischen Verbrauch und Produktion,
- Sicherung der Anlagenauslastung bei Störungen,
- Ausgleich bei unterschiedlichen Produktionsgeschwindigkeiten von aufeinanderfolgenden Anlagen,
- Lieferfähigkeit, falls die Durchlaufzeit größer als die Kundenwunschlieferszeit ist,
- Verbesserung der Losgrößenplanung,
- Flexibilität bei Schwankungen im Auftragseingang.

Aufgrund der mit Beständen verbundenen Kapitalbindungskosten und auch anderer Gründe ist eines der Hauptziele die richtige Höhe des Bestandsniveaus zu definieren. Die weitere Betrachtung beschränkt sich auf die Bestände in der Produktion, also der Ware in Arbeit, die von den Beständen im Lager der Einkaufsteile und der Fertigware abzugrenzen ist.

Neben Anlagenauslastung, Durchlaufzeit und Termintreue spielt der Bestand eine wichtige Rolle in der Produktion, da er einerseits als absolute Regelgröße aber auch als relative Größe in Form der Bestandsreichweite in der Produktionslogistik eine wesentliche Bedeutung hat. Der Bestand in der Produktion ist dabei abzugrenzen vom Bestand im Lager und umfasst als Umlaufbestand bzw. Ware in Arbeit (meist abgekürzt als WIP work in process) die Anzahl der Aufträge bzw. Materialien, die an einem Arbeitsplatz bearbeitet werden oder auf die

<sup>168</sup> Vgl. Lödding (2008), S. 30f

<sup>169</sup> Vgl. Wiendahl (2011), S. 92

<sup>170</sup> Vgl. Gollwitzer/Karl (1998), S. 148f

Bearbeitung warten. Die Messung der Bestandsgröße kann entweder durch die Anzahl der anstehenden Aufträge bzw. Artikel in Stück oder in der Prozessindustrie auch in Gewicht- oder Volumeneinheiten (beispielsweise in Tonnen in der Stahlindustrie oder in Hektoliter bei flüssiger Ware) erfolgen oder auch in der Anzahl der zu leistenden Arbeitsstunden durch Berücksichtigung der Vorgabestunden aus dem Arbeitsplan.

Zur Bewertung der Leistungsfähigkeit eines Produktionssystems ist neben absoluten Bestandswerten vor allem die Bestandsreichweite zu berücksichtigen. Die Reichweite  $RW$  gibt allgemein die Zeit an, für die der aktuelle Lagerbestand bei einem durchschnittlichen oder geplanten Materialverbrauch pro Zeiteinheit (Tag, Woche, Monat oder Jahr) noch ausreichen sollte:<sup>171</sup>

$$RW = \frac{\text{aktueller Lagerbestand am Stichtag}}{\text{\textcircled{O}} \text{ Bedarf pro Zeiteinheit (Tag, Woche, Monat, Jahr)}}$$

bzw.

$$RW = \frac{\text{Lagerbestand} + \text{offene Bestellungen}}{\text{geplanter Verbrauch pro Zeiteinheit (Tag, Woche, Monat, Jahr)}}$$

Aus Sicht der Produktion bezeichnet die Umlaufbestandsreichweite  $RW_{UB}$  demnach die Zeit, die die betrachtete Kapazitätseinheit benötigt, um den aktuellen Arbeitsvorrat abzarbeiten:<sup>172</sup>

$$RW_{UB} = \frac{\text{aktueller Umlaufbestand vor einer Kapazitätseinheit}}{\text{aktuelle oder \textcircled{O} Leistung der Kapazitätseinheit}}$$

### 3.4.6 Bewertung der Ziele

Eine exakte Quantifizierung der Auswirkungen der Ablaufplanung auf Erlöse und Kosten anhand einer Formel ist nur schwer und teilweise gar nicht möglich. Zum Beispiel lässt sich die Verbesserung der Termintreue nur schwer quantifizieren, wie beispielsweise durch vertraglich vereinbarte Pönalezahlungen im Falle einer verspäteten Lieferung. Ebenfalls lassen sich die Kosten für Zwischenlager schlecht bestimmen, da die Höhe des in Lagern gebundenen Kapitals oft nicht zweifelsfrei zu bestimmen ist. Anstelle der primären ökonomischen Ziele werden daher häufig derivative zeit- oder auch mengenbezogene Zielgrößen verwendet, die sich einfacher bestimmen lassen.<sup>173</sup> Die Wirkung dieser logistischen Zielgrößen auf eine ökonomische Zielgröße kann anhand eines Treiberbaums dargestellt werden. Als finanzwirtschaftliche Kennzahlen kommt in Zusammenhang mit den bereits erwähnten Rentabilitätskennzahlen auch die Unternehmenskennzahl Economic Value Added (EVA) in Betracht. Das Konzept des Economic Value Added wurde von Stern et al.<sup>174</sup> entwickelt und ist eines der am weitesten verbreiteten Konzepte der wertorientierten Unternehmensführung.<sup>175</sup> Der EVA beantwortet die Frage, ob in einer Periode Wert geschaffen oder vernichtet wurde und somit mit dem eingesetzten Kapital Mehrwert

<sup>171</sup> Vgl. Schulte (2001), S. 470

<sup>172</sup> Vgl. Wiendahl (2011), S. 145

<sup>173</sup> Vgl. Adam (1997), S. 567

<sup>174</sup> Vgl. Stern et al. (1995)

<sup>175</sup> Vgl. Pilzecker (2011), S. 27



Aufgrund einer geringeren Auslastung wird Anlagenkapazität frei. Desinvestiert man diese freie Anlagenkapazität vermindern sich sowohl die Abschreibungen als auch der Restbuchwert. Während erstere den Gewinn erhöht, senkt zweiterer die Kapitalkosten, was beides zu einer Erhöhung des EVA führt. Eine Senkung der Anlagenkapazität durch Desinvestitionen erhöht somit den EVA und auch die Anlagenauslastung. Die durch eine hohe Auslastung üblicherweise erzielte Fixkostendegression ist in diesem Modell nicht abgebildet, da hier nur Vollkosten und keine Teilkosten betrachtet werden und folglich nicht zwischen fixen und variablen Kostenbestandteilen unterschieden werden kann.

Jodlbauer unterscheidet noch zwischen formelgebundenen Treiber, deren Auswirkung auf Kosten quantifizierbar ist, und intuitiven Treiber, deren Korrelationen auf den EVA empirisch überprüfbar wurden, sich jedoch nicht anhand einer Formel ausdrücken lassen. Bei der wertschöpfungsorientierten Optimierung einer logistischen Zielgröße sind daher immer die damit verbundenen Wechselwirkungen zu beachten und Zielwerte zu definieren.

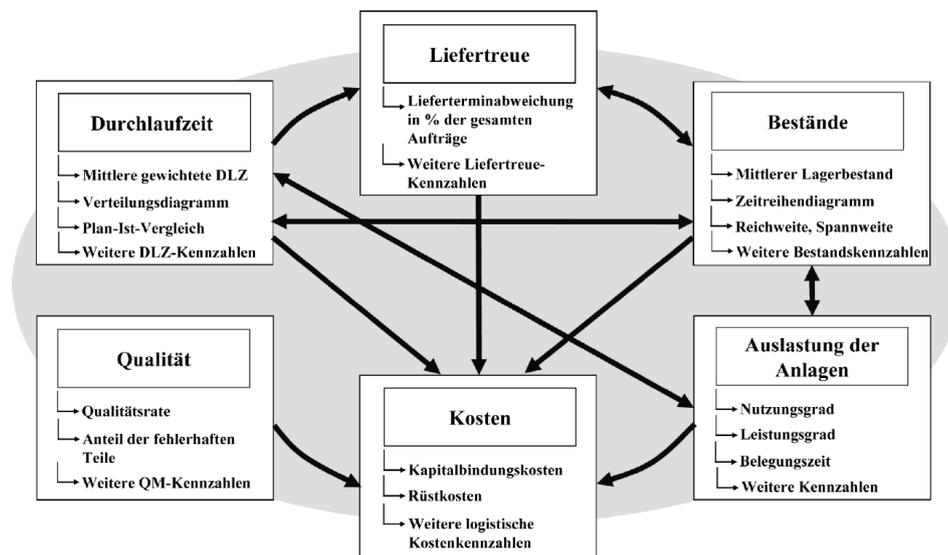


Abbildung 26: Bewertungsinstrumentarium zur Zielerreichung der Produktionsprozessplanung<sup>179</sup>

Eine Optimierung logistischer Zielgrößen beginnt daher üblicherweise mit der Festlegung der Zielwerte und Darstellung der Abhängigkeiten. Schiefer hat dazu ein Bewertungsinstrumentarium entwickelt, welches in Abbildung 26 dargestellt ist und ein ganzheitliches Controlling von Optimierungsmaßnahmen in der Produktionslogistik ermöglicht.<sup>180</sup> Das Instrumentarium wurde zur Optimierung der Produktionsprozessplanung in einem Produktionssystem eines Walzwerks zur Minimierung der Lagerbestände eingesetzt. Das Bewertungsinstrument sieht dabei die sechs Zielgrößen Liefertreue, Bestände, Durchlaufzeit, Auslastung, Qualität und Kosten vor, die in mehrere Unterkennzahlen konkretisiert werden. Durch die Darstellung der Wirkungszusammenhänge zwischen den einzelnen Zielgrößen, kann nicht nur die Entwicklung einer Zielgröße überwacht werden, sondern auch die wechselseitigen Einflüsse einer Verbesserungsmaßnahme auf die anderen logistischen Zielgrößen.

<sup>179</sup> Quelle: Schiefer/Markiewicz (2009), S. 95

<sup>180</sup> Vgl. Schiefer/Markiewicz (2009), S. 94ff

### 3.4.7 Balanced Scorecard für die Produktion

Ausgehend vom globalen Ziel einer wirtschaftlichen Produktion, sind diese logistischen Zielgrößen mit ihren Wechselwirkungen so darzustellen, dass die Mitarbeiter in der Produktion auf diese Ziele ausgerichtet werden können. Als Methode eignet sich dazu die auf Kaplan und Norton zurückgehende Balanced Scorecard (BSC), die ursprünglich als Methode des Performance Measurements entwickelt wurde.<sup>181</sup>

Als Konzept und Instrument der strategischen Unternehmensführung stellt die BSC die Verbindung zwischen Strategiefindung und –umsetzung her. Der Begriff Balanced Scorecard kann in Deutsch mit ausgewogener Kenngrößenkarte übersetzt werden und umfasst eine strukturierte, ausgewogene Sammlung von primär diagnostisch zu verstehenden Kennzahlen, welche die wesentlichen Perspektiven eines Unternehmens für die strategische Planung und Steuerung eines Unternehmens abbildet.<sup>182</sup> Als Managementinstrument dient die BSC zur Erleichterung einer Entscheidungsfindung und zur Widerspiegelung eines zusammenhängenden Satzes von Indikatoren, welche der obersten und der mittleren Leitung eine verständliche Einsicht in die Aufgabe oder den Verantwortungsbereich verschafft. Durch die mittels der BSC besorgten Informationen ist es möglich, Führungsgremien, Organisationseinheiten, aber auch entsprechende Mittel, Ressourcen und Prozesse auf die Unternehmensstrategie zu konzentrieren und auszurichten.<sup>183</sup>

Die Balanced Scorecard hat sich auch in der Praxis als effektives und universelles Instrument für das Management bewährt, zur konsequenten Ausrichtung der Handlungen bzw. Maßnahmen der Mitarbeiter auf ein gemeinsames Ziel.<sup>184</sup> Als Instrument zur Einbindung von Strategien in die Unternehmensberichtssysteme, besteht die BSC aus einem übersichtlichen Bericht, der alle wesentlichen Seiten eines Unternehmens in ausgewogener Weise darstellt. Damit verfolgt die BSC das Ziel, die oft häufig vorkommende einseitige Beurteilung der Unternehmenssituation mit nur einer oder zwei meist finanzwirtschaftlichen Kennzahlengrößen zu verhindern. Die wesentlichen Seiten eines Unternehmens werden in der Grundform einer BSC durch vier Perspektiven abgebildet, zwischen denen vielfältige Wechselbeziehungen und Wechselwirkungen existieren:<sup>185</sup>

- (1) Finanzperspektive: finanzielle Kenngrößen
- (2) Kundenperspektive: kundenbezogene Kenngrößen
- (3) Prozessperspektive: prozessbezogene Kenngrößen
- (4) Mitarbeiterperspektive (Potenzialperspektive): lern- und motivationsbezogene Kenngrößen

Das Ziel der BSC besteht aber nicht nur aus der Ableitung eines ausgewogenen Kennzahlenportfolios ausgehend vom Unternehmensauftrag bzw. -vision, sondern auch darin daraus spezifische Handlungsempfehlungen für alle Unternehmensbereiche abzuleiten. Die BSC ist damit kein Messsystem, sondern ein Hilfsmittel für das Management eines Unternehmens zur Erreichung strategischer Ziele. Zu jeder der vier Perspektiven sind somit, abgeleitet aus der Unternehmensvision und –strategie, Ziele mit konkreten Messgrößen sowie

<sup>181</sup> Vgl. Kaplan/Norton (1992), Kaplan/Norton (1997)

<sup>182</sup> Vgl. Piekenbrock (2013), S. 39

<sup>183</sup> Vgl. Geiger/Kotte (2008), S. 511

<sup>184</sup> Vgl. Friedtag/Schmidt (2007), S. 11

<sup>185</sup> Vgl. Geiger/Kotte (2008), S. 511

Vorgaben und Maßnahmen zur Erreichung dieser Vorgaben zu definieren. Die einzelnen Schritte bei der Erstellung einer BSC als Hilfsmittel zur Umsetzung von Vision, Mission und Strategie eines Unternehmens durch spezifische ausgewogene Kenngrößen und Vorgaben sind in Abbildung 27 zusammengefasst.



Abbildung 27: Ablauf zur Erstellung einer Balanced Scorecard<sup>186</sup>

Aufgrund ihrer eher strategischen Ausrichtung finden sich in der Literatur zahlreiche Ansätze zur Verwendung der BSC zur Unterstützung des Supply Chain Managements für unterschiedliche Branchen, da es dabei im Vergleich zum operativen Produktionsmanagement auch mehr um strategische Themen geht. Jalali Naini et al. entwickelten beispielsweise ein Konzept für die Automobilindustrie<sup>187</sup>, Wu und Chang verwendeten die BSC zur Bewertung der Performance innerhalb der Elektronik-Supply-Chain<sup>188</sup> und Grigoroudis et al. entwarfen einen multikriteriellen Ansatz zur strategischen Performance-Messung im Gesundheitsbereich.<sup>189</sup>

Tabelle 4: Perspektiven, Ziele und Kenngrößen für eine Lean BSC

Perspektive	Ziele	Kennzahlen
Finanz	Rentabilität	ROI %, Marktanteil
	Produktivität	COPQ (Cost of poor Quality), Lagerumschlagshäufigkeit
Kunden	Mehr zufriedene Kunden	Prozentsatz an Wiederholungskäufern, Anzahl Kundenbeschwerden, Rückgaberate
	Just-in-time delivery (Liefertreue)	Lieferungen richtiger Produkte, Lieferungen in der richtigen Menge, Liefertreue
Prozess	Flexible & adäquate Prozesse	Losgröße, Rüstzeiten, Anteil Standardteile, Gleichteile und Einzelteile
	Fähige und zuverlässige Prozesse	Durchschnittlicher Bestand, CP und CPK Werte der Prozesse
	Verfügbare Prozesse	Overall Equipment Effectiveness (OEE), Abweichungen zwischen Iststart und Istendedatum vom geplanten Start und Endedatum (Terminabweichungen) zwischen Iststart und Istendedatum vom geplanten Start und Endedatum (Terminabweichungen)
	Wertschöpfende Prozesse	Anteil an Verschwendungsreduktion, Kontinuierliche Reduktion der Durchlaufzeiten, Kontinuierliche Reduktion der Zykluszeit
Mitarbeiter	Verbesserung der Leankultur und Motivation	Verbesserungsvorschlägen je Mitarbeiter, Anteil an umgesetzten Verbesserungsvorschläge, Flexibilität in Anpassung der Mitarbeiteranzahl in Abhängigkeit von Nachfrageschwankungen
	Bevollmächtigung	Erweiterung der Autonomie und Verantwortung, Werkerselbstprüfung
	Fachkundige Mitarbeiter	Anteil Mitarbeiterschulungen, Anteil Job Rotation, Anteil von vielfach einsetzbaren Mitarbeitern
Lieferanten	Just-in-time delivery	Anteil der gelieferten Teile Just-in-time (richtigen Teile, richtige Menge, richtige Zeit), durchschnittliche Anzahl an Lieferanten für die wichtigsten Teile, durchschnittliche Kontraktdauer mit den wichtigsten Lieferanten
	Steigerung der Lieferantenleistung und Leankultur	Angewandte Leantools bei den Lieferanten, Anteil der mittels EDI ausgetauschten Dokumente

<sup>186</sup> Quelle: in Anlehnung an Geiger/Kotte (2008), S. 512

<sup>187</sup> Vgl. Jalali Naini et al. (2011)

<sup>188</sup> Vgl. Wu/Chang (2012)

<sup>189</sup> Vgl. Grigoroudis et al. (2012)

Neben diesen branchenspezifischen Ansätzen finden sich auch noch zahlreiche branchenunabhängige eher generisch gehaltene Ansätze zur Anwendung der Balanced Scorecard zur Performance-Messung im Supply Chain Management.<sup>190</sup> Für den Produktionsbereich haben Seyedhosseini et al. das Konzept der Balanced Scorecard in Verbindung mit Lean untersucht, um die Leistungskriterien für ein Produktions-Performance-Measurement-System zu definieren.<sup>191</sup> Ausgehend von den Zielen des Lean Managements<sup>192</sup> extrahierten sie insgesamt 16 Ziele und befanden die folgenden 5 Perspektiven als relevant: Finanzperspektive, Kundenperspektive, Prozessperspektive, Mitarbeiterperspektive und Lieferantenperspektive. Die letzten beiden Perspektiven repräsentieren somit die Potentialperspektive auf der untersten Ebene. Für diese Ziele wurden dann aus der Literatur insgesamt 52 Messgrößen abgeleitet. Ein Auszug der wichtigsten Kriterien findet sich in Tabelle 4, von denen aber nur die durch die Produktionsplanung beeinflussbaren Kriterien für diese Arbeit relevant sind.

Auch wenn das Konzept der BSC prinzipiell eine Erhöhung oder Verminderung sowie eine Aufnahme neuer Sichten je nach Anwendungsfall ermöglicht und die strikte Fokussierung auf die vier von Kaplan und Norton definierten Perspektiven zu zahlreichen Misserfolgen führte, erfolgt in dieser Arbeit die Darstellung der Zielgrößen einer wirtschaftliche Produktion anhand der originären vier Perspektiven. Betrachtet man als Ausgangspunkt die drei Input-Output-Performance Kennzahlen aus Abbildung 21 zusammen mit der Finanzsicht, lassen sich diese nämlich genau den ursprünglich vier Perspektiven der BSC zuordnen:

- (1) Finanzperspektive: finanzielle Bewertung
- (2) Kundenperspektive: Output (Effektivität)
- (3) Prozessperspektive: Produktivität (Effizienz)
- (4) Potentialperspektive: Input (Auslastung)

Ordnet man die wesentlichen für die Produktionsplanung oben erläuterten Kennzahlen zusammen mit der Wirtschaftlichkeit den vier originären Perspektiven der BSC zu, ergibt sich die in Abbildung 28 dargestellte Balanced Scorecard der Produktion, in der die wichtigsten logistischen Zielgrößen Auslastung, Bestände, Durchlaufzeit und Liefertreue übersichtlich dargestellt sind.

Die Wechselbeziehungen zwischen den unterschiedlichen Kennzahlen werden als Ursache-Wirkungs-Beziehung in den sogenannten Strategy Maps visualisiert. Eine Strategy Map für die Produktion basierend auf den oben definierten Kennzahlen und erläuterten Wechselbeziehungen zwischen den logistischen Zielgrößen ist in Abbildung 29 skizziert. Aus finanzwirtschaftlicher Sicht stehen die Rentabilitätskennzahlen wie ROI und ROCE sowie der Economic Value Added (EVA) an oberster Stelle in der Finanzperspektive.

---

<sup>190</sup> Vgl. Bhagwat/Sharma (2007); Brewer/Spoh (2000); Bullinger et al. (2002)

<sup>191</sup> Vgl. Seyedhosseini et al. (2011)

<sup>192</sup> Vgl. Womack et al. (2007)

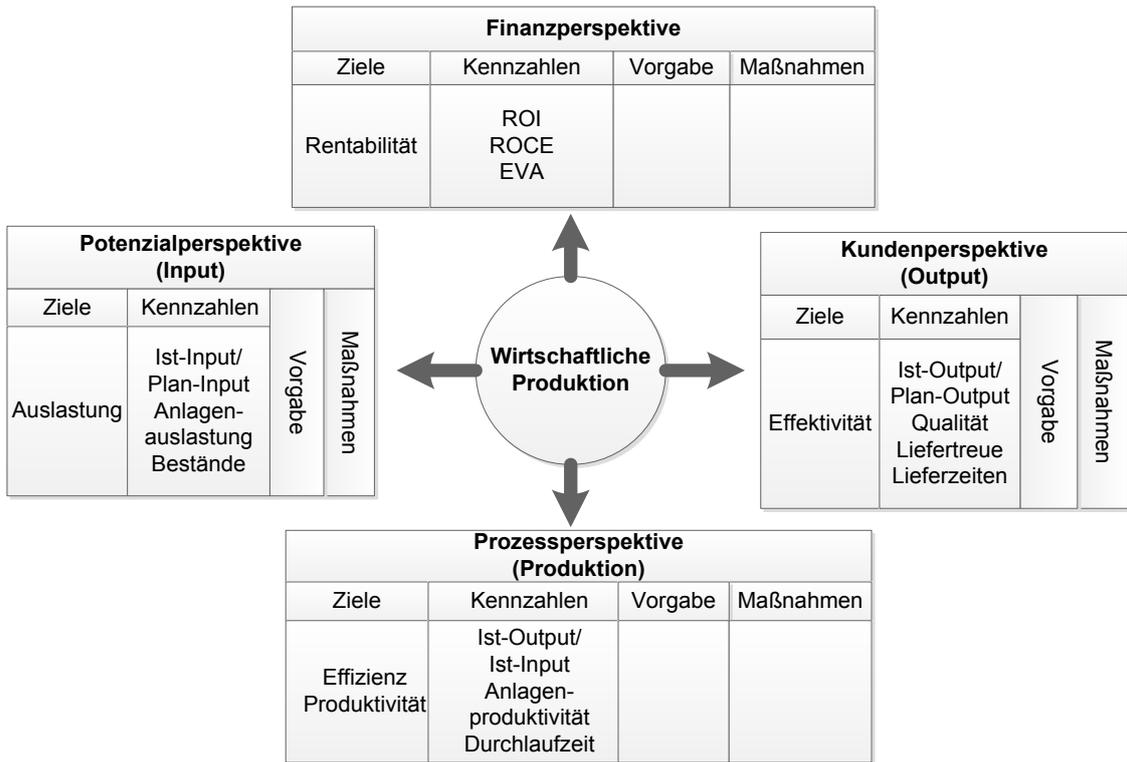


Abbildung 28: Balanced Scorecard der Produktion

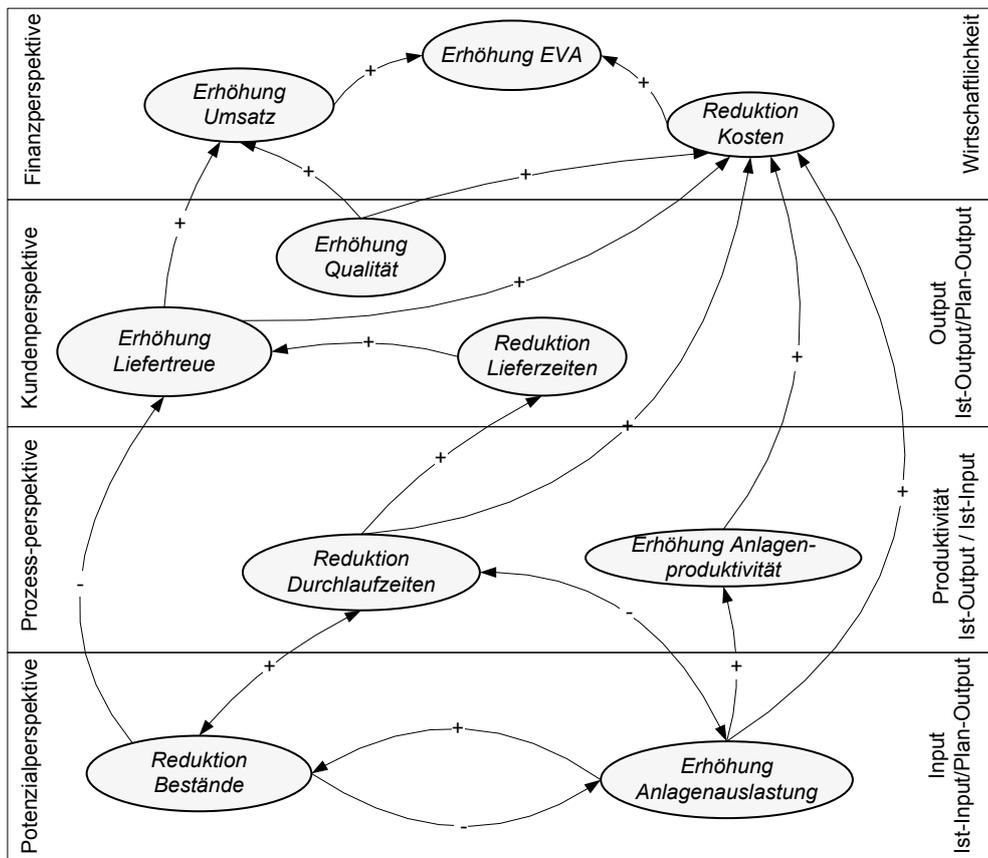


Abbildung 29: Strategy Map für die Produktion

Betrachtet man die Inputsicht bzw. die Potenzialperspektive, bilden neben dem Personal vor allem die Produktionsfaktoren Anlage und Material den Ausgangspunkt für die Wirkungsbeziehungen auf die Prozess- und Output-Perspektive. Zur Reduktion der Durchlaufzeiten sind die Bestände in der Produktion, also die Ware in Arbeit, zu minimieren. Eine Minimierung der Bestände wirkt jedoch negativ auf die Auslastung der Anlagen, die es zur Erhöhung der Produktivität und Reduktion der Leerkosten zu maximieren gilt. Eine Erhöhung der Anlagenauslastung durch beispielsweise größere Lose im Rahmen der Los- und Reihenfolgeplanung wirkt wiederum negativ auf die Durchlaufzeit. Dies ist wie bereits in Abschnitt 3.4 erwähnt als Dilemma der Ablaufplanung bekannt. Eine Reduktion der Bestände wirkt weiters auch negativ auf die Liefertreue in der Kundenperspektive, da geringere Bestände den Lieferservicegrad verschlechtern.

In der Prozesssicht bildet eine möglichst minimale Durchlaufzeit durch Vermeidung von unproduktiven Liege- und Wartezeiten den größten Stellhebel zur Verbesserung der Liefertreue und Reduktion der Lieferzeit. Eine Reduktion der Durchlaufzeit reduziert auch die Kapitalbindungskosten für die Ware in Arbeit und kann auch weitere Kosteneinsparungen bringen, wenn die Durchlaufzeitreduktion mit Vermeidung von bisherigen Verschwendungen einhergeht.

Die in der BSC veranschaulichten Kennzahlen unterstützen zusammen mit den in der Strategy-Map dargestellten Wechselbeziehungen bei der Definition von Zielen zu Beginn eines Optimierungs- bzw. Verbesserungsprojektes in der Produktion. Dieser Abschnitt bildet damit die Grundlage für die Zielformulierung im Rahmen eines Data-Mining Projektes zur Verbesserung logistischer Zielgrößen, das in Kapitel 7 vorgestellt wird.

## 3.5 Modell des operativen Produktionsmanagements

Abschließend werden die erläuterten Aspekte des Produktionsmanagements in einem Modell zusammengefasst, das die Ausgangsbasis für die weitere Arbeit darstellt. Ein Modell dient allgemein zur vereinfachenden Abbildung eines Sachverhaltes. Formal wird unter einem Modell ein System verstanden, das einem Originalsystem zugeordnet ist und zu diesem in gewissen Ähnlichkeitsbeziehungen steht.<sup>193</sup>

Ein Modell ist seiner Art nach somit die Abbildung eines Untersuchungsobjektes, wie beispielsweise eines Gegenstandes, Ereignisses, Vorgangs, Systems, das für die Vorhersage sowie der Lenkung, Gestaltung und Entwicklung seines Verhaltens entwickelt wird. Damit dient ein Modell einerseits dem anschaulichen Verständnis, aber auch zur Unterstützung der Beschreibung des Systemverhaltens sowie der Systemauslegung.<sup>194</sup>

In der Literatur finden sich viele Vorteile von Modellen, die auch für diese Arbeit gelten:<sup>195</sup>

- Möglichkeit der Abstraktion durch Reduktion komplexer Sachverhalte auf das Wesentliche
- Leichtere Verständlichkeit als die Realität sowie Verbesserung der Kommunikation
- Strukturierung von Sichten auf ein System durch verschiedene Perspektiven
- Erfassung von Anwender-, Experten- und Entwicklerwissen

---

<sup>193</sup> Vgl. Homburg (2000), S. 31

<sup>194</sup> Vgl. Beckmann (2012), S. 185

<sup>195</sup> Vgl. Partsch (2010), S. 35

- Ausgangsbasis für Diskussionen und Entwicklungen

Die Modellbildung basiert auf der „Allgemeinen Modelltheorie“ von Stachowiak<sup>196</sup>, die dieser in den Kontexten der kybernetischen Systemtheorie sowie des epistemologischen Neopragmatismus entwickelt hat.<sup>197</sup> Demnach werden Modelle durch drei konstituierende Merkmale charakterisiert:<sup>198</sup>

- (1) Abbildungsmerkmal: Modelle bilden ein Original ab und stehen mit diesem in einer Abbildungsrelation.
- (2) Verkürzungsmerkmal: Modelle stellen nur die relevanten Teile von diesem Original dar (Abstraktion).
- (3) Pragmatisches Merkmal: In welchen Teilen das Original abgebildet wird, muss pragmatisch beantwortet werden.

Weiters wird in der Modellbildung zwischen operationellen und konzeptionellen Modellen differenziert. Bei operationellen Modellen können einzelne Teile eines Systems anhand eines Prototyps evaluiert werden. Während bei diesen Modellen die Ausführbarkeit einzelner Systemkomponenten im Vordergrund steht, geht es bei konzeptionellen Modellen vor allem, um die Beschreibung von Systemen zwecks menschlicher Konzepterstellung. Das Ziel bei den konzeptionellen Modellen besteht somit darin, ein Verständnis für Zusammenhänge in großen, komplexen System zu bekommen.<sup>199</sup>

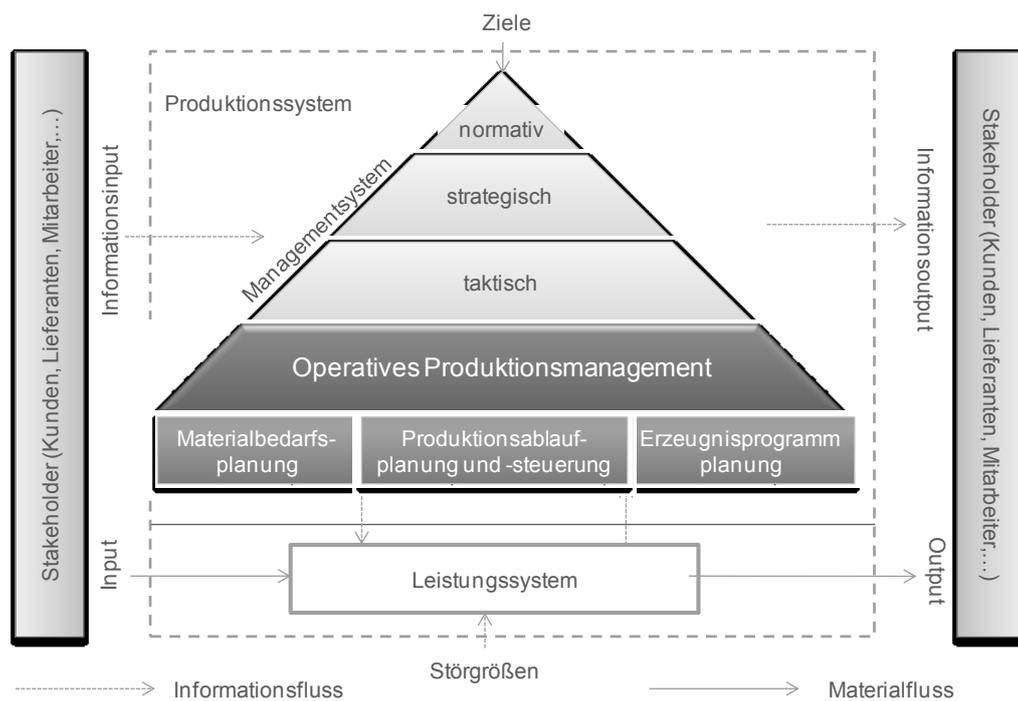


Abbildung 30: Basismodell des operativen Produktionsmanagements<sup>200</sup>

<sup>196</sup> Vgl. Stachowiak (1973)

<sup>197</sup> Vgl. Mettinger et al. (2006), S. 45

<sup>198</sup> Vgl. Brocke (2003), S. 9

<sup>199</sup> Vgl. Partsch (2010), S. 37

<sup>200</sup> Quelle: in Anlehnung an Dyckhoff (2006), S. 7

Das in Abbildung 30 dargestellte Modell des operativen Produktionsmanagements dient zunächst als konzeptionelles Modell für die weiteren Ausführungen in dieser Arbeit und zur Abgrenzung der betrachteten Bereiche. In weiterer Folge werden zur Lösung der Problemstellung auch operationelle Modelle bzw. Vorgehenskonzepte erstellt, die in Form von Prototypen anhand von Fallbeispielen konkretisiert und validiert werden.

Das nächste Kapitel beschäftigt sich mit der Charakterisierung eines flexibilitätsorientierten Produktionssystems in der Prozessindustrie. Dabei wird das Basismodell um die relevanten Flexibilitätsaspekte erweitert. Die Planungsspezifika eines flexibilitätsorientierten Produktionssystems in der Prozessindustrie werden in Kapitel 5 anhand eines Fallbeispiels näher konkretisiert. Kapitel 6 widmet sich dann schwerpunktmäßig der Materialbedarfsplanung und erläutert die gängigen Materialbedarfsplanungsverfahren sowie Ansätze aus dem Supply Chain Management. Daraus abgeleitet wird ein Vorgehenskonzept für die kollaborative Materialbedarfsplanung vorgestellt. Durch eine übergreifende Einbeziehung der Kunden und Lieferanten wird dabei automatisch auch die Erzeugnisprogrammplanung miteinbezogen. Die Planung und Bereitstellung von Betriebsmitteln und Arbeitskräften, die üblicherweise auch zur inputseitigen Bereitstellungsplanung zählt, wird in dieser Arbeit nicht weiter betrachtet. Für die Produktionsablaufplanung und -steuerung wird in Kapitel 7 ein Vorgehenskonzept entwickelt, mit dem durch Anwendung von Data-Mining Methoden Planungsregeln abgeleitet und in einem IT-System implementiert werden können. Diese Arbeit deckt damit alle drei in Abbildung 30 dargestellte Bereiche des operativen Produktionsmanagements ab.

In diesem Kapitel wurde damit die folgende Forschungsfrage beantwortet:

*„Welche theoretischen Grundlagen werden zur Beantwortung der wissenschaftlichen Kernfrage benötigt, und wie sieht dazu ein Basismodell des operativen Produktionsmanagements aus?“*

## 4 Charakterisierung eines flexibilitätsorientierten Produktionssystems in der Prozessindustrie

Gegenstand dieses Kapitels ist die Beantwortung der folgenden Forschungsfrage:

*„Welche betriebstypologischen Merkmale weist ein Produktionssystem in der flexibilitätsorientierten Prozessindustrie auf?“*

Nachdem in Kapitel 3 die notwendigen Grundlagen, Begriffe, Aufgabenstellungen und IT-Systeme des Produktionsmanagements erläutert wurden, wird in diesem Kapitel die Charakterisierung der flexibilitätsorientierten Prozessindustrie behandelt. Dazu werden im Abschnitt 4.4 aus der Literatur deduktiv betriebstypologische Merkmale zur Beschreibung eines flexibilitätsorientierten Produktionssystems in der Prozessindustrie abgeleitet. Die Typologisierung erfolgt synthetisch auf Basis der in Abschnitt 4.2 beschriebenen Eigenheiten in der Prozessindustrie und der in Abschnitt 4.3 erläuterten Eigenschaften einer flexiblen Produktion, die einen speziellen Aspekt der Prozessindustrie darstellen. Als Ausgangsbasis wird im Abschnitt 4.1 ein bestehender Ansatz zur typischen Charakterisierung von Produktionsnetzwerken erläutert, und mit den Merkmalen nach dem Aachener PPS-Modell ein Hybridfertigungsnetzwerk beschrieben. Vor der Zusammenfassung und Überleitung in Abschnitt 4.6 erfolgt in Abschnitt 4.5 eine kritische Analyse bestehender Planungskonzepte.

### 4.1 Das Produktionsnetzwerk nach dem Aachener PPS-Modell

Zunächst wird versucht die flexibilitätsorientierte Prozessindustrie aus überbetrieblicher Sicht, d.h. anhand der typischen Eigenschaften des Produktionsnetzwerks, zu beschreiben. Zur Charakterisierung hat sich die Prozessarchitektur als Teilmodell des Aachener PPS-Modells in der Literatur etabliert.<sup>201</sup> Nach der im Aachener PPS-Modell verwendeten Typologie von Produktionsnetzwerken lässt sich ein Produktionsnetzwerk hinsichtlich der in Abbildung 31 dargestellten Merkmale durch Zuordnung zu den jeweiligen definierten Merkmalsausprägungen charakterisieren.<sup>202</sup>

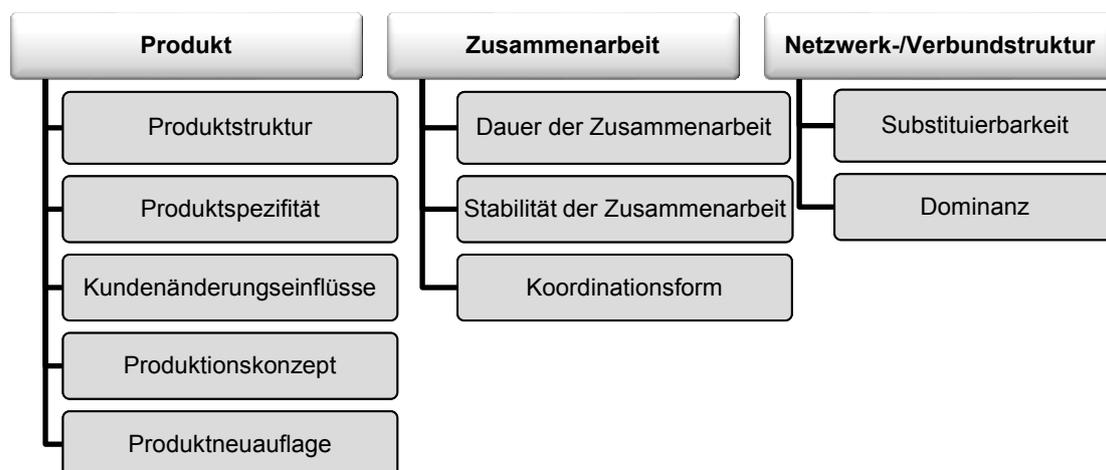


Abbildung 31: Merkmale zur Typologisierung von Produktionsnetzwerken

<sup>201</sup> Vgl. Schuh (2006), S. 81ff

<sup>202</sup> Vgl. Schuh (2006), S. 86

Durch Zuordnung der Merkmalsausprägungen zu real existierenden Unternehmensnetzwerken werden fünf Produktionsnetzwerktypen unterschieden:<sup>203</sup>

- Projektnetzwerk
- Hierarchisch stabile Kette
- Hybridfertigungs-Netzwerk
- Entwicklungsgeprägtes Netzwerk
- Fremdbestimmtes Lieferanten-Netzwerk

Die in dieser Arbeit betrachtete Prozessindustrie kann dabei dem Typ eines Hybridfertigungs-Netzwerks zugeordnet werden, der für Lieferketten steht, die einen Übergang von einer Prozess- zu einer Stückgutfertigung aufweisen. Hybride Produktionsstrukturen finden sich einerseits bei Prozessfertigern in den Nebenprozessen, die der Stückgutindustrie zuzuordnen sind, andererseits auch bei Stückgutfägern, die Fertigungsvorstufen besitzen, die der Prozessindustrie zuzuordnen sind. Beispiele finden sich in der Chemie-, Pharma- und Kosmetikindustrie, bei Herstellern von Produkten aus Kunststoff und Papier, sowie bei Unternehmen in der Stahl- und Aluminiumbranche.<sup>204</sup> Abbildung 32 verdeutlicht diesen Übergang von Prozessfertigung zur diskreten Fertigung.

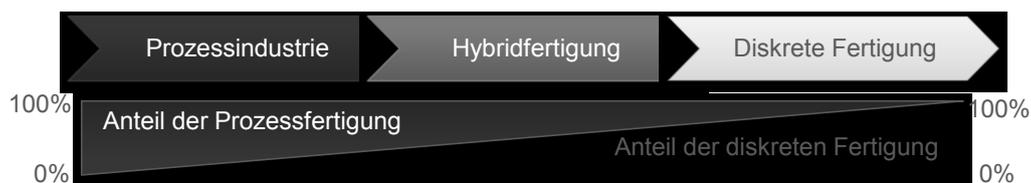


Abbildung 32: Hybridfertigung

Produktionsnetzwerke, die dem Typ Hybridfertigungs-Netzwerk zuzuordnen sind, zeichnen sich im Wesentlichen durch Prozessfertigungs- und Lagerfertigungsstrukturen aus. In der Regel werden geringteilige Standarderzeugnisse produziert. Daher sind Kundenänderungseinflüsse unbedeutend. Die meisten Erzeugnisse werden in verhältnismäßig großen Zeitabständen von drei bis neun Jahren oder sogar größer als neun Jahre neu aufgelegt. Das Produktionsnetzwerk ist eher langsam drehend. Die Zusammenarbeit zwischen den Netzwerkpartnern ist nicht so eng verzahnt wie bei den andern Netzwerktypen. Lieferantenwechsel sind zwar technisch jederzeit möglich und nicht mit hohen Wechselkosten verbunden, die Zusammenarbeit ist jedoch meistens konstant und langfristig von der Beschaffungsseite her angelegt. Die Koordination erfolgt über Produktionsprogramme.<sup>205</sup> Die typischen Merkmalsausprägungen für ein Hybridfertigungs-Netzwerk sind in Tabelle 5 zusammengefasst und grau hinterlegt.

Da der Begriff der Hybridfertigung in der Literatur sonst kaum üblich und oft unscharf ist, wird dieser Typ in dieser Arbeit zur Prozessindustrie gezählt. Auch wenn es einen Übergang von der typischen Prozessindustrie zur diskreten Fertigung gibt, ist dieser Punkt erstens oft unscharf zu definieren und zweitens sind für die Zuordnung die charakteristischen Eigenschaften und Problemstellung aus der Prozessindustrie entscheidend.

<sup>203</sup> Vgl. Schuh (2006), S. 92ff

<sup>204</sup> Zu weiteren Definitionen der Hybridfertigung siehe Lassen (2006)

<sup>205</sup> Vgl. Schuh (2006), S. 94f

Tabelle 5: Charakterisierung eines Hybridfertigungs-Netzwerks<sup>206</sup>

	Merkmal	Ausprägungen				
Produkt	Produktstruktur	mehrtlg. Erzeugnisse mit komplexer Struktur	mehrtlg. Erzeugnisse mit einfacher Struktur	geringtlg. Erzeugnisse		
	Produktspezifität	Erzeugnisse nach Kundenspezifikation	Typisierte Erzeugnisse mit kundenspez. Varianten	Standarderzeugnisse mit Varianten	Standarderzeugnisse ohne Varianten	
	Kundenänderungseinflüsse	> 25%		5-25%		< 5%
	Produktionskonzept	Engineer-to-Order	Make-to-Order	Assemble-to-Order	Make-to-Stock	Continuous/ Batch Process
	Produktneuaufgabe	> 9 Jahre	3 - 9 Jahre	6 Monate – 3 Jahre	1 – 6 Monate	< 1 Monat
Zusammenarbeit	Dauer der Zusammenarbeit	Einmalig auftragsbezogen	Temporär wiederkehrend	saisonal		konstant
	Stabilität der Zusammenarbeit	Intensiv-vertraut		Intensiv-formal		Anfällig-formal
	Koordinationsform	Persönliche Weisung	Selbstabstimmung	Pläne	Programme	Marktmechanismen
Netzwerk-/Verbundstruktur	Substituierbarkeit	flexibel mit niedrigen Wechselkosten		flexibel mit hohen Wechselkosten		eingeschränkt mit hohen Wechselkosten
	Dominanz	beschaff.-seitig dominiert		Absatzseitig dominiert		heterarchisch

Wie aus der in Tabelle 5 dargestellten Charakterisierung hervorgeht, ist die Prozessindustrie mit unbedeutenden Kundenänderungseinflüssen, ihrer eher langsam drehenden Produktionsnetzwerk und einem auf Standarderzeugnissen orientierten Make-to-Order Produktionskonzept üblicherweise wenig flexibel. Daraus lässt sich schließen, dass mangels einer existierenden Charakterisierung einerseits erst zu definieren ist, wie ein flexibilitätsorientiertes Produktionssystem in der Prozessindustrie charakterisiert ist. Auf der anderen Seite erhebt sich die Frage, ob klassische Konzepte aus der Prozessindustrie auf diesen speziellen Typ überhaupt anwendbar sind. Zur Beantwortung der ersten Frage beschäftigt sich der nächste Abschnitt zunächst mit der Prozessindustrie, um im Anschluss den Begriff der Flexibilität näher zu erläutern. Zum Abschluss des Kapitels erfolgen eine betriebsmorphologische Einordnung der flexibilitätsorientierten Prozessindustrie sowie eine kritische Analyse bestehender Planungskonzepte.

## 4.2 Prozessindustrie

Meist werden Industrieunternehmen mit nicht diskreter Fertigung der Prozessindustrie zugeordnet und so von der diskreten Fertigungsindustrie gegenüber negativ abgegrenzt. In der Literatur findet sich jedoch eine Vielzahl an Definitionen für den Begriff „Prozessindustrie“.

Einige Ansätze charakterisieren die Prozessindustrie über das Herstellungsverfahren.<sup>207</sup> Nach Riebel erfolgt eine Einteilung nach dem Wirkprinzip, indem er die Produktion je nach ihrer Wirkung auf die eingebrachten Einsatzstoffe in stoffumwandelnde und stoffumformende

<sup>206</sup> Quelle: in Anlehnung an Schuh (2006), S. 96

<sup>207</sup> Vgl. Cox et al. (1992), S. 37; Dennis/Meredith (2000), S. 1085f

Produktionsprozesse unterscheidet.<sup>208</sup> Als Prozessindustrie bzw. Verfahrenindustrie werden demzufolge Industrieunternehmen bezeichnet, deren Leistungserstellung vorwiegend auf Prinzipien der physikalisch oder chemischen Stoffumwandlung beruht, und in denen eingehende Materialien hinsichtlich ihrer stofflichen Eigenschaft verändert werden. Fröhling verwendet daher für Produktionssysteme aus der Prozessindustrie auch den Terminus „stoffstrombasierte Produktionssysteme“.<sup>209</sup>

In Anlehnung an den englischen Terminus process industries wird die verfahrenstechnische Industrie auch als Prozessindustrie bezeichnet.<sup>210</sup> Nach der American Production and Inventory Control Society (APICS) wird die Prozessindustrie wie folgt definiert: “Process industries are businesses that add value to materials by mixing, separating, forming and/or performing chemical reactions”.<sup>211</sup>

Der Begriff Prozess kann nach DIN 19222 definiert werden, als Gesamtheit der in einem System aufeinander wirkenden Vorgänge, durch welche Materie, Energie oder auch Informationen umgeformt, transformiert oder gespeichert werden.<sup>212</sup> Im Zusammenhang mit Prozessindustrie sind damit speziell verfahrenstechnische Prozesse zu verstehen. Nach DIN 28004 bezeichnet ein verfahrenstechnischer Prozess eine Folge von chemischen, physikalischen oder biologischen Vorgängen zur Gewinnung, Herstellung oder Beseitigung von Stoffen oder Produkten.<sup>213</sup> Der Transformationsprozess in der Prozessindustrie, lässt sich somit durch Stoffumwandlungs-, Stoffgewinnungs- und Stoffaufbereitungsprozesse charakterisieren.<sup>214</sup> Im Gegensatz dazu basiert die Leistungserstellung in der Fertigungsindustrie auf den Wirkprinzipien der Stoffumformung und physikalisch-mechanischen Verfahren. Eine ausführliche Abgrenzung verfahrenstechnischer Prozesse von diskreten Produktionsvorgängen findet sich in der DIN 8580, in der die Fertigungsverfahren systematisch in sechs Hauptgruppen untergliedert sind.<sup>215</sup>

Tabelle 6: Unterscheidungsmerkmale zwischen Prozess- und Fertigungsindustrie<sup>216</sup>

<b>Merkmal</b>	<b>Prozessindustrie</b>	<b>Fertigungsindustrie</b>
<b>Transformationsprozess</b>	Stoffumwandlung, -aufbereitung, -gewinnung	Stoffumformung (trennend, umbildend, fugend)
<b>Verfahren</b>	chemisch, biologisch, physikalisch	Physikalisch-mechanisch
<b>Form der Erzeugnisse</b>	oft gestaltlos, prozessdeterminiert	Stückgut, Endlosprodukt
<b>Natürlicher Prozessablauf</b>	Kontinuierlich	Intermittierend
<b>Gestaltungsfreiraum</b>	Prozessdeterminiert	Hoch
<b>Prozesskonkurrenz</b>	Hoch	Gering
<b>Nebenprodukte</b>	Variable Kuppelproduktion	Starre Kuppelproduktion
<b>Innerbetriebliche Logistik</b>	Produktspezifische Restriktionen	Wenig produktspezifische Restriktionen

<sup>208</sup> Vgl. Riebel (1963), S. 11ff

<sup>209</sup> Vgl. Fröhling (2006), S. 7

<sup>210</sup> Vgl. Loos (1997), S. 3

<sup>211</sup> Vgl. Cox et al. (1992)

<sup>212</sup> Vgl. Klein (2001), S. 991

<sup>213</sup> Vgl. Friedrich (2004), S. 147

<sup>214</sup> Vgl. Festel et al. (2001), S. 251

<sup>215</sup> Vgl. Klein (2001), S. 269

<sup>216</sup> Quelle: in Anlehnung an Festel et al. (2001), S. 251

Die wesentlichsten Unterscheidungsmerkmale zwischen der Fertigungsindustrie und der Prozessindustrie, zu der unter vielen anderen die Chemie-, Pharma-, Lebensmittel-, Papier- und Hüttenindustrie gezählt werden, sind in Tabelle 6 zusammengefasst und werden im Folgenden erläutert.

##### **Form der Erzeugnisse**

Die Formgebung in der Prozessindustrie spielt meist eine untergeordnete Rolle und wird häufig den Gegebenheiten des Transformationsprozesses unterworfen. Vor allem in der chemischen Industrie werden eher gestaltlose Roh- und Zwischenprodukte verwendet und die Form im Allgemeinen völlig den Gegebenheiten des Produktionsprozesses unterworfen. Auch wenn beispielsweise in der Hüttenindustrie sowohl geformte Rohmaterialien eingesetzt werden, als auch geformte Produkte entstehen, findet sich das Vorliegen ungeformter Materialien in unterschiedlichen Stufen des Produktionsprozesses als Kennzeichen der Prozessindustrie.<sup>217</sup>

##### **Prozessablauf**

Die schlechte Unterbrechbarkeit sowie die vorherrschende Gestaltlosigkeit der Produkte in der Prozessindustrie bedingen meist einen kontinuierlichen Produktionsprozessablauf. Nach der Art des Prozessablaufs wird zwischen Stetig- und Unstetigproduktion unterschieden:<sup>218</sup>

- Unstetigproduktion oder Taktfertigung: Diskrete Produkte werden in einem getakteten Prozess einzeln oder in einer bestimmten Losgröße gefertigt. Diese Erzeugnisse können einzelne Werkstücke oder zu Verpackungseinheiten zusammengefasst sein. Zur Abgrenzung von der Prozessindustrie werden diese Branchen zur stückorientierter Fertigungsindustrie zusammengefasst.
- Stetigproduktion: In der Verfahrensproduktion wird in einem stetigen Prozess ein kontinuierliches Produkt hergestellt, das nicht in der gleichen Fertigungsstelle abgepackt oder abgefüllt wird. Die Ausstoßmenge kann Gas, Flüssigkeit, Schüttgut, ein Materialstrang oder eine Stoffbahn sein und in Gewichtseinheiten, Volumeneinheiten, Flächeneinheiten oder Längeneinheiten gemessen werden.

##### **Kuppelproduktion**

Ein wesentliches Merkmal der Prozessindustrie sind divergierende Produktstrukturen mit Kuppelproduktion. In einer Kuppelproduktion werden gleichzeitig verschiedene Produkte im selben Prozessschritt hergestellt, die man in Hauptprodukte, Kuppel- oder Nebenprodukte und Abfallprodukte einteilen kann. Als Hauptprodukt wird das Produkt bezeichnet, zu dessen Herstellung der Produktionsprozess entworfen wurde. Ein Kuppelprodukt oder Nebenprodukt entsteht als Rest oder zufällig durch den Produktionsprozess und hat im Gegensatz zu einem Abfallprodukt einen bestimmten Wert.<sup>219</sup> Im betriebswirtschaftlichen Sinne sind unter Abfall alle materiellen und immateriellen Güter zu verstehen, die nicht dem Sachziel der Unternehmung dienen und einen nachhaltig negativen Einfluss auf den Unternehmenserfolg haben.<sup>220</sup>

---

<sup>217</sup> Vgl. Loos (1997), S. 21f

<sup>218</sup> Vgl. Gudehus (2006), S. 347

<sup>219</sup> Vgl. Schönsleben (2007), S. 403

<sup>220</sup> Vgl. Müller (1991), S. 11f

Nach der Lenkbarkeit des Outputs, d.h. nach dem Grad der Zwangsläufigkeit der Produktkoppelung, wird zwischen einer starren und variablen Produktkoppelung unterschieden. Bei einer starren Produktkoppelung können Art- und Mengenverhältnis der Kuppelprodukte prozessbedingt nicht beeinflusst werden. Ein Übergang auf andere Prozessarten ist nur durch Verwendung anderer Produktionsanlagen und somit durch langfristige Maßnahmen möglich. Eine variable oder elastische Produktkoppelung liegt vor, wenn die Art- und/oder Mengenverhältnisse der Kuppelprodukte in Grenzen variierbar sind, wobei die Variationsmöglichkeiten zufallsbestimmt oder lenkbar sein können.<sup>221</sup>

Zur Kuppelproduktion im engeren Sinne zählt Riebel:<sup>222</sup>

- Gewinnung und Aufbereitung von Rohstoffen: Beispielsweise enthalten Erze die abzubauenen Metalle nur in einem bestimmten Prozentsatz. Folglich fallen bei der Gewinnung und Aufbereitung von Rohstoffen Kuppelprodukte an.
- Physische und chemische Umwandlung von Stoffen und Energien
- Formgebung: Per Definition zählen abtrennende Verfahren zur Kuppelproduktion, auch wenn die bei der Formgebung entstehenden Abfälle im gleichen Prozess wiedereinsatzbar oder anders verwertbar sind.

Im erweiterten Sinne können Hilfsstoffe, die nicht oder nur vorübergehend in das gefertigte Produkt eingehen, und fehlerhafte Erzeugnisse ebenfalls als Kuppelproduktion eingeordnet werden.<sup>223</sup>

Kennzeichnend für die Prozessindustrie ist eine variable Kuppelproduktion, da gerade bei chemischen Reaktionen oder in der Lebensmittelproduktion Neben- oder Abfallprodukte in ihrem Verhältnis zu den Ausgangsmaterialien nicht immer quantifizierbar sind. Als Gründe finden sich bei Schönsleben:<sup>224</sup>

- Prozesse mit langen Anlaufphasen, da die Anfahrprodukte zu den Abfällen zählen,
- eine unsichere Prozesssteuerung oder
- eine Anzahl von externen Faktoren, die schwer beeinflussbar sind, wie beispielsweise Klima und Qualität der Rohstoffe.

In der diskreten Fertigung liegt vorwiegend eine starre Kuppelproduktion vor, wo aus einer bestimmten Menge eines Ausgangsmaterials eindeutige Mengen von Haupt- und Abfallprodukt entstehen.

### **Batchproduktion**

Nach Schönsleben umfasst die Prozessindustrie die Unternehmen, die mit einer Prozessherstellung produzieren. Als Prozessherstellung bezeichnet er nach der oben bereits erwähnten APICS-Definition eine Produktion, die die Wertschöpfung durch Mixen, Separieren, Umformen oder chemische Reaktion erzielt und entweder durch Batch-

---

<sup>221</sup> Vgl. Hahn/Laßmann (1999), S. 373

<sup>222</sup> Vgl. Riebel (1955), S. 27ff

<sup>223</sup> Vgl. Riebel (1955), S. 43ff

<sup>224</sup> Vgl. Schönsleben (2007), S. 407

Produktion in Losen oder durch losgrößenlose Produktion über die kontinuierliche Produktion erfolgt.<sup>225</sup>

Als Batch oder Charge wird die Gesamtheit der in einem Produktionsschritt produzierten Menge bezeichnet.<sup>226</sup> In der Prozessindustrie wird für Chargenproduktion auch der Begriff des Batching verwendet. Während ein Batch als Kombination einer Aufgabe und einer Produktionsmenge definiert ist, wird unter Produktion eines Batches die Durchführung der Aufgabe als Aktivität oder Operation verstanden. Als Batching wird die Festlegung der Batchgrößen im Sinne von Losgrößen bezeichnet. Erfolgt das Batching im Rahmen eines hierarchischen Ansatzes in einer vorgelagerten Planungsstufe, können für das anschließende Batch-Scheduling Methoden der diskreten Ablaufplanung angewandt werden. Die gebildeten Batches entsprechen dann den zu terminierenden Jobs bzw. Aufträgen.<sup>227</sup>

Die Chargenproduktion erfolgt in der Prozessindustrie üblicherweise auf Mehrzweckanlagen und weist besondere Charakteristika auf, welche zu einer höheren Komplexität der Produktionsplanung führen.<sup>228</sup>

- diskontinuierliche Produktionsweise
- Chargengrößen sind in der Regel durch das Fassungsvermögen eines Werkstoffbehälters begrenzt und oft auch durch Mindestchargengrößen definiert
- Eine Charge wird als Ganzes dem Produktionsprozess zugeführt und entnommen
- In einer Anlageneinheit wird immer nur eine Charge gleichzeitig produziert
- Die Prozesszeiten sind in der Regel unabhängig von der Chargengröße, teilweise sind auch nichtlineare Zusammenhänge zwischen Prozesszeit und Chargengröße zu beachten
- Häufig liegt eine Kuppelproduktion vor mit variablen Mengenverhältnissen der Einsatz- und Ausbringungsgüter
- Oft sind aufwendige Reinigungsprozesse erforderlich, deren Dauer von der Produktreihenfolge, dem jeweiligen Prozessschritt oder von der Einsatzdauer der Anlagen abhängt
- Produktspezifische Lagerung in Behälter mit begrenzter Kapazität
- In manchen Fällen sind auch prozess- bzw. einsatzstoffbedingte Qualitätsunterschiede zu beachten

### **Kampagnenplanung**

Der Betrieb von Mehrzweckanlagen erfolgt aufgrund dieser Besonderheiten in der Prozessindustrie oft im Kampagnenmodus. In der Kampagnenproduktion bleibt eine Anlage für einen bestimmten Zeitraum für die Fertigung einer einzelnen Produktgruppe konfiguriert, bevor sie für eine andere Produktgruppe rekonfiguriert wird. Dadurch ergibt sich eine zyklische Produktionsweise für die einzelnen Kampagnen.<sup>229</sup> Eine Kampagne ist ein ganzzahliges Vielfaches von Produktionschargen eines bestimmten Produktes, die nacheinander hergestellt werden. Eine Reihenfolge von Kampagnen, während der alle

---

<sup>225</sup> Vgl. Schönsleben (2007), S. 402

<sup>226</sup> Vgl. Schoner (2007), S. 20

<sup>227</sup> Vgl. Witt (2004), S. 50

<sup>228</sup> Vgl. Berndt et al. (1998), S. 361

<sup>229</sup> Vgl. Berndt et al. (1998), S. 361

wichtigen Produkte auf einer bestimmten Anlage in der erforderlichen Bedarfsmenge produziert werden, wird als Kampagnenzyklus bezeichnet. Gegenstand der Kampagnenplanung ist die Festlegung optimaler Kampagnenzyklen durch optimale Reihenfolgen und Größe der Kampagnen.<sup>230</sup>

Die Unterschiede sowie die synonymen Verwendungen der wesentlichen Begriffe im Zusammenhang mit der Batch- bzw. Chargenproduktion zwischen der verfahrenstechnischen und der diskreten Produktion sind abschließend in Tabelle 7 zusammengefasst.

Tabelle 7: Korrespondierende Begriffe in der diskreten und verfahrenstechnischen Produktion<sup>231</sup>

Diskrete Produktion	Prozessindustrie
<b>Losgrößenplanung:</b> Aus den Primärbedarfen abgeleitete Produktionsmengenvorgaben für alle Produktionsstufen	<b>Batching (Chargenbildung):</b> Kombinationsbildung von Aufgaben und Produktionsmengen für alle Produktionsstufen zur Erfüllung der Primärbedarfe
<b>Job:</b> Ergebnis der Losgrößenplanung	<b>Batch:</b> Ergebnis des Batching
<b>Jobfamilie:</b> Jobs, die von einer Maschine ohne Änderung des Rüstzustandes bearbeitet werden können	<b>Produktgruppe:</b> Produkte, die von einer Anlage ohne Änderung der Konfiguration hergestellt werden können
<b>Batching mit Jobverfügbarkeit:</b> Bildung von Batches, d.h. Gruppierung von Jobs gleicher Familien und zeitliche Zuordnung zu Maschinen, die für die Bearbeitungsdauer des Batches einem bestimmten, gleichbleibenden Rüstzustand unterliegen	<b>Kampagnenbildung bzw. -planung:</b> Bildung von Kampagnen, d.h. Gruppierung von Batches gleicher Produktgruppen und zeitliche Zuordnung zu Anlagen, die für die Dauer der Kampagne einer bestimmten, gleichbleibenden Konfiguration unterliegen
<b>Batch:</b> Ergebnis des Batching	<b>Kampagne:</b> Ergebnis der Kampagnenplanung
<b>Maschinenbelegungsplanung:</b> Zeitliche Fixierung der einzelnen Jobs, d.h. Festlegung von Start- und Beendigungsterminen auf den relevanten Maschinen unter Einhaltung von Reihenfolgebeziehungen und Kapazitätsrestriktionen	<b>Batch-Scheduling (Anlagenbelegungsplanung):</b> Zeitliche Fixierung der einzelnen Batches bzw. der resultierenden Operationen analog zur diskreten Maschinenbelegungsplanung

### 4.3 Flexibilität

Der Begriff Flexibilität leitet sich etymologisch aus dem Lateinischen von *flexibilis* ab, das elastisch, biegsam, beweglich bzw. geschmeidig bedeutet.<sup>232</sup> Aus Sicht eines Unternehmens, kann Flexibilität als die Fähigkeit, sich geänderten Umweltbedingungen anzupassen, verstanden werden.<sup>233</sup> Daraus ergibt sich die große Bedeutung der Flexibilität für das Agieren von Unternehmen in einem dynamischen, komplexen und kompetitiven Umfeld. Ein hoher Flexibilitätsgrad ist essentiell, um schnell und ohne schwerwiegende Nachteile auf sich ändernde Umweltbedingungen reagieren zu können.<sup>234</sup> Da sich Unsicherheiten unternehmerischer Entscheidungen auch durch hoch entwickelte Planungs- und

<sup>230</sup> Vgl. Schönsleben (2007), S. 420

<sup>231</sup> Quelle: in Anlehnung an Witt (2004), S. 54

<sup>232</sup> Vgl. Prinz et al. (2009), S. 313f

<sup>233</sup> Vgl. Pfohl (2009), S. 302

<sup>234</sup> Vgl. Kaluza/Blecker (2005b), S. 254

Kontrollsysteme nicht vollständig beseitigen lassen, kommt der Flexibilität von Unternehmen wachsende Bedeutung zu.<sup>235</sup> Die Flexibilität von Produktionsprozessen hat sich nach der Ära der Massenproduktion<sup>236</sup> als vierter Wettbewerbsfaktor zu den drei traditionellen Zieldimensionen des in Abbildung 33 dargestellten magischen Dreiecks Zeit, Kosten und Qualität ausgebildet.<sup>237</sup>

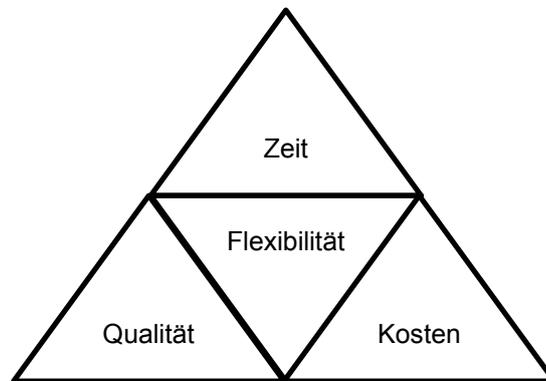


Abbildung 33: Wettbewerbsfaktoren

Insbesondere im Hinblick auf den Erfolgsfaktor Flexibilität kommt der Fertigung mit einer flexiblen Ausrichtung der Produktion eine strategische Bedeutung zu, da Unternehmen einen permanenten Prozess von Entwicklungen gegenüberstehen, die erhöhte Anforderungen an die Fertigung stellen. Steigende Kundenanforderungen und die damit verbundene Novität und Vielfalt der anzubietenden Produkte erhöhen das Spektrum der zu fertigenden Erzeugnisse. Die hohe Varietät, verbunden mit einer Vielzahl unterschiedlicher zu produzierender Teile, erfordert die Fertigung in kleinen Losgrößen, um wettbewerbsfähig fertigen zu können.<sup>238</sup>

In der Literatur finden sich viele weitere Ursachen, die auf ein Produktionssystem einwirken und eine hohe Flexibilität fordern. Nach Correa lassen sich zwei wesentliche Treiber finden:<sup>239</sup>

- Unsicherheit im Umfeld
- Variabilität von Produkten und Prozesse

Im ersten Fall geht es um die Fähigkeit mit Unerwartetem umzugehen. Unsicherheiten betreffen treten dabei sowohl innerhalb des Produktionssystems, beispielsweise Maschinenausfälle, als auch außerhalb durch schwankende Nachfrage und Angebot auf. Im zweiten Fall geht es um die Möglichkeit eine Vielzahl von Produkten mit unterschiedlichen Fertigungsverfahren herstellen zu können. Dementsprechend definierte Mascarenhas Flexibilität, als die Fähigkeit durch die Umwelt verursachte Instabilität zu bewältigen.<sup>240</sup>

Die wesentlichen auch heute noch geltenden Flexibilitäts-Treiber, mit denen Unternehmen konfrontiert werden, lassen sich nach De Toni/Tonchia wie folgt zusammenfassen:<sup>241</sup>

<sup>235</sup> Vgl. Pfohl (2009), S. 48

<sup>236</sup> Zur historischen Entwicklung siehe Sabel/Zeitlin (2002)

<sup>237</sup> Vgl. Kaluza/Blecker (2005b), S. 252

<sup>238</sup> Vgl. Kaluza/Blecker (2005b), S. 253

<sup>239</sup> Vgl. Correa (1992)

<sup>240</sup> Vgl. Mascarenhas (1981), S. 78f

<sup>241</sup> Vgl. De Toni/Tonchia (1998), S. 1593f

- (1) Variabilität der Nachfrage (zufällig oder nach Saison)
- (2) Kürzere Lebenszyklen der Produkte und Technologien
- (3) Breitere Palette von Produkten
- (4) Kundenspezifische Anpassung
- (5) Kürzere Lieferzeiten.

### 4.3.1 Flexible Produktionssysteme

Die Forderung nach flexiblen Produktionssystemen führte aus Sicht der Fertigungstechnologie zu einer erhöhten Automatisierung und aus organisatorischer Sicht zu neueren dezentralen Organisationstypen. Unter Dezentralisierung ist dabei eine Verteilung von zentral organisierten Aufgaben oder Befugnissen an Mitarbeiter oder Abteilungen auf niedrigeren Hierarchieebenen zu verstehen.<sup>242</sup>

Die beiden klassischen Organisationsformen der Fertigung, die Werkstattfertigung und die Fließfertigung, sind aus den konkurrierenden Zielgrößen Automatisierung und Flexibilisierung entstanden. Während beim Fließprinzip eine möglichst hohe Produktivität angestrebt wird, wird eine hohe Flexibilität durch die Werkstattfertigung erreicht, indem ähnliche Universalmaschinen, bedient durch universell ausgebildete Arbeitskräfte, räumlich zusammengefasst werden. Die Flexibilität wird durch lange Liege- und Durchlaufzeiten, hohe Bestände und schlechter Termintreue bei Vollausslastung erkaufte. Zur Lösung des Dilemmas Automatisierung versus Produktvielfalt wurden flexible Produktionssysteme entwickelt, die nach dem Insel- bzw. Zellen- oder Zentrenprinzip mit weitgehender Automatisierung des Werkstückdurchlaufs strukturiert sind.<sup>243</sup>

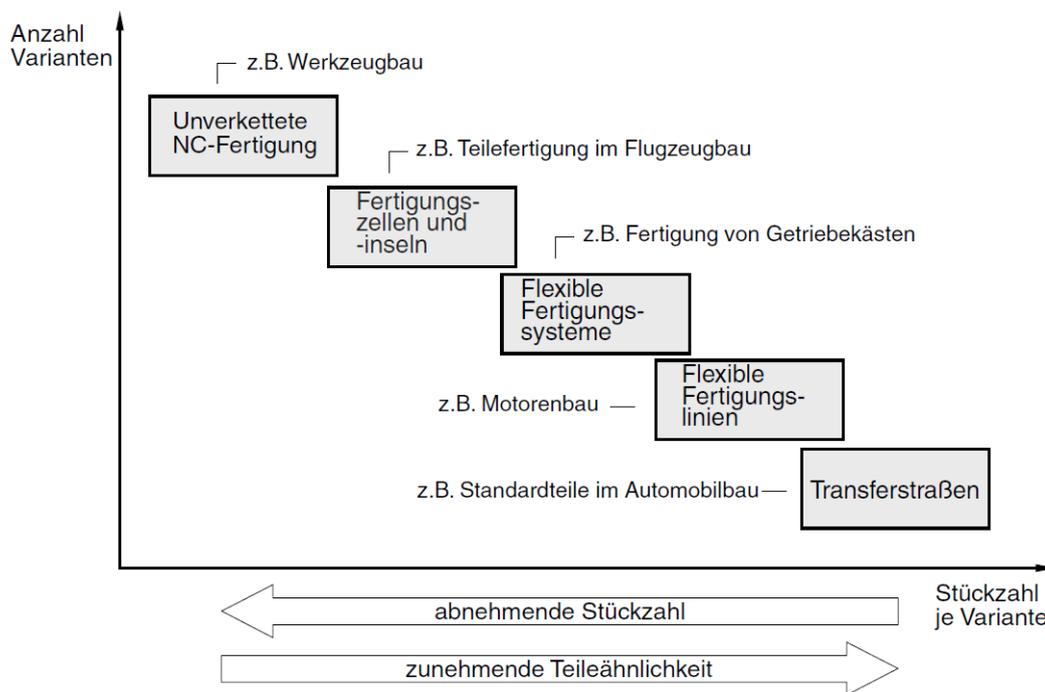


Abbildung 34: Einsatzbereich flexibler Fertigungskonzepte<sup>244</sup>

<sup>242</sup> Vgl. Wiendahl (2010), S. 33

<sup>243</sup> Vgl. Bauer (2009), S. 55f

<sup>244</sup> Quelle: Wiendahl (2010), S. 38

Aus den vielfältigen Erscheinungsformen von flexiblen Produktionssystemen hat sich in der Literatur noch keine allgemeine Abgrenzung durchgesetzt. Nach einer geläufigen Abgrenzung wird zwischen Bearbeitungszentrum, flexible Fertigungszelle, flexibles Fertigungssystem und flexible Transferstraße differenziert.<sup>245</sup> Diese flexiblen Fertigungskonzepte können anhand der Kriterien Variantenumfang und –stückzahl, wie in Abbildung 34 dargestellt, eingeordnet werden. Ausgehend von einer nach dem Verrichtungsprinzip orientierter Organisationsform der Fertigung haben sich die Fertigungsformen von der Universalmaschine über die numerisch gesteuerte Maschine zu den Fertigungszellen entwickelt. Auf der anderen Seite hat sich die flexible Transferstraße ausgehend von der starren Transferstraße in der Fließfertigung ausgebildet. Flexible Fertigungssysteme (FFS) stehen somit im Übergangsbereich zwischen dem automatisierten Verrichtungsprinzip und dem Fließprinzip und werden bei variantenreichen Serien, im Ersatzteilgeschäft, bei Serienanläufen und Versuchsanfertigungen verwendet.<sup>246</sup>

Die skizzierten technologieorientierten Ausführungen zu den einzelnen Definitionen eines FFS fokussieren sich sehr stark auf die Fertigungsindustrie, wie auch die Beispiele in Abbildung 34 verdeutlichen, und zeigen, dass die Prozessindustrie in Hinblick auf FFS in der Literatur noch wenig Berücksichtigung findet. Zur Charakterisierung eines flexibilitätsorientierten Produktionssystems in der Prozessindustrie ist daher im Folgenden eine genauere Betrachtung der einzelnen Begriffsdefinitionen und Flexibilitätsarten notwendig.

#### 4.3.2 Definition und Arten von Flexibilität

Kaluza teilt die produktionswirtschaftliche Flexibilität in die Ebenen der realen und dispositiven Flexibilität ein. Unter realer Flexibilität sind die strukturelle Flexibilität der Arbeitsorganisation zusammen mit den technischen Anordnungsbeziehungen der Produktionseinrichtungen sowie die quantitative und qualitative Fähigkeit zur Anpassung im technologischen und im personellen Bereich zu verstehen. In der dispositiven Ebene befindet sich die Anpassungsfähigkeit in den Bereichen der Produktionsplanung und –steuerung.<sup>247</sup> Diese Einteilung ist in Abbildung 35 dargestellt.

Aus Sicht der Produktion definiert Zelewski Flexibilität allgemein, als die Fähigkeit eines Produktionssystems zur Anpassung an variierende Produktionssituationen. Unter Produktionssystem ist dabei in Analogie zu den Ebenen bei Kaluza zu unterscheiden zwischen Realsystem oder Dispositionssystem. Eine Produktionssituation ist definiert als zeitpunktbezogene Gesamtheit der Ausprägungen aller realen Einflussgrößen, die sich auf die Ausführung von Produktionsprozessen in einem Produktionssystem auswirken vermögen.<sup>248</sup>

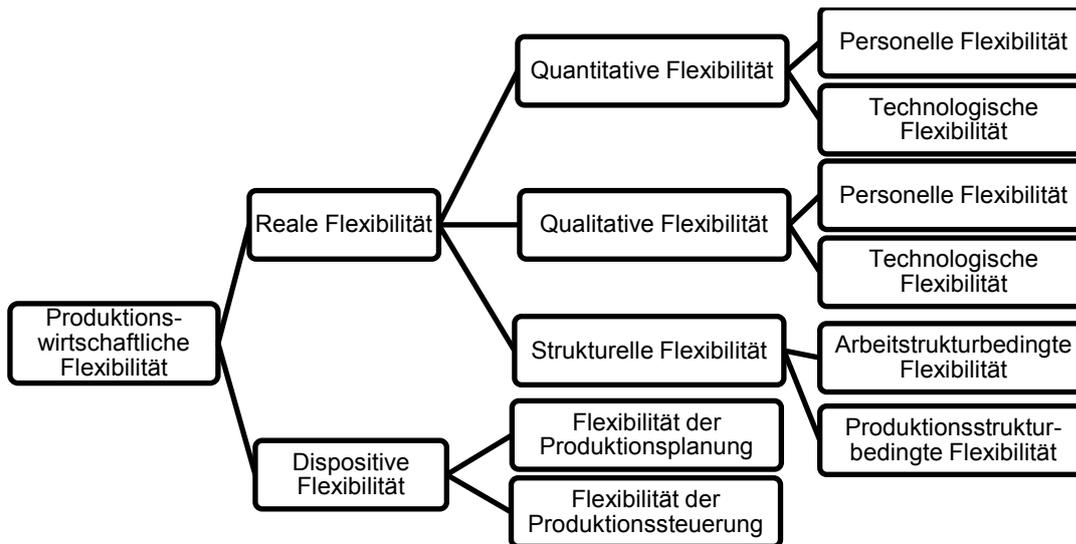
---

<sup>245</sup> Vgl. Tempelmeier/Kuhn (1993), S. 5f

<sup>246</sup> Vgl. Wiendahl (2010), S. 39

<sup>247</sup> Vgl. Kaluza (1989), S. 289ff

<sup>248</sup> Vgl. Zelewski (1998), S. 235f

Abbildung 35: Produktionswirtschaftliche Flexibilitätsarten<sup>249</sup>

Eine Anpassung der Produktion als Funktion zwischen Beschaffung und Absatz kann einerseits eine Folge von quantitativen und qualitativen Änderungen im Beschaffungsbereich sein andererseits auch von Änderungen im Absatzbereich ausgehen. Flexibilität in Hinblick auf die Beschaffung bedeutet im Wesentlichen die Fähigkeit zur Substitution von Faktoren. Bezüglich des Absatzbereiches zeigt sich Flexibilität in dem Vermögen, das Produktionsprogramm einem sich ändernden Absatzprogramm anzupassen.<sup>250</sup>

In Hinblick auf die Logistikleistung, wird als Lieferflexibilität, die Fähigkeit auf Kundenwünschänderungen hinsichtlich Spezifikationen, Mengen und Terminen einzugehen bezeichnet.<sup>251</sup>

Nach der Fristigkeit unterscheidet Jacob<sup>252</sup> zwischen Bestandsflexibilität und Entwicklungsflexibilität. In diesem Zusammenhang fällt auch die Differenzierung zwischen operativer und strategischer Flexibilität. Die langfristige Flexibilität ist prinzipiell durch Veränderungen in den fixen Kosten der Produktion gekennzeichnet und wird als Entwicklungsflexibilität bezeichnet. Die kurzfristige, kosten- und erlösorientierte Flexibilität, bei der die fixen Kosten der Produktion unbeeinflussbar sind, werden als Bestandsflexibilität bezeichnet. Diese beinhaltet intensitätsmäßige, zeitliche und quantitative Anpassung des Produktionsapparates.<sup>253</sup>

Der zeitliche Aspekt der Flexibilität kann auch als Reaktionsgeschwindigkeit gedeutet werden. Die kurz-, mittel- und langfristige Flexibilität wird auch als operative, taktische und strategische Flexibilität bezeichnet.<sup>254</sup> REFA unterscheidet nach dem Betrachtungshorizont in eine kurzfristige Produkt-, Fertigungs- und Mengenflexibilität sowie in eine langfristige Anpassung- und Erweiterungsflexibilität.<sup>255</sup>

<sup>249</sup> Quelle: in Anlehnung an Kaluza (1989), S. 289

<sup>250</sup> Vgl. Altrogge (1996), S. 606

<sup>251</sup> Vgl. Wiendahl (2011), S. 184

<sup>252</sup> Vgl. Jacob (1974)

<sup>253</sup> Vgl. Altrogge (1996), S. 606;

<sup>254</sup> Vgl. Wiendahl (2002a), S. 123

<sup>255</sup> Vgl. REFA (1990), S. 46

Wildemann betrachtet Flexibilität unter quantitativen, qualitativen und zeitlichen Aspekten.<sup>256</sup>

- (1) Quantitative Flexibilität ermöglicht, Schwankungen oder Verschiebungen von Produktionsmengen zu kompensieren, beispielsweise durch Puffer, und umfasst die
  - a. Erweiterungsfähigkeit als Möglichkeit zur Anpassung an Mengensteigerungen,
  - b. Kompensationsfähigkeit als Möglichkeit zur Anpassung an Verschiebungen der Mengenstrukturen,
  - c. Speicherfähigkeit als Möglichkeit der Zwischenlagerung von Werkstücken zum Ausgleich unterschiedlicher Bearbeitungszeiten des Produktionssystems.
- (2) Qualitative Flexibilität beschreibt die Anpassungsfähigkeit eines Produktionssystems an neue Produkte oder Werkstoffe, beispielsweise in Form von
  - a. Vielseitigkeit bzw. Umrüstkfähigkeit auf unterschiedliche Produktionsanforderungen,
  - b. Fertigungsredundanz, die auch bei Ausfall einzelner Systemteile die Produktion aufrecht erhält,
  - c. Umbaufähigkeit als langfristige Möglichkeit zur Anpassung an veränderte Aufgaben.
- (3) Zeitliche Flexibilität wird verstanden als die Möglichkeit zur schnellen Umstellung auf einen Wechsel der Fertigungsaufgabe und realisiert durch
  - a. Durchlaufreizügigkeit durch Wahlmöglichkeit bei der Gestaltung des Materialflusses, und
  - b. automatisierte Umstellungsprozesse.

Eine in der Literatur oft zitierte Taxonomie geht auf Browne et al.<sup>257</sup> zurück, in der acht Flexibilitätsarten unterschieden werden, die Beach et al. auch als die originalen acht Flexibilitätskategorien bezeichnen.<sup>258</sup> Die einzelnen Flexibilitätsarten stehen dabei ausgehend von den Basisflexibilitätsarten für Maschine und Arbeitsplan in einer hierarchischen Beziehung, in der, wie in Abbildung 36 verdeutlicht, an der obersten Stufe die Produktionsflexibilität steht. Die restlichen fünf Flexibilitätsarten werden hauptsächlich durch die zwei Basisarten beeinflusst und determinieren damit die Produktionsflexibilität. Ursprünglich diente dieses Klassifikationsschema zur Kategorisierung von flexiblen Fertigungssystemen, wurde jedoch in weiterer Folge auch zur Klassifizierung von Produktionssystemen verwendet.<sup>259</sup>



Abbildung 36: Beziehungen zwischen den Flexibilitätsarten<sup>260</sup>

<sup>256</sup> Vgl. Kistner/Steven (2001), S. 244f

<sup>257</sup> Vgl. Browne et al. (1984a)

<sup>258</sup> Vgl. Beach et al. (2000), S. 45f

<sup>259</sup> Zur Übertragung auf den Automobilrohbau als Montagesystem siehe beispielsweise Wemhöner (2006), S. 36f

<sup>260</sup> Quelle: in Anlehnung an Browne et al. (1984b), S. 4

Sethi/Sethi erweitern das Klassifikationsschema von Brown et al. um drei weitere Kategorien:<sup>261</sup> Programmflexibilität, Materialflussflexibilität und Marktflexibilität. Damit ergibt sich eine Taxonomie mit insgesamt elf Flexibilitätskategorien, die sie untereinander in Beziehung setzen und den drei Betrachtungsebenen System-, Komponenten- und aggregierte Flexibilität zuordnen. Diese in Tabelle 8 übersichtlich zusammengefassten elf Flexibilitätsarten bilden meist die Basis für andere Klassifizierungen oder entsprechen den Definitionen von anderen Autoren.<sup>262</sup> Daher sollen diese im Folgenden näher erläutert werden.

Tabelle 8: Flexibilitätsarten nach Sethi/Sethi<sup>263</sup>

Betrachtungsebene	Flexibilitätsart	Beschreibung
<b>Komponenten-/Basisflexibilität</b>	Maschinenflexibilität	Operationsvielfalt einer Maschine ohne größeren Umrüstarbeiten
	Materialflussflexibilität	Fähigkeit unterschiedliche Werkstücke effizient auf beliebigen Wegen durch das System herzustellen
	Arbeitsplanflexibilität	Möglichkeit alternativer Arbeitspläne eines Werkstücks
<b>Systemflexibilität</b>	Prozessflexibilität	Fähigkeit verschiedene Werkstücke, ohne größere Umrüstarbeiten im System zu produzieren
	Produktflexibilität	Einfachheit der Einführung neuer Produkte oder Substitution bestehender Produkte
	Durchlaufflexibilität	Möglichkeit eines Produktionssystems ein Werkstück durch unterschiedliche Abläufe zu produzieren
	Mengenflexibilität	Fähigkeit bei unterschiedlichen Beschäftigungsgraden wirtschaftlich zu arbeiten
	Erweiterungsflexibilität	Leichtigkeit zur Anpassung der technischen und qualitativen Kapazität
	Programmflexibilität	Fähigkeit zur autonome Maschinenfahrweise für einen längeren Zeitraum
<b>Aggregierte Flexibilitäten</b>	Produktionsflexibilität	Produktvielfalt des Produktionssystems ohne größere Investitionen
	Marktflexibilität	Leichtigkeit mit der sich das Produktionssystems auf ein geändertes Marktumfeld anpasst

### Maschinenflexibilität (machine flexibility)

Die Maschinenflexibilität bezeichnet als Eigenschaft einer Maschine die Leichtigkeit, mit der diese von einer Fertigungsoperation auf eine andere umgestellt werden kann.<sup>264</sup> Diese kann somit einerseits anhand der Anzahl an Fertigungsoperationen, die an einer Anlage ohne größeren Umstellaufwand durchgeführt werden können, gemessen werden. Andererseits

<sup>261</sup> Vgl. Sethi/Sethi (1990), S. 290ff

<sup>262</sup> Vgl. Barad/Sapir (2003); Barad/Sipper (1988); Beach et al. (2000); Tempelmeier/Kuhn (1993); De Toni/Tonchia (1998)

<sup>263</sup> Quelle: eigene Darstellung nach den Definitionen von Sethi/Sethi (1990)

<sup>264</sup> Vgl. Tempelmeier/Kuhn (1993), S. 19

können auch der Zeitaufwand oder die Kosten herangezogen werden, die erforderlich sind um von einer Fertigungsoperation auf die andere zu wechseln. Eine weitere Kennzahl für die Maschinenflexibilität ist die Anzahl der Variationen bezüglich Dimensionen und metallurgischer Eigenschaften der Rohstoffe, die an einer Maschine bearbeitet werden können.<sup>265</sup>

#### **Materialflusskomplexität (material handling flexibility)**

Ein Produktionssystem verfügt über eine Materialflussflexibilität, wenn es unterschiedliche Werkstücktypen beliebig innerhalb des Systems bewegen und an den Maschinen positionieren kann. Ein wahlfreier Materialfluss ermöglicht eine bessere Versorgung der Maschinen mit Werkstücken und bessere Ausnutzung der Maschinenflexibilität, da diese nicht durch Restriktionen des Materialflusssystems eingegrenzt wird.<sup>266</sup> Zur Messung kann ein universelles Materialflusssystem definiert werden, das jede Maschine mit jeder anderen verlinken kann. Die Materialflussflexibilität eines gegebenen Produktionssystems kann dann durch das Verhältnis der Anzahl der Wege, die in einem System unterstützt werden können, zur Anzahl der Wege, die in einem universellen Materialflusssystem möglich wären, ausgedrückt werden.<sup>267</sup>

#### **Prozessflexibilität (process flexibility)**

Mit Prozessflexibilität wird die Fähigkeit verstanden, verschiedene Werkstücktypen ohne größere Umrüstarbeiten herstellen zu können. Sie betrifft aus extrem kurzfristiger Perspektive die Menge der unterschiedlichen Werkstücktypen, die ohne größere, mit einem Anlagenstillstand verbundenen, Umrüstarbeiten produziert werden können, und wird bei Tempelmeier/Kuhn auch als Produktmixflexibilität bezeichnet.<sup>268</sup> Zur Messung kann die Anzahl der Werkstücktypen verwendet werden die gemeinsam ohne Losbildung hergestellt werden können. Prozessflexibilität steigt mit Abnahme des Rüstaufwands und kann unter anderem durch eine Steigerung der Maschinenflexibilität erreicht werden.<sup>269</sup>

#### **Produktflexibilität (product flexibility)**

Die Produktflexibilität beschreibt die Einfachheit, mit der neue Produkte eingeführt werden können oder bestehende Produkte substituiert werden können. Im Unterschied zur Prozessflexibilität erfordert die Einführung neuer Produkte meist Umrüstarbeiten. Produktflexibilität kann in Zeit oder Kosten, die erforderlich sind um von einem Produktmix auf einen anderen Produktmix mit möglicherweise neuen Produktarten zu wechseln, gemessen werden.<sup>270</sup> Als Fähigkeit den aktuellen Produktmix schnell und ohne großen Aufwand ändern zu können, wird sie auch als Produktmixänderungsflexibilität bezeichnet. Damit betrifft sie aus kurzfristiger Sicht die Menge der Produkte, die ohne Investitionen durch das Produktionssystem hergestellt werden können.<sup>271</sup>

---

<sup>265</sup> Vgl. Sethi/Sethi (1990), S. 299

<sup>266</sup> Vgl. Tempelmeier/Kuhn (1993), S. 19

<sup>267</sup> Vgl. Sethi/Sethi (1990), S. 301

<sup>268</sup> Vgl. Tempelmeier/Kuhn (1993), S. 20

<sup>269</sup> Vgl. Browne et al. (1984b), S. 2

<sup>270</sup> Vgl. Sethi/Sethi (1990), S. 304

<sup>271</sup> Vgl. Tempelmeier/Kuhn (1993), S. 20

### **Arbeitsplanflexibilität (operation flexibility)**

Arbeitsplanflexibilität eines Werkstücks ist gegeben, wenn es mit alternativen Arbeitsplänen, d.h. nach unterschiedlichen technologischen Reihenfolgen, hergestellt werden kann.<sup>272</sup> Ein alternativer Arbeitsplan kann entweder durch eine Änderung der Reihenfolge der Fertigungsoperationen oder durch Substitution von Fertigungsoperationen erstellt werden. Die Verwendung einer alternativen Maschine setzt voraus, dass das Materialflusssystem das Werkstück an die alternative Maschine transportieren kann. Eine hohe Arbeitsplanflexibilität erfordert damit eine gewisse Materialflussflexibilität und trägt auch zur Durchlaufflexibilität bei. Die Arbeitsplanflexibilität kann einfach durch die Anzahl an alternativen Arbeitsplänen gemessen werden.<sup>273</sup>

### **Durchlaufflexibilität (routing flexibility)**

Die Durchlaufflexibilität beschreibt die Fähigkeit eines Produktionssystems, Werkstücke auf unterschiedlichen Routen herzustellen. Alternative Routen können unterschiedliche Maschinen, unterschiedliche Fertigungsoperationen oder unterschiedliche Reihenfolgen der Fertigungsoperationen sein. Die Durchlaufflexibilität unterscheidet sich von der Arbeitsplanflexibilität insofern, als erstere sich auf die Eigenschaften eines Produktionssystems bezieht und letztere auf die Eigenschaft eines Werkstücks. Auch ein Produkt ohne Arbeitsplanflexibilität mit nur einem möglichen Arbeitsplan, kann auf unterschiedlichen Wegen durch das System bearbeitet werden. Eine hohe Durchlaufflexibilität ermöglicht eine effiziente Feinplanung, da unerwartete Zwischenfälle, wie Störungen oder fehlende Werkzeuge und Einsatzstoffe, durch alternative Routen bzw. Maschinen ausgeglichen werden können. Als Kennzahl ergibt sich die durchschnittliche Anzahl von möglichen Wegen auf denen ein Werkstück in einem Produktionssystem hergestellt werden kann.<sup>274</sup>

### **Mengenflexibilität (volume flexibility)**

Eine Mengenflexibilität ist gegeben, wenn ein Produktionssystem auf unterschiedlichen Beschäftigungsgraden wirtschaftlich betrieben werden kann. Dadurch wird eine Anpassung des Produktionsvolumens als Antwort auf Nachfrageschwankungen innerhalb der gegebenen technischen Kapazitätsgrenzen ermöglicht. Zur Bewertung der Mengenflexibilität kann unter der Annahme von fixen und konstanten variablen Kosten der Break-Even-Point verwendet werden, d.h. der kleinste Beschäftigungsgrad bei dem die Produktion noch wirtschaftlich arbeitet. Ein Produktionsbetrieb mit gegebenen fixen und variablen Kosten besitzt demnach im Vergleich zu einem Betrieb mit höheren Fixkosten und dafür geringeren variablen Kosten eine höhere Mengenflexibilität. Die durchschnittlichen Produktionskosten sind im ersten Fall weniger sensitiv zu Mengenänderungen als im zweiten Fall. Ergänzt man diese Untergrenze um den maximal möglichen Output, bei der noch wirtschaftlich produziert werden kann, erhält man die Mengenbandbreite als weitere mögliche Kennzahl zur Bewertung der Mengenflexibilität.<sup>275</sup> Die Mengenflexibilität war eine der ersten Flexibilität, die in der Literatur beschrieben wurde. In den 1930er beschäftigte sich bereits Stigler<sup>276</sup> mit der Flexibilität von

---

<sup>272</sup> Vgl. Tempelmeier/Kuhn (1993), S. 19

<sup>273</sup> Vgl. Sethi/Sethi (1990), S. 301

<sup>274</sup> Vgl. Sethi/Sethi (1990), S. 305ff

<sup>275</sup> Vgl. Sethi/Sethi (1990), S. 307f

<sup>276</sup> Vgl. Stigler (1939)

Kapazitäten und definierte diese mittels der Steigung der Durchschnittskostenkurve, wobei eine flache Steigung eine hohe Flexibilität bedeutet.<sup>277</sup>

#### **Erweiterungsflexibilität (expansion flexibility)**

Die Erweiterungsfähigkeit eines Produktionssystems beschreibt die Leichtigkeit mit der die technischen und qualitativen Kapazitäten erhöht werden können, wenn dies erforderlich ist. Im Unterschied zur Mengenflexibilität geht es dabei um die Erhöhung des maximal möglichen Outputs, d.h. der technischen Kapazität, und bei der qualitativen Kapazität, um die Steigerung der Vielseitigkeit einer Maschine durch neue Funktionen. Dies kann durch einen modularen Aufbau der Maschinen und ein geeignetes Layout des Produktionssystems ermöglicht werden, wodurch eine Erweiterung mit neuen Maschinen oder auch nur ein Ersetzen von alten Maschinen einfacher erfolgen kann. Unter Leichtigkeit ist der Gesamtaufwand zu verstehen, der für eine kapazitative Erweiterung notwendig ist. Darunter fallen sowohl die direkten Kosten, als auch die indirekten Kosten einer aufgrund der Expansion etwaigen Produktionsunterbrechung und die Geschwindigkeit, mit der Erweiterung stattfinden kann. Demnach lässt sich die Erweiterungsflexibilität durch die gesamten Kosten messen, die für die Erhöhung der technischen Kapazität notwendig sind.<sup>278</sup>

#### **Programmflexibilität (program flexibility)**

Die Programmflexibilität ist die Fähigkeit eines Produktionssystems für einen längeren Zeitraum in einem gewissen Sinne autonom zu laufen. Darunter ist zu verstehen, dass während der Laufzeit einer Maschine, keine Inspektionen, Werkzeugwechsel, Wartungsarbeiten oder ähnliche Arbeiten notwendig sind, die nur von geschultem Personal durchgeführt werden können. Dadurch können diese Tätigkeiten bei Mehrschichtbetrieb in der ersten Schicht durchgeführt werden und entfallen in einer zweiten oder dritten Schicht. Programmflexibilität reduziert die Durchlaufzeit durch Reduktion von Rüstzeiten und Verbesserung der Inspektions- und Rüstarbeiten. Eine autonome Maschinenfahrweise erhöht die effektive Kapazität und kann somit sowohl die Produktivität als auch die Qualität verbessern. Zur Messung bieten sich die verfügbaren Betriebszeiten während der zweiten und dritten Schicht an.<sup>279</sup>

#### **Produktionsflexibilität (production flexibility)**

Die Produktionsflexibilität beschreibt die Produktvielfalt, die ohne größere Investitionen hergestellt werden können. Im Unterschied zur Produktflexibilität sind dazu Umrüstaufwendungen vorgesehen, aber keine größeren Investitionen. Eine hohe Produktionsflexibilität erlaubt durch einfache Erweiterung der Produktpalette eine Diversifizierung des Produktportfolios und erhöht die Wettbewerbsfähigkeit in einem Markt, der durch häufig neue Produkte gekennzeichnet ist.<sup>280</sup>

#### **Marktflexibilität (market flexibility)**

Die Marktflexibilität bezeichnet die Leichtigkeit mit der das Produktionssystem auf Änderungen im Marktumfeld angepasst werden kann. Dieser Aspekt hebt die Bedeutung einer marktorientierten Fertigung hervor. Insbesondere in sich schnell ändernden Märkten mit

---

<sup>277</sup> Vgl. Buzacott/Mandelbaum (2008), S. 14

<sup>278</sup> Vgl. Sethi/Sethi (1990), S. 309

<sup>279</sup> Vgl. Sethi/Sethi (1990), S. 310f

<sup>280</sup> Vgl. Sethi/Sethi (1990), S. 311

kurzen Produktlebenszyklen und laufenden technologischen Innovationen ist die Schnittstelle zwischen Produktion und Marketing ein entscheidender Wettbewerbs- und Überlebensfaktor für ein Unternehmen. Die Marktflexibilität ergänzt in diesem Sinne die Produktions- und Programmflexibilität und soll im Vergleich zu weniger flexibleren Unternehmen einen schnellen Eintritt in neue Märkte unterstützen. Dies bedeutet für das Produktionssystem, dass es mit der Herstellung neuer Produkte, schwankenden Produktionsmengen und Kapazitätsänderungen konfrontiert wird. Eine Produkt-, Mengen- und Erweiterungsflexibilität tragen folglich zur Marktflexibilität bei. Diese lässt sich als gesamter Aufwand, der für die Einführung eines neuen Produktes erforderlich ist, in Kosten- und Zeiteinheiten messen.<sup>281</sup>

### 4.3.3 Flexible Planung

In Zusammenhang mit Planung und Flexibilität findet sich in der Literatur das Konzept der flexiblen Planung, das hier zur Abgrenzung der Arbeit kurz diskutiert werden soll. Aus Sicht der Entscheidungstheorie wird bei Entscheidungsproblemen über mehrere Perioden zwischen der starren und der flexiblen Planungsmethode differenziert.

Bei der starren Planung wird simultan über gegenwärtige und zukünftige Maßnahmen entschieden. Die zukünftigen Maßnahmen werden aber ohne Rücksicht auf die Umweltentwicklung festgelegt und ohne Eventualpläne festzulegen. Dadurch ist schon bei Festlegung der Aktionen für den Beginn des Planungszeitraums eine endgültige und unwiderrufliche Entscheidung darüber zu treffen, welche Folgeaktionen in den späteren Perioden des Planungszeitraums realisiert werden.<sup>282</sup>

Als Lösung hat sich das Konzept der flexiblen Planung ausgebildet, bei dem die zu Beginn des Planungszeitraums zu ergreifenden Aktionen endgültig festgelegt werden und alle Informationen berücksichtigt werden, die bis dahin vorliegen. Eine flexible Planung führt zu einem aktuellen Plan mit mehreren Teilplänen, die einen optimalen Spielraum für zukünftige Anpassungen an mögliche Umweltentwicklungen offen lassen.<sup>283</sup>

Insbesondere in einem dynamischen Umfeld, gehen Informationen über aktuelle Produktionssituationen, wie Störungen, erst zu einem späteren Zeitpunkt in der Produktion zu. Daher ist es nicht sinnvoll zukünftige Aktionen in einer starren Planung vorher schon endgültig festzulegen, sondern diese erst dann definitiv zu entscheiden, wenn dieser Zeitpunkt tatsächlich eintritt. Eine flexible Planung würde hier als richtiger erscheinen als eine starre Planung, die weniger Handlungsalternativen berücksichtigt. Allerdings ist die verbesserte Planungsgenauigkeit durch eine starke Ausweitung der zu berücksichtigenden Strategien sehr aufwändig, sodass die flexible Planung auch mehr als Denkprinzip angesehen wird, als ein für praktische Planungsprobleme anwendbares Planungsverfahren.<sup>284</sup>

Die in dieser Arbeit entwickelten Konzepte folgen nicht dem hier erläuterten klassischen Konzept der flexiblen Planung, die zu einem aktuellen Plan mit mehreren Teilplänen führt. Vielmehr geht es darum Ansätze für die Produktionsplanung für ein flexibilitätsorientiertes Produktionssystem zu entwickeln. Die Produktionsplanung in einem flexibilitätsorientierten Produktionssystem kann damit in Abgrenzung zum erläuterten Konzept der flexiblen Planung als flexibilitätsorientierte Produktionsplanung bezeichnet werden.

---

<sup>281</sup> Vgl. Sethi/Sethi (1990), S. 312f

<sup>282</sup> Vgl. Laux (2005), S. 308

<sup>283</sup> Vgl. Laux (2005), S. 287; zur flexiblen Planung siehe ebenda

<sup>284</sup> Vgl. Rau (2004), S. 91

## 4.4 Betriebstypologische Merkmale der flexibilitätsorientierten Prozessindustrie

Für die Analyse der in der Realität auftretenden Produktionsprozesse ist es zweckmäßig, charakteristische Ausprägungen der Produktion als Produktionstypen zu unterscheiden, indem man die realen Erscheinungsformen der Produktion anhand eines oder mehrerer abstuftbarer Merkmale kennzeichnet.<sup>285</sup> Nachdem nunmehr erläutert wurde, was unter Flexibilität und Prozessindustrie im Rahmen dieser Arbeit zu verstehen ist, erfolgt daher eine weitere Präzisierung des Untersuchungsgegenstandes. Auf Basis existierender Betriebstypologien aus der Literatur sollen die produktionswirtschaftlich relevanten Merkmale zur Charakterisierung der flexibilitätsorientierten Prozessindustrie identifiziert werden. In der Literatur existieren vielfältige Ansätze zur Bildung von Produktionstypen.<sup>286</sup> Am bekanntesten ist die Betriebsmorphologie von Schomburg<sup>287</sup>, die insbesondere im deutschsprachigen Raum kontinuierlich weiterentwickelt wurde und zur Beschreibung der logistischen Anforderungen verwendet wird.<sup>288</sup> Im Einzelnen unterscheidet Schomburg folgende acht Merkmale, die er nach Input-, Prozess- und Output einteilt:<sup>289</sup>

- Inputmerkmale
  - Auftragsauslösungsart
  - Dispositionsart
  - Beschaffungsart
- Prozessmerkmale
  - Fertigungsart
  - Fertigungsablaufart
  - Fertigungsstruktur
- Outputmerkmale
  - Erzeugnisspektrum
  - Erzeugnisstruktur

Die Typologie wird in einem morphologischen Kasten dargestellt. Dieser ist eine von Zwicky<sup>290</sup> entwickelte mehrdimensionale Matrix, die Merkmale mit seinen Ausprägungen für eine bestimmte Fragestellung enthält. Die für diese Arbeit relevanten Merkmale sind mit den Ausprägungen für die flexibilitätsorientierte Prozessindustrie in Tabelle 9 aufgeführt und werden im Folgenden näher erläutert. Die Darstellung beruht dabei auf den Arbeiten und Weiterentwicklungen von Schomburg. Dabei wurden einerseits Merkmale verdichtet und andererseits weitere neue Merkmale aus der Literatur ergänzt, die für die Problemstellungen in der Produktionsplanung relevant sind. Die Merkmale sind dabei zu Merkmalsgruppen zusammengefasst, die analog zu den drei Grundobjekten des Auftragsmanagement nach Artikel, Kapazitätseinheit und Auftrag strukturiert sind.<sup>291</sup>

---

<sup>285</sup> Vgl. Küpper (1996), S. 1636

<sup>286</sup> Vgl. Hahn/Laßmann (1999), S. 64

<sup>287</sup> Vgl. Schomburg (1980)

<sup>288</sup> Vgl. Wiendahl (2011), S. 189f

<sup>289</sup> Vgl. Schomburg (1980), S. 35ff

<sup>290</sup> Vgl. Zwicky (1966)

<sup>291</sup> Vgl. Wiendahl (2011), S. 189

Tabelle 9: Charakterisierung der flexibilitätsorientierten Prozessindustrie

	Merkmal	Merkmalsausprägungen			
Artikel	Erzeugnisspektrum (Variantenvielfalt)	Kundenspezifisch	Produktfamilien (variantenreich)	Standardprodukt mit Varianten	Standardprodukt
	Erzeugnisstruktur (Stufigkeit der Produktion)	Geringteilige Erzeugnisse		Mehrteilige Erzeugnisse mit einfacher Struktur	Mehrteilige Erzeugnisse mit komplexer Struktur
	Einsatzgüterarten	materialintensiv	anlagenintensiv	arbeitsintensiv	informationsintensiv
Ressource	Mechanisierungsgrad	manuell		teilautomatisiert	automatisiert
	Ablaufart (Anordnungstyp)	Baustellenfertigung	Werkstattfertigung	Gruppen-/Linienfertigung	Fließfertigung
	Kontinuität des Materialflusses	kontinuierlich		Chargenproduktion	diskontinuierlich
	Materialflussform	glatt	konvergierend	divergierend	umgruppierend
	Materialflusskomplexität	Sehr komplex mit Rückflüssen	Komplex ohne Rückflüsse	überschaubar	einfach
	Planungsbesonderheiten	Rüstzyklen Kampagnen	Mindestmengen Chargen	gemeinsame Bearbeitung	Schleifenprozesse
	Engpass	wechselnd (Zeit und Ort)		stabil	kein
Auftrag	Fertigungsart	Einzelstück	Kleinserie	Großserie	Massenfertigung
	Auslösegrund	Nachfrage Kundenauftrag		Prognose Vorhersageauftrag	Verbrauch Lagerergänzungsauftrag
	Bevorratungsstrategie (Marktbezug)	Engineer-to-order	Make-to-order	Finalise-to-order	Make-to-stock

Die Auswahl der Merkmale und vorgenommene Charakterisierung wird im Folgenden deduktiv aus der Literatur abgeleitet. Nach Domschke et al. können die unterschiedlichen Produktionsformen, welche die Art und den Schwierigkeitsgrad von Problemen der Produktionsplanung beeinflussen, anhand von fünf wesentlichen Kriterien, zwischen denen enge wechselseitige Abhängigkeiten existieren, klassifiziert werden:<sup>292</sup>

- (1) Mechanisierungsgrad
- (2) Stufigkeit der Produktion
- (3) Marktbezug
- (4) Repetitionstyp
- (5) Anordnungstyp

<sup>292</sup> Vgl. Domschke et al. (1993), S. 5f

### Mechanisierungsgrad

Zu differenzieren sind bezüglich des Mechanisierungsgrades die manuelle, mechanisierte und automatisierte Produktion.<sup>293</sup> Typisch für die Prozessindustrie sind ein hoher Anteil automatisierter Produktion und eine im Vergleich zur diskreten Fertigung wie beispielsweise im Automobilbau geringer Anteil manueller Tätigkeiten, wie Montage. Auch eine Flexibilitätsorientierung spricht für einen höheren Automatisierungsgrad.

### Stufigkeit der Produktion (Erzeugnisstruktur)

Die Stufigkeit der Produktion entspricht dem Merkmal Erzeugnisstruktur bei Schomburg. Von einstufiger Fertigung spricht man, wenn ein Produkt in einem oder mehreren unmittelbar aufeinanderfolgenden Arbeitsgängen durch eine Produktiveinheit hergestellt wird. Bei mehrstufiger Fertigung durchläuft ein Produkt mehrere Produktiveinheiten, wobei zwischen diesen auch Unterbrechungen bzw. Lagerungen auftreten können. In der klassischen Prozessindustrie sind Zwischenlagerungen aufgrund des vorherrschenden Fließprinzips eher untypisch und technologisch sind auch meist keine Halbfabrikate inmitten eines chemischen oder biologischen Prozesses möglich. Üblicherweise herrscht in der Prozessindustrie eine einstufige Produktion vor. In Hinblick auf eine flexible Ausrichtung finden sich insbesondere am Übergang zur Stückgutfertigung auch zwei- oder mehrstufige Fertigungen in Form von lagerfähigen Zwischenstufen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Anzahl der Stufen von der Abgrenzung der Arbeitssysteme bzw. Produktiveinheiten und der Definition der Arbeitsgänge abhängt.<sup>294</sup> Eine Quantifizierung der Erzeugnisstruktur kann anhand der durchschnittlichen Anzahl an Strukturstufen (Strukturtiefe) und der durchschnittlichen Anzahl an Stücklistenpositionen (Strukturbreite) erfolgen. Eine Konkretisierung anhand dieser beiden Kriterien ist in Tabelle 10 dargestellt. Demnach fällt die Prozessindustrie in die Kategorie der geringteiligen Erzeugnisse.

Tabelle 10: Ausprägungen der Erzeugnisstruktur<sup>295</sup>

	Mehrteilige Erzeugnisse mit komplexer Struktur	mehrteilige Erzeugnisse mit einfacher Struktur	Geringteilige Erzeugnisse
Anzahl Strukturstufen	≥ 5	> 3 und <5	≤ 3
Anzahl Stücklistenpositionen	≥ 500	> 25 und < 500	≤ 25

### Marktbezug (Bevorratungsstrategie)

Der Marktbezug entscheidet über die Auftragsauslösung, nach der zwischen Auftrags- und Lagerfertigung unterschieden wird. Bei Kundenauftragsfertigung (Make-to-Order) liegt der Fertigung ein konkreter Kundenauftrag zugrunde. Wird ein Produkt dagegen ohne konkreten Kundenauftrag, also den anonymen Absatzmarkt, gefertigt, so spricht man von Marktfertigung oder auch Lagerfertigung (Make-to-Stock). Neben diesen beiden Extrempositionen sind in der Praxis häufig Mischformen zu finden, die sich wie in Abbildung 37 dargestellt über das Konzept des Kundenentkopplungspunkts (Order Decoupling Point) verdeutlichen lassen. Dieser, auch als Order Penetration Point (OPP) bezeichnete Punkt, beschreibt dabei den Übergang von der prognosegetriebenen Lagerfertigung hin zur kundenbezogenen Auftragsfertigung. Bei der Assemble-to-Order Bevorratungsstrategie erfolgt

<sup>293</sup> Vgl. Domschke/Scholl (2007), S. 110

<sup>294</sup> Vgl. Günther/Tempelmeier (2005), S. 21

<sup>295</sup> Quelle: in Anlehnung an Schuh (2006), S. 124

die Montage bei Vorliegen eines Kundenauftrags, während die davor liegenden Prozesse durch Prognosen geregelt werden. Bei der Fertigungsstrategie Engineer-to-Order wird erst nach Auftragsingang mit der Entwicklung begonnen.<sup>296</sup>

Wertschöpfungskette							Bevorratungsstrategie	
Programmfertigung					OPP	OPP	Make-to-Stock	
				OPP	Kundenauftragsfertigung			Finalise-to-Order
			OPP					Make-to-Order
OPP							Engineer-to-Order	
Lieferant	Beschaffung	Lager	Fertigung	Lager	Finalisierung	Lager	Versand	

Abbildung 37: Bevorratungsstrategien<sup>297</sup>

Eng verbunden mit dem strategischen Merkmal der Bevorratungsstrategie ergibt sich damit der Auslösegrund als weiteres typisches Gestaltungsmerkmal des Auftragsmanagements. Die Auftragsauslösungsart bzw. Dispositionsart beschreibt die Ursache des Bedarfs, der verbrauchs-, prognose- oder kundengesteuert sein kann. Meist wird vereinfachend zwischen Nachfrage und Verbrauch unterschieden, d.h. eine bedarfs- versus verbrauchsgesteuerte Disposition.<sup>298</sup>

Während die Prozessindustrie üblicherweise als Lagerfertigung eingestuft wird, führt eine flexiblere Ausrichtung der Produktion dazu, dass mit der Produktion erst nach Vorliegen eines konkreten Kundenauftrags begonnen werden kann. Als Bevorratungsstrategie ergibt sich somit neben der Lagerfertigung eine Kundenauftragsfertigung. Eine Assemble-to-Order Strategie ist in der Prozessindustrie im Falle einer kontinuierlichen Fließfertigung nicht möglich, kann jedoch am Übergang zur Stückgutfertigung vorkommen. In diesem Fall soll anstelle von Montage von Finalisierung und von Finalise-to-Order gesprochen werden. Die Form Engineer-to-Order betrifft vor allem industrielle Großprojekte wie Anlagenbau und trifft für die Prozessindustrie dann zu, wenn kundenauftragsbezogen beschafft wird. Dies ist zum Beispiel in einem Walzwerk der Fall, wenn die einzusetzenden Walzbarren aufgrund einer neuen Legierungszusammensetzung oder Dimension erst zu beschaffen sind.

Nachfrage- schwankungen	Hoch	Make-to-Order	Finalise-to-Order
	niedrig	Make-to-Order Finalise-to-Order Make-to-Stock	Make-to-Stock
		< 1	> 1
<b>Produktionsdurchlaufzeit/Lieferzeit</b>			

Abbildung 38: Normstrategien zur Auswahl der Bevorratungsstrategie<sup>299</sup>

<sup>296</sup> Vgl. Kiener (2009), S. 149f

<sup>297</sup> Quelle: in Anlehnung an Olhager (2003), S. 320

<sup>298</sup> Vgl. Wiendahl (2011), S. 192

<sup>299</sup> Quelle: in Anlehnung an Olhager (2003), S. 327

Wesentliche Faktoren für die Auswahl der Bevorratungsstrategie sind das Ausmaß der Nachfrageschwankungen und das Verhältnis zwischen der geforderten Kundenlieferzeit und der benötigten Produktionsdurchlaufzeit. Aus diesen beiden Faktoren lassen sich die in Abbildung 38 dargestellten Strategien ableiten.<sup>300</sup>

**Repetitionstyp (Fertigungsart)**

Nach den von einem Produkt herzustellenden Produktvolumen wird differenziert zwischen Massen-, Sorten-, Serien- und Einzelfertigung. Wenn ein Produkt in großen Mengen über einen längeren Zeitraum ohne oder nur mit geringen Modifikationen produziert wird, liegt eine Massenfertigung vor. Wird ein Produkt ebenfalls in großer Stückzahl, aber verschiedenen Varianten bzw. Sorten, die sich in unterschiedlichen Ausstattungsdetails unterscheiden, hergestellt, so handelt es sich um eine Sortenfertigung. Bei einer Serienfertigung werden mehrere Produkte jeweils in begrenzter Menge gefertigt. Einzelfertigung bedeutet, dass ein Einzelstück oder auch wenige Einzelstücke hergestellt werden. Diese Erscheinungsformen, differenziert nach dem Wiederholcharakter, wird auch als Fertigungstyp oder Fertigungsart bezeichnet. Während die klassische Prozessindustrie aufgrund der vorherrschenden Fließfertigungsprinzips eher zur Massen- und Serienfertigung einzuordnen ist, ist die flexibilitätsorientierte Prozessindustrie aufgrund der höheren Variantenvielfalt zur Sorten- bzw. auch zur Einzel- und Kleinserienfertigung zu zählen.

Eine quantitative Charakterisierung des Fertigungstyps kann über die Auflagenhöhe und Wiederholhäufigkeit vorgenommen werden. In Tabelle 11 sind grobe Richtwerte zur Abgrenzung der einzelnen Fertigungsarten dargestellt.

Tabelle 11: Ausprägungen der Fertigungsart<sup>301</sup>

	Einmalfertigung	Einzel- und Kleinserienfertigung	Serienfertigung	Massenfertigung
Auflagenhöhe	gering	< 50	> 50	sehr groß
Wiederholhäufigkeit pro Jahr	keine	< 12	< 24	ununterbrochen

**Anordnungstyp (Ablaufart)**

Ausgehend vom Repetitionstyp haben sich mit der Werkstatt-, der Fließ- und der Gruppenfertigung drei verschiedene Organisationsformen der Fertigung gebildet, deren Einsatzgebiete und Vorteile in Tabelle 12 unter Berücksichtigung des Flexibilitätsaspektes zusammengestellt sind.

Tabelle 12: Einsatzgebiete und Vorteile der Organisationstypen<sup>302</sup>

Einzelfertigung/ Kleinserien	Massen-/Serienfertigung	Serien-/Massen-/Einzelfertigung
Werkstattfertigung	Fließfertigung	Gruppenfertigung
Flexibilität in Bezug auf das Absatzprogramm Kleine Losgrößen möglich	Stabile Prozesse Wenig Schnittstellen Zeit- und Kostenziele einfach in Einklang zu bringen	Übersichtlichkeit Kombination aus Flexibilität und Produktivität

<sup>300</sup> Vgl. Olhager (2003), S. 322ff

<sup>301</sup> Quelle: in Anlehnung an Schuh (2006), S. 130

<sup>302</sup> Quelle: in Anlehnung an Adam et al. (2003), S. 248

Abhängig von der räumlichen Anordnung der Produktiveinheiten und den damit erforderlichen Transportprozessen, wird vor allem zwischen den Formen Fließfertigung und Werkstattfertigung differenziert. In der Werkstattfertigung werden gleichartige Arbeitssysteme nach dem Verrichtungsprinzip (funktionsorientiert) räumlich zu Werkstätten zusammengefasst und die Erzeugnisse in der Regel in Losen von Werkstatt zu Werkstatt transportiert. Demgegenüber werden bei einer Fließfertigung (ablauforientierte, objektzentralisierte Fertigung) die Produktiveinheiten entsprechend des Materialflusses der Erzeugnisse gemäß der zeitlichen Abfolge von Arbeitsgängen, die an einem oder einer Anzahl ähnlicher Produkte auszuführen sind, angeordnet. Im Extremfall ist die Fließfertigung eine kontinuierliche Prozessfertigung, bei der aus verfahrenstechnischen Gründen für eine längere Zeit keine Unterbrechung möglich ist. Die Gruppenfertigung versucht neben den beiden Extremen „Fließfertigung“ und „Werkstattfertigung“ als drittes Organisationsprinzip die Vorteile beider Extremtypen miteinander vereinen und gleichzeitig die Nachteile zu reduzieren.<sup>303</sup> Das Konzept der Gruppenfertigung wird auch als Inselprinzip bezeichnet. Als Fertigungsinsel ist eine räumlich und organisatorisch zusammengefasste Anordnung sämtlicher Betriebsmittel zu verstehen, die erforderlich sind, um eine Gruppe ähnlicher Werkstücke oder Erzeugnisse möglichst vollständig herzustellen.<sup>304</sup> Zu diesem Konzept sind auch die in 4.3.1 vorgestellten flexiblen Fertigungssysteme zu zählen.

Zu den weiteren Organisationstypen gehören auch noch die Baustellenfertigung und das Werkbankprinzip. Bei der Baustellenfertigung werden die Arbeitssysteme zu dem zu fertigenden Erzeugnis gebracht, während bei der Werkbankfertigung ein Erzeugnis komplett auf einer Werkbank hergestellt wird und vorzugsweise bei handwerklichen Arbeitsgängen ohne großen Maschinenaufwand Anwendung findet.

Stellt man wie in Tabelle 13 die Organisationsformen der Fertigung den Fertigungsarten gegenübergestellt, lässt sich die Frage beantworten, wann welche Organisationsform anzuwenden ist.<sup>305</sup> Der Organisationstyp wird dabei wesentlich durch die Art der Leistungswiederholung bestimmt. Deutlich zu erkennen ist die Verschiebung in der Prozessindustrie, deren Fließfertigungsprinzip in dieser Gegenüberstellung nur für den Fall einer Massen- und Serienfertigung als geeignet erscheint. Aufgrund der Forderung nach mehr Variantenreichtum, wie dies in der flexibilitätsorientierten Prozessindustrie der Fall ist, orientiert sich die Prozessindustrie in Richtung des immer wichtiger werdenden Bereichs der Einzel- und Kleinserienfertigung, der in Tabelle 13 grau markiert ist. Dieser Bereich ist gekennzeichnet durch die flexibleren Organisationstypen der Werkstatt- und Segmentfertigung mit gruppentechnologischen Fertigungssystemen wie Fertigungsinseln und flexiblen Fertigungssystemen. Aus dieser Gegenüberstellung wird der Forschungsbedarf ersichtlich, der sich für die Prozessindustrie aufgrund einer vermehrten Flexibilitätsorientierung ergibt. Dadurch stoßen einerseits traditionelle Konzepte für die Prozessindustrie an ihre Grenzen und andererseits werden die Besonderheiten aus der Prozessindustrie noch nicht zur Gänze in den werkstattfertigungsorientierten Konzepten der diskreten Fertigung berücksichtigt.

---

<sup>303</sup> Vgl. Adam et al. (2003), S. 247

<sup>304</sup> Vgl. Wiendahl (2010), S. 33

<sup>305</sup> Vgl. Wiendahl (2010), S. 39

Tabelle 13: Fertigungsarten und Organisationstypen<sup>306</sup>

Fertigungsarten		Organisationstypen								
		Einplatzprinzip		Verrichtungsprinzip				Fließprinzip		
		Externe Baustellenfertigung	Betriebliche Baustellenfertigung	Werkbankprinzip	Werkstättenprinzip	Fertigungsinsel	Flexibles Fertigungssystem	Flexible Taktfertigung	Lose verkettete Taktfertigung	Starr verkettete Taktfertigung
Einzel-fertigung	Einmalfertigung	X	X	X	X					
	Wiederholfertigung		X	X	X	X				
Mehrfach-fertigung	Sortenfertigung			X	X	X	X			
	Serienfertigung					X	X	X	X	
	Massenfertigung								X	X

Tempelmeier findet die Bildung von Produktionstypen ebenfalls entscheidend für die Formulierung von Entscheidungsmodellen zur Lösung von Problemstellungen in der Produktion, und unterscheidet zwischen programmbezogene, prozessbezogene und einsatzbezogenen Produktionstypen. Zusätzlich zu den oben beschriebenen Merkmalen sind der Anteil der Einsatzgüterarten sowie die Form und die Kontinuität des Materialflusses als weitere relevante Kriterien aufzunehmen.<sup>307</sup>

### Anteil der Einsatzgüterarten

Der Anteil der Einsatzgüterarten zählt zu den einsatzbezogenen Produktionstypen. Nach dem relativen Anteil der Produktionsfaktoren wird differenziert zwischen materialintensiver Produktion, anlagenintensiver Produktion, arbeitsintensiver Produktion sowie informationsintensiver Produktion. Aus dem hohen Automatisierungsgrad der Produktionsprozesse mit wenig manuellen Tätigkeiten ergibt sich eine weniger arbeitsintensive Prozessindustrie, die sowohl als material- als auch als anlagenintensiv gekennzeichnet ist.<sup>308</sup>

### Form des Materialflusses

Auf Basis der Form des Materialflusses werden die Vergenztypen der glatten, konvergierenden sowie der divergierenden und umgruppierenden Produktion unterschieden. Zusätzlich kann noch ein rekursiver Materialfluss vorliegen, wenn der gleiche Arbeitsplatz mehrmals durchlaufen wird. Während bei einem glatten (durchgängigen) Materialfluss aus jeweils einer eingesetzten Werkstoffart eine einzige Produktart hergestellt wird, wird bei einem konvergierenden (synthetischen) Materialfluss eine Produktart aus mehreren Werkstoffarten erzeugt. Ein divergierender (analytischer) Materialfluss ergibt sich, wenn durch Aufspaltung aus einer Werkstoffart mehrere Produktarten erzeugt werden. Dies ist typisch für die Prozessindustrie in der in Abschnitt 4.2 erläuterten Kuppelproduktion, bei der in einem Produktionsprozess zwangsläufig mehrere Ausbringungsgüter gleichzeitig anfallen. Ein

<sup>306</sup> Quelle: in Anlehnung an Wiendahl (2010), S. 39

<sup>307</sup> Vgl. Günther/Tempelmeier (2005), S. 10ff

<sup>308</sup> Vgl. Günther/Tempelmeier (2005), S. 22

umgruppierender Materialfluss liegt vor, wenn in einem Arbeitsgang mehrere Werkstoffarten eingesetzt werden, aus denen verschiedene Produktarten entstehen.<sup>309</sup>

#### **Kontinuität des Materialflusses**

Nach der Kontinuität des Materialflusses wird in Abhängigkeit davon, ob die Objekte während des Produktionsprozesses ununterbrochen oder in bestimmten zeitlichen Abständen zum nächsten Arbeitssystem transportiert werden, zwischen kontinuierlicher und diskontinuierlicher Produktion unterschieden. Ein kontinuierlicher Materialfluss ist vor allem bei Fließgütern in der Prozessindustrie in Form einer natürlichen Fließproduktion anzutreffen, aber auch bei Stückgütern möglich. Eine Spezialform der diskontinuierlichen Produktion ist die in Abschnitt 4.2 beschriebene Chargenproduktion (Batchproduktion), bei der eine durch das Fassungsvermögen des Produktionsgefäßes (z.B. Hochofen) begrenzte Werkstoffmenge (Charge) als Ganzes dem Arbeitssystem zugeführt und ihm als Ganzes am Ende des Produktionsprozesses entnommen wird.<sup>310</sup>

#### **Variantenvielfalt**

Zusätzlich zu den bereits erwähnten Kriterien sollen noch die Variantenanzahl sowie die Materialflusskomplexität als relevante Merkmale, welche die Fertigungssteuerung beeinflussen, betrachtet werden.<sup>311</sup> In der Literatur wird die Variantenvielfalt häufig auch synonym als Varietät oder Varianz bezeichnet. Nach DIN 199 versteht man unter einer Variante Gegenstände ähnlicher Form und/oder Funktion mit einem in der Regel hohen Anteil identischer Gruppen oder Teile.<sup>312</sup> Variantenvielfalt lässt sich somit definieren als durch die Anzahl der unterschiedlichen Ausführungsformen eines Teiles, einer Baugruppe oder eines Produktes.<sup>313</sup> Eine vom Kunden geforderte und wahrgenommene äußere Produktvielfalt bedeutet eine hohe innere Variantenzahl in der Fertigungssteuerung und erfordert eine hohe Produktionsflexibilität. Entscheidend für die Fertigungssteuerung ist es, inwieweit sich die Variantenvielfalt auf Erzeugnisebene bis in die Fertigung auswirkt.<sup>314</sup> Dieser Punkt in der Wertschöpfungskette (Variantenbildungspunkt), an dem die Variantenbildung erfolgt, sollte so spät wie möglich gebildet werden und so nahe wie möglich beim Kunden liegen.<sup>315</sup> Die Variantenanzahl ist eng verbunden mit dem Merkmal Erzeugnisspektrum nach Schomburg. Dieses Merkmal charakterisiert mit seinen Ausprägungen den kundenseitigen Gestaltungseinfluss auf die Erzeugniskonstruktion sowie den Standardisierungsgrad.<sup>316</sup>

Ein flexibilitätsorientiertes Produktionssystem ist demnach durch eine Produktion gemäß Kundenspezifikation gekennzeichnet, in der ein Kunde seine speziellen Vorstellungen über die Produktstruktur und den Produktionsprozess einbringen kann. Aufgrund vorgegebener Restriktionen ist die Einflussmöglichkeit von Kunden in der Prozessindustrie geringer und meist ein gewisser Standardisierungsgrad der Produkte technologisch vorgegeben. In der flexibilitätsorientierten Prozessindustrie werden folglich vorwiegend typisierte Produkte mit kundenspezifischen Varianten hergestellt. Dabei handelt es sich um den Produktionstyp

---

<sup>309</sup> Vgl. Günther/Tempelmeier (2005), S. 19f

<sup>310</sup> Vgl. Günther/Tempelmeier (2005), S. 20 und Abschnitt 4.2

<sup>311</sup> Vgl. Lödding (2008), S. 95

<sup>312</sup> Vgl. Franke (2002), S. 11

<sup>313</sup> Vgl. Große-Heitmeyer/Wiendahl (2004), S. 7

<sup>314</sup> Vgl. Lödding (2008), S. 104

<sup>315</sup> Zum Konzept des Postponement siehe Abschnitt 6.3.3

<sup>316</sup> Vgl. Schuh (2006), S. 123

variantenreicher Produktfamilien, bei dem von einer Grundkonstruktion ausgegangen wird, die unabhängig von Kundenaufträgen vorhanden ist und den Typ der Produkte festlegt. Die speziellen Anforderungen der Kunden werden durch eine Anpassung des zugrundeliegenden Produktionsprozesses erfüllt, die zu unterschiedlichen Varianten des zugrundeliegenden Produkttyps führt.<sup>317</sup>

### **Materialflusskomplexität**

Die Materialflusskomplexität ist eng mit der Variantenanzahl verknüpft und hängt von der Anzahl der möglichen Vorgänger und Nachfolger eines Arbeitssystems ab sowie von der Anzahl der Rückflüsse im Materialfluss.<sup>318</sup> Aus Fertigungssteuerungssicht besitzt eine Fertigungslinie die niedrigste Materialflusskomplexität, da jede Kapazitätseinheit höchstens einen Vorgänger und höchstens einen Nachfolger sowie keine Rückflüsse hat. Die Materialflusskomplexität kann für ein Produktionssegment, das unabhängig von anderen Segmenten geplant und gesteuert wird, durch die Varietät (Elementevielfalt) und Konnektivität (Beziehungsvielfalt) der Materialien und Ressourcen quantifiziert werden.<sup>319</sup>

- Aus Sicht der Planung wird die Materialflusskomplexität determiniert durch
  - die Anzahl zu fertigender Materialien,
  - die Anzahl zu planender Kapazitätseinheiten und
  - die Anzahl der Produktionsaufträge.
- Aus Sicht der Steuerung lässt sich die Materialflusskomplexität bestimmen durch
  - den Richtungskoeffizienten, der die Linearität der Materialflüsse charakterisiert, und
  - den Desintegrationsgrad, der den Grad der Vernetzung der einzelnen Ressourcen über den Materialfluss beschreibt.

Der Richtungskoeffizient R lässt sich mit Hilfe einer Materialflussmatrix wie folgt als Prozentsatz berechnen.<sup>320</sup>

$$R = ( (\Sigma MO - \Sigma MU) / (\Sigma MO + \Sigma MU) ) * 100$$

mit MO: Materialfluss in Materialflussrichtung

MU: Materialfluss entgegen der Materialflussrichtung

wobei der Materialfluss über die Materialintensität als Anzahl der Aufträge, Anzahl der der Arbeitsstunde, etc. gemessen werden kann.

Der Desintegrationsgrad D wird als Prozentsatz folgendermaßen berechnet:<sup>321</sup>

$$D = ( N / ( M * ( M - 1 ) ) ) * 100$$

mit N: Anzahl Materialflussbeziehungen

M: Anzahl Kapazitätseinheiten

---

<sup>317</sup> Vgl. Zelewski et al. (2008), S. 189

<sup>318</sup> Vgl. Lödding (2008), S. 104

<sup>319</sup> Vgl. Bornhäuser (2009), S. 30

<sup>320</sup> Vgl. Sainis (1975), S. 10 zitiert nach Bornhäuser (2009), S. 31

<sup>321</sup> Vgl. Sainis (1975), S. 12 zitiert nach Bornhäuser (2009), S. 31

Nach dem in Tabelle 14 dargestellten Beurteilungsschema ist die flexibilitätsorientierte Prozessindustrie sowohl aus Sicht der Planung aufgrund der Produktvielfalt als komplex bis sehr komplex einzustufen, als auch aus Sicht der Steuerung aufgrund der konvergierenden und divergierenden Materialflüsse mit Schleifen.

Tabelle 14: Morphologie zur Beurteilung der Materialflusskomplexität aus Planungs- und Steuerungssicht<sup>322</sup>

		Materialflusskomplexität			
		gering	überschaubar	komplex	sehr komplex
Planung	Anzahl Kapazitätseinheiten	1-5	5-20	20-70	>70
	Anzahl Materialien/Jahr	1-10	10-50	50-500	>500
	Anzahl Aufträge/Monat	1-10	10-100	100-1.000	>1.000
Steuerung	Desintegrationsgrad in %	0-15	15-30	30-50	>50
	Richtungskoeffizient in %	100-90	90-80	80-40	<40

### Planungsbesonderheiten

Aus Sicht der Kapazitätseinheit soll das Merkmal Planungsbesonderheiten die Planungs- und Steuerungskomplexität bei der Auftragseinplanung berücksichtigen. Als wichtige Anforderungen nennt Wiendahl Rüstzyklen, Mindestmengen, gemeinsame Bearbeitung und Schleifenprozesse.<sup>323</sup> In der Prozessindustrie sind alle diese Planungsbesonderheiten, in Form der Kampagnenplanung und technologisch bedingter Mindestmengen, anzutreffen.

### Engpass

Ausgehend von Goldratt's Theory of Constraints (TOC)<sup>324</sup>, hat sich die Berücksichtigung des Engpassprinzips als Leitsatz zur Konfiguration der Fertigungssteuerung etabliert.<sup>325</sup> Aus produktionswirtschaftlicher Sicht versteht man unter Engpass diejenige Ressource oder Komponente, die das Erfüllen mindestens eines logistischen Ziels oder Leistungsmerkmals der Produktion begrenzt. Angelehnt an die Praxis wird zwischen statischen und dynamischen Engpässen unterschieden.<sup>326</sup> Beim statischen Engpass begrenzt nur eine Kapazitätseinheit im gesamten Planungszeitraum den Durchsatz des Produktionsbereichs. Ursache ist meist ein zeitlich schwankender Kundenbedarf. Bei dynamischen Engpässen ändert sich die Engpasseinheit, abhängig vom Produktionsprogramm und der Planperiode. Engpassituationen treten in diesem Fall nur bei bestimmten Auftragslagen und unter besonderen Rahmenbedingungen, wie zum Beispiel bei einer Maschinenstörung, auf. Wechselnde Engpässe treten in der flexibilitätsorientierten Prozessindustrie aufgrund der hohen Variantenvielfalt auf, wenn der Kapazitätsbedarf je Variante schwankt und neben dem Gesamtbedarf auch noch der Auftragsmix.<sup>327</sup>

<sup>322</sup> Quelle: in Anlehnung an Bornhäuser (2009), S. 31

<sup>323</sup> Vgl. Wiendahl (2011), S. 191

<sup>324</sup> Vgl. Goldratt et al. (2004)

<sup>325</sup> Vgl. Lödding (2008), S. 79

<sup>326</sup> Vgl. Schächli et al. (2005), S. 638

<sup>327</sup> Vgl. Bornhäuser (2009), S. 32

## 4.5 Kritische Analyse bestehender Planungskonzepte

Nachdem nun die betriebstypologischen Merkmale der flexibilitätsorientierten Prozessindustrie erläutert wurden, werden bestehende Planungskonzepte auf ihre Anwendbarkeit unter diesen Umständen diskutiert. Aufgrund der Besonderheiten der Prozessindustrie wurden eigene Konzepte für die Prozessindustrie entwickelt, da die aus der diskreten Fertigung angewandten MRPII-/ERP-Konzepte und Lean-/Just-in-time-Konzepte nicht zur Gänze übernommen werden können.<sup>328</sup> Diese von Schönsleben als Prozessor-orientierten bezeichneten Konzepte sind darauf spezialisiert, eine hochvolumige Linienproduktion oder die kontinuierliche Produktion mit teurer Produktionsinfrastruktur zu unterstützen, bei der der Fokus insbesondere auf eine hohe Auslastung der Kapazität gerichtet ist. Unter Prozessor ist eine verarbeitende Einheit der Produktionsinfrastruktur zu verstehen, d.h. die Betriebsmittel, wie Maschinen, Apparate und übrige Einrichtungen, und die Kapazitäten (Prozessoren).<sup>329</sup>

Charakteristisch für prozessor-orientierte Konzepte sind die prozessor-dominierte Terminplanung, die Betriebsmittel oder Kapazität vor Material plant, und die Terminplanung von Betriebsmitteln für genügend lange Bearbeitungszeiten sowie den Einsatz von rüstoptymalen Kampagnenzyklen erleichtert. Damit unterscheidet sich diese Technik von der Material-dominierten Terminplanung, welche Material vor Prozessoren plant, und sowohl im MRPII-/ERP-Konzept als auch im Lean-/Just-in-time-Konzept benutzt wird.<sup>330</sup>

Tabelle 15: MRPII-/ERP oder LEAN-/JIT-Konzepte versus Prozessororientierte Konzepte<sup>331</sup>

MRPII- / ERP- oder Lean-/JiT-Konzepte	Prozessororientierte Konzepte
Materialdominierte Terminplanung (MRP)	Prozessor-dominierte Terminplanung
Autonation, autonome Inselfösungen	Kampagnenplanung
Produktionsnivellierung, Heijunka, Wertstromanalyse und -design	Langfristige Programmplanung mit detaillierten Produktionsstrukturen
Just-in-Time, Kanban, selbstorganisierende Regelkreise	Pipelineplanung mit großen Zwischenlagerbeständen und langen Durchlaufzeiten
Anwendungsgebiete	
Material bezogen auf die gesamten Herstellkosten relativ teuer	Kapazität bezogen auf die gesamten Herstellkosten relativ teuer, daher Ziel hohe Auslastung der Aggregate
Überkapazitäten	Engpasskapazitäten
Rüstzeiten und -kosten tendenziell vernachlässigbar	Einmalige Kosten je produzierten Los relativ teuer, daher große Lose
Eher eine Werkstattproduktion als eine Linienproduktion	Hochvolumige Linienproduktion oder kontinuierliche Produktion
Konvergierende Produktstruktur	Divergierende Produktstruktur
Engineer-to-order, make-to-order	make-to-stock
Produktstruktur ohne Schleifen und gerichtetes Netzwerk von Arbeitsgängen	Produktstruktur mit Schleifen oder ungerichtetes Netzwerk von Arbeitsgängen
Keine Chargennachweis nötig	Chargennachweis nötig

<sup>328</sup> Zu den Planungsansätzen in der Prozessindustrie siehe Crama et al. (2001)

<sup>329</sup> Vgl. Schönsleben (2007), S. 401

<sup>330</sup> Vgl. Schönsleben (2007), S. 423

<sup>331</sup> Quelle: in Anlehnung an Schönsleben (2011), S. 402, 423

Bereits Ohno verwies auf die hohe Komplexität in der Prozessindustrie im Vergleich zur diskreten Fertigung in der Automobilindustrie: „Um ehrlich zu sein, auch bei Toyota ist es schwierig, die Arbeitsgänge des Pressens, Gießens und Schmiedens in einen totalen Produktionsfluss zu bringen, der so rationalisiert ist wie die Montage oder die maschinelle Bearbeitung.“<sup>332</sup> In Tabelle 15 sind die beiden Konzepte und deren typische Anwendbarkeit mit ihren wesentlichsten Unterscheidungsmerkmalen und Anwendungsgebieten gegenübergestellt.

Aus der Tabelle ist ersichtlich, dass die prozessorientierten Konzepte, zwar die in Abschnitt 4.2 erläuterten Besonderheiten der Prozessindustrie berücksichtigen. Für eine flexibilitätsorientierte Ausrichtung, mit kleineren Losen, Make-to-order und komplexeren Materialflüssen sind diese Konzepte aber nicht ganz geeignet. Auf der anderen Seite sind auch klassische MRP und Just-in-Time Konzepte in der flexibilitätsorientierten Prozessindustrie nicht einfach zu übernehmen, da diese zwar eine flexiblere Ausrichtung, wie kleine Lose handhaben können, aber die Besonderheiten der Prozessindustrie zu wenig berücksichtigen. Zu einem ähnlichen Ergebnis kommen Focacci/ Simchi-Levi, die versuchten Lean-Techniken in der Prozess- und Hybridindustrie anzuwenden. Dabei erarbeiteten sie die in Tabelle 20 zusammengefassten besonderen Merkmale heraus, welche die Anwendungen von Lean-Methoden in der Prozess- und Hybridindustrie erschweren.<sup>333</sup> Die Merkmale wurden bereits im vorigen Abschnitt ausführlich diskutiert.

Tabelle 16: Merkmale der Prozessindustrie, welche die Anwendung von Lean-Methoden erschweren<sup>334</sup>

<b>Toyota Produktionssystem</b>	<b>Prozess- und Hybridindustrie</b>
Geringer Produktmix	Hoher Produktmix
Dedizierte Ressourcen	Ressourcen werden von vielen Produkten bzw. Produktfamilien geteilt
Geringe Nachfrageschwankungen	Hohe Nachfrageschwankungen
Reduzierung der Losgröße möglich (Single Piece Flow)	Physische Losgrößenrestriktionen (z.B. Tanks)
Kurze Rüstzeiten oder Reduktion möglich	Lange Rüstzeiten, die nicht reduziert werden können (z.B. Reinigungen)
Hohe Produktionsmengen	Mix aus hohen und niedrigen Produktionsmengen
Stabile und zuverlässige Prozesse	Variabilität der Prozesse (Gärung, chemische Reaktionen, Zellwachstum)
Niedrige Kapazitätsauslastung	Hohe Kapazitätsauslastung
Selten Produktänderungen	Oft neue Produkteinführungen
Selten Planänderungen	Häufige Planänderungen

### **Problematische Entscheidungsregeln**

Mangels anwendbarer Konzepte erfolgen Planungsentscheidungen in der Produktion meist auf Basis logisch abgeleiteter Schlussfolgerungen. In der Fertigung werden jedoch oft bestimmte logisch abgeleitete Entscheidungsregeln angewandt, die jedoch zur Zielerreichung problematisch sein können und genau das Gegenteil vom gewünschten Effekt bewirken. Stark

<sup>332</sup> Ohno (2009), S. 151

<sup>333</sup> Vgl. Focacci/Simchi-Levi (2009)

<sup>334</sup> Quelle: in Anlehnung an Focacci/Simchi-Levi (2009), S. 8

ansteigende Durchlaufzeiten der Kundenaufträge führen häufig zu Terminüberschreitungen der Lieferungen, auf die die Disponenten in der Fertigungssteuerung mit einem als „Fehlerkreis der Fertigungssteuerung“ bekannt gewordenem Verhalten reagieren. Aufgrund der Terminüberschreitungen werden die geplanten Durchlaufzeiten erhöht, die Aufträge früher freigegeben, die Warteschlangen vor den Arbeitsplätzen dadurch länger, die tatsächlichen Durchlaufzeiten größer und demzufolge die Termine häufiger überschritten.<sup>335</sup> Dieser Fehlerkreis der Fertigungssteuerung ist in Abbildung 39 dargestellt.

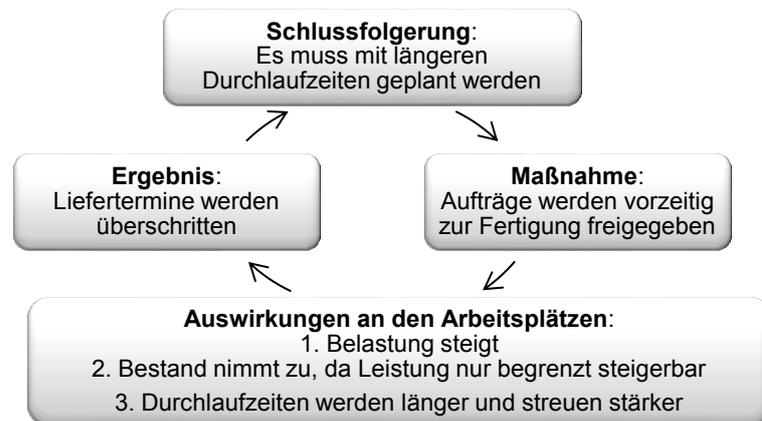


Abbildung 39: Fehlerkreis der Fertigungssteuerung<sup>336</sup>

Die Ursache für die fehlerhaften Entscheidungen lässt sich meist auf eine der fünf problematischen Entscheidungsregeln bei der Auftragsfreigabe zurückführen:<sup>337</sup>

- (1) **Je mehr Aufträge man in die Produktion gibt, desto mehr bekommt man heraus.**  
Eine vorzeitige Auftragsfreigabe schafft keine zusätzliche Kapazität, sondern resultiert nur in einer Überlastung der Produktion. Man übersieht dann nicht mehr, welche Aufträge wirklich dringlich sind, und es werden eher die falschen Teile zum falschen Zeitpunkt produziert.
- (2) **Wichtige Aufträge muss man so früh wie möglich beginnen!**  
Je früher die Fertigung beginnt, desto mehr Aufträge befinden sich in Umlauf und desto stärker wird die Produktion überlastet.
- (3) **Reichen die geplanten Durchlaufzeiten nicht aus, muss man sie länger machen!**  
Dies führt ebenfalls zu einer vorzeitigen Auftragsfreigabe. Die eigentliche Ursache für lange Durchlaufzeiten sind aber fehlende Kapazitäten und nicht falsche Planwerte.
- (4) **Wird ein Engpass durch mehrere dringliche Aufträge blockiert, muss man alle Lose teilen!**  
Eine Loseilung schafft keine zusätzliche Kapazität, sondern durch zusätzliche Rüstzeiten eher eine geringere Kapazität, sodass insgesamt weniger Teile gefertigt werden.
- (5) **Wenn Eilaufträge rasch durch die Werkstatt laufen, sollte man den Anteil der Eilaufträge erhöhen!**  
Eilaufträge verdrängen andere Aufträge, die bereits an den Arbeitsplätzen waren und bringen diese in Terminverzug, so dass in einer Kettenreaktion bald noch mehr Aufträge eilig sind und die Terminplanung unrealistisch wird.

<sup>335</sup> Vgl. Hansmann (2006), S. 340

<sup>336</sup> Quelle: in Anlehnung an Bühner (2004), S. 239

<sup>337</sup> Vgl. Bühner (2004), S. 240

Mit der Lösung dieses Problems beschäftigen sich zahlreiche Fertigungssteuerungsverfahren, welche meist durch unterschiedliche bestandsregelnde Verfahren die Auftragserzeugung und -freigabe steuern.

### Fertigungssteuerungsverfahren

Je mehr Varianten zu steuern sind, desto komplexer gestaltet sich die Aufgabe der Fertigungssteuerung. Während zur Fertigung weniger Varianten einfache und selbstregelnde Fertigungssteuerungsverfahren verwendet werden können, ist mit steigender Variantenzahl der Einsatz komplexer PPS-Software unumgänglich.<sup>338</sup>

		Materialflusskomplexität	
		Hoch	Niedrig
Variantenanzahl	Hoch	MRP II, Engpasssteuerung Belastungsorientierte Auftragsfreigabe	Conwip
	niedrig		Kanban Fortschrittszahlen

Abbildung 40: Anwendungsfelder der Fertigungssteuerungsverfahren<sup>339</sup>

Betrachtet man die Einsatzmöglichkeiten der üblichen Verfahren zur Fertigungssteuerung, lassen sich diese, wie in Abbildung 40 dargestellt, nach der Anzahl der Varianten und der Materialflusskomplexität ableiten. Eine Kanban-Steuerung und der Einsatz von Fortschrittszahlen sind nur bei niedriger Materialflusskomplexität und einer geringen Variantenzahl einsetzbar. Für ein flexibilitätsorientiertes Produktionssystem scheiden diese Fertigungssteuerungsverfahren somit aus. Für den vorliegenden Fall einer hohen Materialflusskomplexität, verbunden mit einer hohen Variantenzahl, verbleiben noch das MRP II-Konzept, die Engpasssteuerung und die belastungsorientierte Auftragsfreigabe. Die beschränkte Anwendbarkeit des MRP II-Konzeptes wurde bereits erläutert und auch im Fallbeispiel bestätigt. Betrachtet man die belastungsorientierte Auftragsfreigabe genauer, zeigt sich, dass die klassischen Formeln zur Berechnung der Bestandsgrenzen bei den vorliegenden zyklischen Materialflüssen und technologisch bedingten Restriktionen, wie Mindest- und Maximalliegezeiten nicht einfach übernommen werden können. Aus denselben Gründen liefert auch eine Engpasssteuerung keine befriedigenden Ergebnisse. Ein vorliegender Engpass kann zwar grundsätzlich in der Grobterminierung durch eine Mittelpunktterminierung berücksichtigt werden, darüber hinaus liefert eine Engpasssteuerung jedoch keine Unterstützung für eine dezentrale Reihenfolgeplanung und Feinterminierung. Weiters gilt es zu beachten, dass keine konstanten sondern dynamische Engpässe vorliegen, die sich temporär nur für eine gewisse Zeitspanne ergeben.

Im Gegensatz zur Kanban-Steuerung erzielt eine Conwip-Steuerung auch bei einer hohen Variantenzahl noch gute Ergebnisse. Allerdings lässt sich eine konstante Bestandsgrenze für das betrachtete Produktionssystem, bedingt durch die hohe Materialflusskomplexität mit dezentralen Steuerungseinheiten, nicht definieren. Dazu unterscheiden sich die einzelnen Kapazitätsbeanspruchungen sowohl was die qualitativen als auch die quantitativen Kapazitäten betreffen zu stark vom jeweils vorliegenden Produktmix. Durch den

<sup>338</sup> Vgl. Lödding (2008), S. 104

<sup>339</sup> Quelle: in Anlehnung an Wiendahl (2002b), S. 85

variantenneutralen Bestandspuffers in den genannten klassischen bestandsregelnden Verfahren kann der vorgegebene Produktmix nicht berücksichtigt werden.<sup>340</sup>

Neben den in Abbildung 40 dargestellten Verfahren zur Fertigungssteuerung finden sich in der Literatur auch noch die bekannten OPT (Optimized Production Technology) und „Drum-buffer-robe“ Verfahren, die sich jedoch vor allem für eine gut eingespielte Linienproduktion mit festen Produktionsrhythmen, wie beispielsweise für einfache Chemieprodukte, eignen. Gegen einen Einsatz in einer flexibilitätsorientierten Produktionsumgebung spricht auch dass für beide Verfahren das Kundenauftragsvolumen bekannt und stabil sein muss, da jede Veränderung zu einer Neuplanung führt.<sup>341</sup>

#### **Charakterisierung der Problemstellung für die Produktionsprozessplanung**

Für die Produktionsprozessplanung wurden in der Literatur bereits zahlreiche Algorithmen zur Optimierung der Maschinenbelegungs- bzw. Reihenfolgeplanung entwickelt. Optimierungsprobleme im Bereich der Maschinenbelegungsplanung lassen sich einem einheitlichen Klassifikationsschema folgend hinsichtlich ihrer Maschinencharakteristika  $\alpha$ , ihrer Auftragscharakteristika  $\beta$  und ihrer Zielfunktion  $\gamma$  unterscheiden und werden üblicherweise mit Hilfe von Tripeln  $\alpha|\beta|\gamma$  charakterisiert.<sup>342</sup> Schiefer charakterisiert die Problemstellung für die Produktionsprozessplanung in der Prozessindustrie nach dem üblichen Tripel  $\alpha|\beta|\gamma$  wie folgt:<sup>343</sup>

$\alpha$ = F für Flow-Shop-Probleme oder J für Job-Shop-Probleme: Bei den Problemstellungen der Prozessindustrie handelt es sich sowohl um Flow-Shop-Probleme, als auch um Job-Shop-Probleme, abhängig von dem herzustellenden Produktionsprogramm. Die Maschinen besitzen maximale Kapazitätslimits.

$\beta$ : In den jeweilige Planungshorizonten sind eine unterschiedliche Anzahl an Aufträgen einzuplanen. Dabei müssen verschiedene verfahrenstechnische Restriktionen, wie Mindest- und Maximaltemperaturen, Halte- und Abkühlzeiten und die Reihenfolgebeziehungen vorgegeben sein. Zusätzlich sind Angaben zu der allgemeinen Rüstdauer und den reihenfolgeabhängigen Rüstzeiten erforderlich sowie zu den Lieferterminen der mit den Fertigungsaufträgen verbundenen Kundenaufträge. Gegebenenfalls sind auch Prioritäten bei den Auftragscharakteristika zu berücksichtigen und Aufträge mit hoher Priorität zu Beginn des Planungshorizontes zu bearbeiten.

$\gamma$ : Das Hauptziel der Produktionsprozessplanung in der Prozessindustrie besteht in der Minimierung der Leerzeiten der Anlagen für die stoffumwandelnden Prozesse, aufgrund der hohen Anschaffungskosten dieser Anlagen und den daraus resultierenden Abschreibungs- und Kapitalbindungskosten. Daraus ergeben sich folgende zwei Teilziele: Einplanung einer maximalen Anzahl an Aufträgen je Planungshorizont und die Minimierung der Anzahl der Rüstvorgänge während des Planungshorizontes.

---

<sup>340</sup> Vgl. Lödding (2008)

<sup>341</sup> Vgl. Schönsleben (2007), S. 715f

<sup>342</sup> Vgl. Domschke et al. (1993), S. 283

<sup>343</sup> Vgl. Schiefer (2009), S. 117f

Folgende Inputdaten lassen sich daher für die Durchführung der Produktionsprozessplanung in der Prozessindustrie ableiten:<sup>344</sup>

- **Planungshorizont**, der den Zeitraum für welchen das Planungsproblem gelöst werden soll definiert.
- **Details zu den Aggregaten und Lagermöglichkeiten**, wie die Anzahl der Aggregate sowie die Anzahl der Puffer, sowie deren minimale und maximale Kapazitäten.
- **Bearbeitungszeiten** für jeden Auftrag bzw. für jede Charge für jede einzelne Anlage.
- **Materialflusswege der einzelnen Aufträge** müssen definiert sein, d.h. welche Anlagen in welcher Reihenfolge und wie oft durchlaufen werden müssen.
- **Verfahrenstechnische Restriktionen der Aufträge** müssen gegeben sein, wie beispielsweise Bedingungen betreffend die Temperaturbehandlung sowie Haltezeiten.
- **Liefertermin** muss für jeden Auftrag gegeben sein.
- **Prioritäten** müssen gegebenenfalls für Eilauftrag definiert sein.
- **Weitere Restriktionen** zusätzlich zu den bisher angeführten Restriktionen können beispielsweise Restriktionen betreffend eine spezielle Produktmarke sein.

Aufgrund der beschriebenen Problemstellung wird klar, dass standardisierte Maschinenbelegungsalgorithmen nicht angewandt werden können, da diese meist nur einfache Flow-Shop-Probleme und Job-Shop-Probleme mit einer Maschinenanzahl  $\leq 3$ , für eine niedrige Produktvielfalt und der Zielfunktion  $C_{\max}$  lösen können.<sup>345</sup> In der flexibilitätsorientierten Prozessindustrie kommt hinzu, dass einige der für einen Algorithmus benötigten Daten nicht im benötigten Format in den PPS-Systemen vorliegen. Einerseits liegt das an der hohen Produktvielfalt und an der hohen Komplexität, bedingt durch die unterschiedlichen möglichen teilweise zyklischen Materialflüsse, andererseits lassen sich die technologisch bedingten Restriktionen und Abhängigkeiten in der Vielfalt nur schwer formalisiert in einem Gesamtzusammenhang darstellen. Die Planung beruht meist auf dem Erfahrungswissen der Mitarbeiter, das nur schwer in der für einen Algorithmus benötigten Form extrahiert bzw. explizit gemacht werden kann.

### 4.6 Zusammenfassung und Überleitung

In diesem Kapitel wurde ein Grundverständnis und eine Abgrenzung zu den Kernbegriffen Flexibilität und Prozessindustrie geschaffen. Im Gegensatz zu dem in der Literatur bekanntem Begriff der flexiblen Planung liegt der Fokus in dieser Arbeit auf den spezifischen Problemstellungen, die sich für die Produktionsplanung in einem flexibilitätsorientierten Produktionssystem der Prozessindustrie ergeben. Zur Abgrenzung von flexiblen Fertigungssystemen wird in dieser Arbeit der Begriff flexibilitätsorientiertes Produktionssystem verwendet, da sich die flexiblen Fertigungssysteme vor allem auf Anlagen in der diskreten Fertigungsindustrie beziehen. Ein flexibilitätsorientiertes Produktionssystem lässt sich aus der Literatur durch unterschiedliche Teilflexibilitätsarten definieren. Durch die unterschiedlichen Betrachtungsweisen und verschiedenen Begriffe für dieselbe

---

<sup>344</sup> Vgl. Schiefer (2009), S. 118

<sup>345</sup> Vgl. ebenda

Teilflexibilitätsart lässt sich eine einheitliche Definition und Darstellung, mit der alle Flexibilitätsarten mit ihren Beziehungen zusammengefasst werden können, nur schwer finden.

In Abbildung 41 wurde versucht die genannten Flexibilitätsarten anhand des in Kapitel 3 definierten Basismodells zu systematisieren, um die für diese Arbeit relevanten Aspekte hervorzuheben. Bezüglich Flexibilität wird zuerst zwischen der realen bzw. technischen Flexibilität unterschieden, die sich auf das reale Produktionssystem bezieht, und der dispositiven bzw. organisatorischen Flexibilität, die sich auf das Produktionsmanagement bezieht.



Abbildung 41: Flexibilität im Produktionsmanagement<sup>346</sup>

Während sich alle Flexibilitätsarten, ausgehend von der Maschinenflexibilität, ursprünglich auf das reale Leistungssystem beziehen, sind für diese Arbeit vor allem diejenigen Teilflexibilitäten interessant, die für die Produktionsplanung eine wesentliche Herausforderung darstellen. Dabei betrifft die Erweiterungs- und Anpassungsflexibilität mit ihrem mittelfristigen Zeithorizont vor allem die taktische Produktionsplanung, die hier aber nicht weiter betrachtet werden soll. Im Mittelpunkt steht die operative Produktionsplanung, wo vor allem die Arbeitsvorbereitung durch die technische Prozessfolge- und Durchlaufflexibilität mit sich ändernden Arbeitsplänen konfrontiert ist. In Zusammenhang mit den im Abschnitt 3.3 erläuterten PPS-Systemen stellt sich dabei auch die Frage wie die Arbeitsplanflexibilität und Durchlaufflexibilität technisch im IT-System abgebildet und eingegliedert werden kann. Daneben stellt die Handhabung der hohen Variantenvielfalt, die aus der den Output determinierenden Produktflexibilität und der Marktflexibilität resultiert, eine weitere Herausforderung für die Produktionsplanung dar. Auf der Inputseite bedeutet eine hohe Materialflussflexibilität, dass viele unterschiedliche Eingangsmaterialien durch das Produktionssystem geschleust werden können.

<sup>346</sup> Quelle: in Anlehnung an Nyhuis/Wiendahl (2010)

Nachdem die betriebstypologischen Merkmale für ein flexibilitätsorientiertes Produktionssystem in der Prozessindustrie aus der Literatur abgeleitet wurden, kann die nachstehende Forschungsfrage als beantwortet betrachtet werden.

*„Welche betriebstypologischen Merkmale weist ein Produktionssystem in der flexibilitätsorientierten Prozessindustrie auf?“*

Ebenso wurden die Besonderheiten, die sich in der Prozessindustrie für die Produktionsplanung ergeben diskutiert. Damit wurde auch die folgende Forschungsfrage teilweise beantwortet:

*„Welche Planungsspezifika weist ein Produktionssystem in der flexibilitätsorientierten Prozessindustrie auf?“*

Im nächsten Kapitel werden die Planungsbesonderheiten in der flexibilitätsorientierten Prozessindustrie anhand eines Fallbeispiels weiter detailliert und konkretisiert, um die Forschungsfrage vollständig zu beantworten.

## 5 Konkretisierung der Planungsspezifika anhand eines Fallbeispiels

Die ausgearbeiteten Charakteristika eines flexibilitätsorientierten Produktionssystems in der Prozessindustrie werden in diesem Kapitel anhand eines Fallbeispiels validiert und weiter verfeinert. Konkret handelt es sich bei dem Fallbeispiel um die AMAG Rolling GmbH, ein Unternehmen der Austria Metall AG, einem Hersteller von Aluminium-Halbzeug und Gießereiprodukten für die weiterverarbeitende Industrie. Als Hersteller von Aluminium-Halbzeug eignet sich diese Fallbeispiel insbesondere für die Kernaufgabe dieser Arbeit, der Analyse eines flexibilitätsorientierten Produktionssystems in der Prozessindustrie, da der zugrundeliegende Werkstoff Aluminium als sehr duktil gilt. Unter Duktilität wird das Vermögen eines Werkstoffs zu bleibender Formänderung bezeichnet.<sup>347</sup> Somit beschreibt die Duktilität in gewissem Sinne die Flexibilität eines Werkstoffs. Diese besondere Eigenschaft des Werkstoffs Aluminium ermöglicht ein vielfältiges Maßschneidern durch die Werkstoffingenieure in der Technologie. Aus dem breiten Anwendungsspektrum ergibt sich die Notwendigkeit eines flexibilitätsorientierten Produktionssystems, das in der Lage ist dieses breite Verarbeitungsspektrum auch abzubilden. Im nächsten Abschnitt werden zunächst die für das Verständnis der weiteren Arbeit notwendigen Grundlagen zur Metall- und Aluminiumindustrie mit den Hauptproduktionsprozessen und charakteristischen Produktmerkmalen erläutert.

Auf Basis dieser erforderlichen Grundlagen erfolgt in Abschnitt 5.2 eine System- und Strukturanalyse des betrachteten Produktionssystems mit den in Abschnitt 3.1 beschriebenen grundlegenden System- und Strukturelementen. In Abschnitt 5.3 werden die Besonderheiten und spezifischen Anforderungen sowie Planungsspezifika anhand des Fallbeispiels weiter konkretisiert. Zum Abschluss erfolgt in Abschnitt 5.4 eine zusammenfassende Charakterisierung des Produktionssystems nach dem im vorigen Kapitel ausgearbeiteten morphologischen Merkmalschema. Neben der Validierung der Betriebstypologie wird damit in diesem Kapitel die folgende Forschungsfrage beantwortet:

*„Welche Planungsspezifika weist ein Produktionssystem in der flexibilitätsorientierten Prozessindustrie auf?“*

### 5.1 Aluminiumindustrie

Mit einem weltweiten Verbrauch an Primäraluminium von etwa 45 Millionen Tonnen im Jahr 2011 stellt die Aluminiumindustrie nach der Stahlindustrie die zweitgrößte Metallindustrie der Welt dar.<sup>348</sup> In diesem Abschnitt erfolgen die Einordnung der Aluminiumindustrie aus produktionstechnischer Sicht innerhalb der Metallindustrie, sowie eine Beschreibung der Eigenheiten und grundlegenden Begriffen in der Aluminiumindustrie. Die Charakteristika sollen zeigen, dass die werkstoffbedingten Besonderheiten aus der Aluminiumindustrie in ähnlicher Form auch für andere Unternehmen der Metallindustrie gelten. Insofern sollten die praktischen Ergebnisse dieser Arbeit auch für Unternehmen in der Prozessindustrie - insbesondere der Metallindustrie - mit ähnlicher Produktionstypologie und Flexibilitätsorientierung übertragbar sein.

---

<sup>347</sup> Vgl. Bergmann (2008), S. 199

<sup>348</sup> Vgl. AMAG Austria Metall AG (2012), S. 27

## Einordnung des Werkstoffs Aluminium

Als bedeutendste Gruppe innerhalb der Metalle gelten die Eisenwerkstoffe, die mit einer Weltjahresproduktion von über 1.5 Milliarden Tonnen (im Jahr 2011) mengenmäßig alle anderen metallischen Werkstoffe bei weitem übertreffen.<sup>349</sup> Die zweite Gruppe lässt sich unter dem Begriff Nichteisenmetalle zusammenfassen.<sup>350</sup> Die Gruppe der Nichteisenmetalle umfasst sehr viele Werkstoffe mit kleinen Jahresproduktionsmengen. Als mengenmäßig bedeutendstes und auch zukunftssträchtiges Nichteisenmetall, wird im folgenden Abschnitt der für das Fallbeispiel relevante Werkstoff für Aluminium mit seinen Besonderheiten in der Herstellung näher beschrieben. Beim Werkstoff Aluminium handelt es sich, wie aus Abbildung 42 hervorgeht, nicht um ein Nischenprodukt, das nur in geringen Mengen hergestellt und weiterverarbeitet wird. Damit macht es Sinn sich intensiv mit den produktionslogistischen Problemstellungen in diesem Industriezweig auseinanderzusetzen, die sich vor allem aus den technologischen Eigenschaften und Besonderheiten des Werkstoffes ergeben.

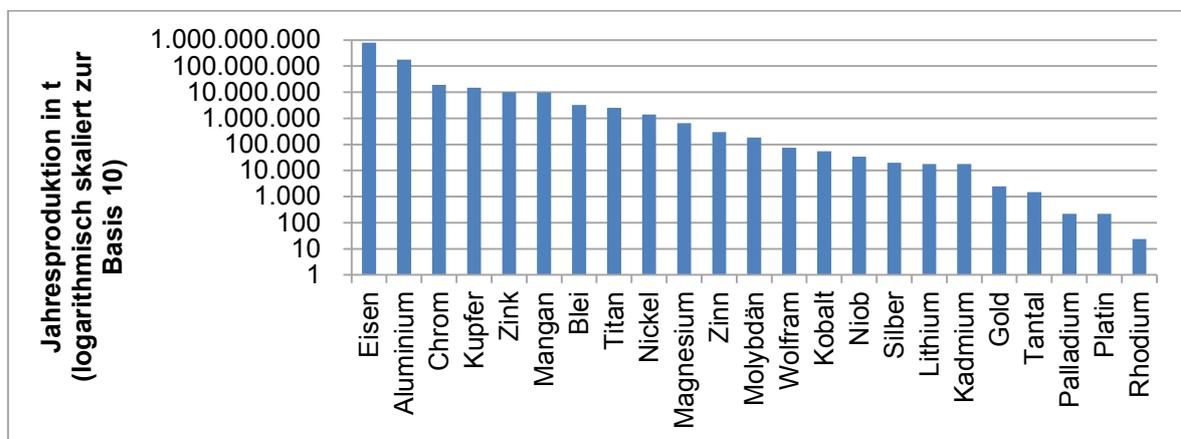


Abbildung 42: Weltweite Jahresproduktion von Metallen im Jahr 2005 in Tonnen<sup>351</sup>

## Technische Eigenschaften von Metallen

Die technischen Eigenschaften von Metallen werden vorwiegend durch die Eigenheiten des kristallinen Aufbaus der Metalle beeinflusst. Beispielsweise weist ein Werkstoff mit einem feinen Gefüge und kleinen Korngrößen höhere Festigkeitswerte und eine günstigere Dehnfähigkeit auf als Strukturen mit grober Körnung. Zur Steigerung der Festigkeitseigenschaften oder zur Verbesserung der weiteren Bearbeitbarkeit kann die Gefügestruktur durch nachträgliche Wärmebehandlungen beeinflusst werden. Aber auch eine umformende Bearbeitung, wie Walzen, unter Wärme oder das Zulegieren anderer Werkstoffe bewirken eine Veränderung der Werkstoffeigenschaften. Legierungen sind Mischungen zwischen Metallen oder auch Metallen mit Nichtmetallen, mit denen eine zielgerichtete Eigenschaftsverbesserung des Werkstoffes möglich ist. Für technische und industrielle Anwendungen werden daher in der Regel Legierungen reinen metallischen Werkstoffen vorgezogen, wodurch ein besseres Korrosionsverhalten, höhere Festigkeiten oder günstigere Härtewerte erreicht werden, und die Eigenschaften je nach Anwendung gezielt beeinflusst werden können.<sup>352</sup>

<sup>349</sup> Vgl. World Steel Association (2012), S. 7

<sup>350</sup> Vgl. Ruge/Wohlfahrt (2007), S. 131; zur Kennzeichnung der Nichteisenmetalle siehe DIN 17 007-4:63.

<sup>351</sup> Quelle: eigene Darstellung mit Daten aus BGR (2005), S. 3–25

<sup>352</sup> Vgl. Kalweit et al. (2006), S. 22

## Aluminiumlegierungen

Reinaluminium besitzt einen Reinheitsgrad zwischen 99 bis 99,99%, während Reinstaluminium einen Reinheitsgrad von 99,99% für Masseln und 99,98% für Halbzeug besitzt. Reines Aluminium ist ein weiches Metall mit geringer mechanischer Festigkeit, daher lässt es sich gut formen und in dünne Folien wälzen. Trotz der hohen Affinität gegenüber Sauerstoff ist Aluminium an der Luft sehr korrosionsbeständig, da sich innerhalb nur wenigen Sekunden an der Metalloberfläche eine dünne Oxidschutzschicht aufbaut. Die Oxidschicht kann durch eine entsprechende Oberflächenbehandlung mittels anodischer Oxidation verstärkt werden. Die Festigkeit lässt sich durch Legieren, Wärmebehandeln, Kaltverfestigen oder Kombinationen dieser Maßnahmen erhöhen, jedoch oft auf Kosten der Korrosionsbeständigkeit und einfacher Verarbeitbarkeit.<sup>353</sup> Die hohe Produktvielfalt von Aluminiumhalbzeug ergibt sich insbesondere aufgrund der vielfältigen Gebrauchs- und Verarbeitungseigenschaften, durch die sich Aluminium mit seinen Legierungen gegenüber anderen Gebrauchsmetallen auszeichnet.<sup>354</sup> Eine hohe Produktvielfalt mit unterschiedlichen Legierungen führt damit zu vielen unterschiedlichen Routen im Produktionssystem.

Da die Anzahl der technischen Aluminiumlegierungen sehr groß ist, werden diese meist in zwei große Gruppen nach folgenden Gesichtspunkten eingeteilt:<sup>355</sup>

- (1) Nach der Art der Verarbeitung
- (2) Nach der Festigkeitssteigerung

Nach der Art der Verarbeitung unterscheidet man zwischen Aluminium-Knetlegierungen und Aluminium-Gusslegierungen. Die ersteren finden in verformtem („geknetetem“) Zustand Verwendung, die letzteren in gegossenem Zustand. Mit Knetlegierungen wird Aluminiumhalbzeug hergestellt. Unter Halbzeuge sind Erzeugnisse zu verstehen, die durch Warm- und/oder Kaltumformen der Werkstoffe, wie Strangpressen, Schmieden, Ziehen Warm- und Kaltwalzen, in die jeweiligen Formen gebracht werden.<sup>356</sup> Gusslegierungen weichen zum Teil erheblich von denen der Knetlegierungen ab, da hier die Forderung nach brauchbaren Gießeigenschaften im Vordergrund steht.<sup>357</sup>

Die Untergliederung nach der Art der Verarbeitung findet sich auch in der DIN EN 1780-2 wieder, in der die Bezeichnung von Aluminium und Aluminiumlegierungen nach folgendem Aufbau erfolgt:<sup>358</sup>

- EN für Europäische Norm,
- A für Aluminium
- W für Halbzeug (Wrought Alloys)
- C für Gusswerkstoffe (Casting Alloys).

Danach folgt durch Bindestrich getrennt, die kennzeichnende chemische Zusammensetzung, wie dies in Abbildung 43 beispielhaft veranschaulicht ist.

---

<sup>353</sup> Vgl. Ruge/Wohlfahrt (2007), S. 132ff

<sup>354</sup> Vgl. Ostermann (2007), S. 2; Muster (2007), S. 10

<sup>355</sup> Vgl. Kanani (2006), S. 178f

<sup>356</sup> Vgl. Moeller (2008), S. 323

<sup>357</sup> Vgl. Ruge/Wohlfahrt (2007), S. 133,135

<sup>358</sup> Vgl. Hilbrans/Bargel (2009), S. 272f

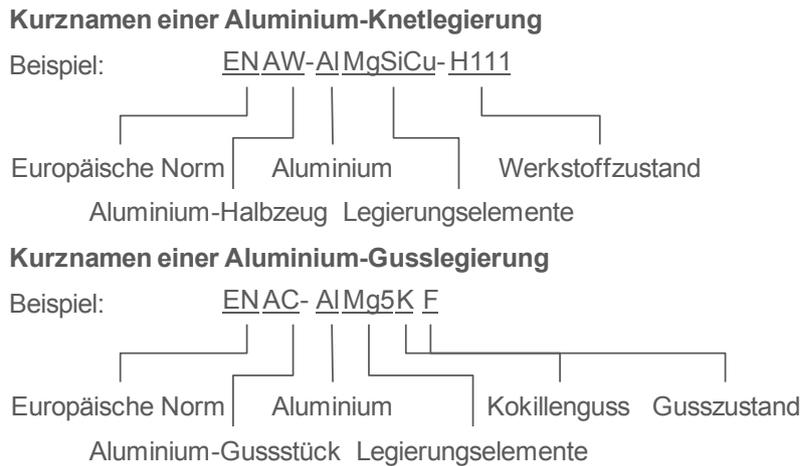


Abbildung 43: Bezeichnung von Aluminiumlegierungen<sup>359</sup>

Nach der Art der Festigkeitssteigerung wird zwischen aushärtbaren und nicht aushärtbaren Aluminiumlegierungen unterschieden. Bei aushärtbaren Legierungen kann die Festigkeit durch Wärmebehandlung (Aushärten) gesteigert werden. Dadurch kommen sie in den Festigkeitsbereich der unlegierten Stähle und ermöglichen Leichtbaukonstruktionen. Nicht alle Legierungen lassen sich jedoch Wärmebehandeln, um in den Festigkeitsbereich unlegierter Stähle zu kommen.<sup>360</sup>

Die in einem Aluminiumwalzwerk zur Anwendung kommenden Knetlegierungen sind in der DIN EN 573 genormt und lassen sich nach den Hauptlegierungselementen in acht Legierungsreihen klassifizieren. Die Legierungsreihen sind in Tabelle 17 gegliedert nach der DIN EN 573-3 mit der Anzahl der ursprünglichen zugehörigen Legierungen und den später hinzugekommenen Varianten dargestellt. Die Anzahl der Sorten erhöhte sich dabei ständig, weil zu den Originalsorten viele nationale Varianten und Legierungsabwandlungen mit teilweise nur geringen Unterschieden kommen. Insbesondere in der Luftfahrt werden zahlreiche Sorten nur in kleinen Mengen und für spezielle Anwendungen hergestellt.<sup>361</sup>

Tabelle 17: Gliederungen der Aluminiumlegierungen nach der DIN EN 573-3<sup>362</sup>

Legierungsreihe	Hauptelement	Weitere Elemente	Original Sortenanzahl (gesamt mit Varianten)	Aushärten
1xxx	Al	Reinheit > 99%	7 (17)	nicht aushärtbar
2xxx	Cu	Mg, Mn, Bi, Pb, Si	10 (17)	aushärtbar
3xxx	Mn	Mg, Cu	5 (15)	nicht aushärtbar
4xxx	Si	Mg, Bi, Fe, CuNi	10 (14)	nicht aushärtbar
5xxx	Mg	Mn, (Cr, Zr)	14 (54)	nicht aushärtbar
6xxx	MgSi	Mn, Cu, Pb	13 (33)	aushärtbar
7xxx	Zn	Mg, Cu, Ag, Zr	26 (27)	aushärtbar
8xxx	Sonstige	Fe, FeSi, FeSiCu	8 (13)	nicht aushärtbar

<sup>359</sup> Quelle: in Anlehnung an Kalweit et al. (2006), S. 36

<sup>360</sup> Vgl. Ruge/Wohlfahrt (2007), S. 132ff

<sup>361</sup> Vgl. Weißbach (2007), S. 207

<sup>362</sup> Quelle: in Anlehnung an Weißbach (2007), S. 207

### Walzwerk

Das gängige Verfahren zur Herstellung von Aluminiumhalbzeug, wie Bändern, Blechen und Platten, ist das Walzen. Um zu einem gebrauchstauglichen Endprodukt zu werden, müssen fast alle gewalzten Flachprodukte auch durch weitere Trenn-, Umform-, Füge- und Oberflächenbehandlungsverfahren bearbeitet werden. Dabei spielen die Werkstoffeigenschaften eine wesentliche Rolle, die maßgeblich durch den Walzprozess beeinflusst werden. In einem Walzwerk sind somit neben den eigentlichen Warm- und Kaltwalzgerüsten zahlreiche weitere Anlagen erforderlich. In der Regel besteht ein Walzwerk auch aus einer Gießerei für Strangguss-Walzbarren, Barrensägen und –fräsen zum Besäumen der Walzbarren und zum Entfernen der Gusschale, Öfen zum Homogenisieren der Gussblöcke und zum Anwärmen auf Walztemperatur, Schopfscheren, Kastenöfen zur Wärmebehandlung von Coils oder Durchlauföfen zum Wärmebehandeln von Walzbändern sowie weiteren Adjustageeinrichtungen, Bandrekanlagen, Richt-, Längs- und Querteilanlagen.<sup>363</sup> Die flachgewalzten Erzeugnisse mit rechteckigem Querschnitt werden nach der Dicke wie folgt unterschieden:<sup>364</sup>

- **Platte:** Walzerzeugnis mit einer Dicke von 6 mm oder mehr, das in den USA mit einer Dicke von mindestens 0,25 Inch, d.h. 6,3 mm, als „plate“ bezeichnet wird.
- **Blech:** Walzerzeugnis mit einer Dicke von weniger als 6 mm und nicht weniger als 2 mm, das in den USA mit weniger als 0,25 Inch, d.h. 6,3 mm, als „sheet“ bezeichnet wird. Zwischen 3 mm und 6 mm Dicke spricht man auch von „shate“. Als Bleche werden nur Walzerzeugnisse in gestreckter Länge bezeichnet. Für Walzerzeugnisse in Bunden (engl. coil) wird die Bezeichnung „Band“ verwendet.
- **Folie:** Flachgewaltes Erzeugnis mit einer Dicke kleiner oder gleich 0,2 mm, das im oberen Dickenbereich auch als Dünnband bezeichnet wird und in den USA als „foil“.

### Walzen

Beim Walzen, als wichtigstes Verfahren der plastischen Verformung, unterscheidet man zwischen Kalt- und Warmverformung, wobei letzteres eine Kombination aus Umformen und Wärmebehandlung ist. Aufgrund einer Änderung des Gefügebauaufbaues ändern sich beim Walzvorgang die mechanischen, physikalischen und chemischen Eigenschaften des Aluminiumwerkstoffs. Insbesondere bei kaltverformten Legierungen erfolgt eine Verfestigung, d.h. eine Zunahme der Zugfestigkeit und eine Abnahme der Bruchdehnung.<sup>365</sup> Aus diesen Gründen wird ein Walzwerk auch wenn die Hauptaufgabe eine Stoffumformung ist zur stoffumwandelnden Prozessindustrie gezählt.

### Warmwalzen

Der Aufbau einer Warmwalzstrecke zusammen mit den zusätzlich benötigten Anlagen ist mit einem hohen Investitionsaufwand verbunden und bringt eine sehr hohe Produktionskapazität von beispielsweise 800.000 Jahrestonnen. Moderne Großwalzwerke können Barren mit Gewichten bis über 30 Tonnen, 8700 mm Länge, 2200 mm Breite und bis zu 600 mm Dicke verarbeiten. Eine größere Barrendicke wäre zwar möglich, würde aber zu ungünstigen Gefügequalitäten führen. Üblicherweise wird die erste Warmwalzstufe in einem reversierenden

---

<sup>363</sup> Vgl. Ostermann (2007), S. 423

<sup>364</sup> Vgl. Gesamtverband der Aluminiumindustrie e.V. (2008), S. 7ff; The Aluminum Association (2007), S. 4

<sup>365</sup> Vgl. Schneider et al. (2002), S. 14f

Vorwalzgerüst (Warmwalzduo oder -quarto, auch Breakdown-Gerüst genannt) vorgenommen. Dabei wird die Walzrichtung nach jedem Stich umgekehrt, bis die Plattenenddicke oder Warmbandenddicke erreicht wird. Die Warmwalzstichabnahmen können bis zu 30 mm betragen.<sup>366</sup> In Abbildung 44 ist eine Warmwalzstrecke für ein Bandwalzwerk dargestellt, bei dem nach einem reversierenden Warmquartowalzgerüst eine dreigerüstige Tandemwalzstrecke folgt.

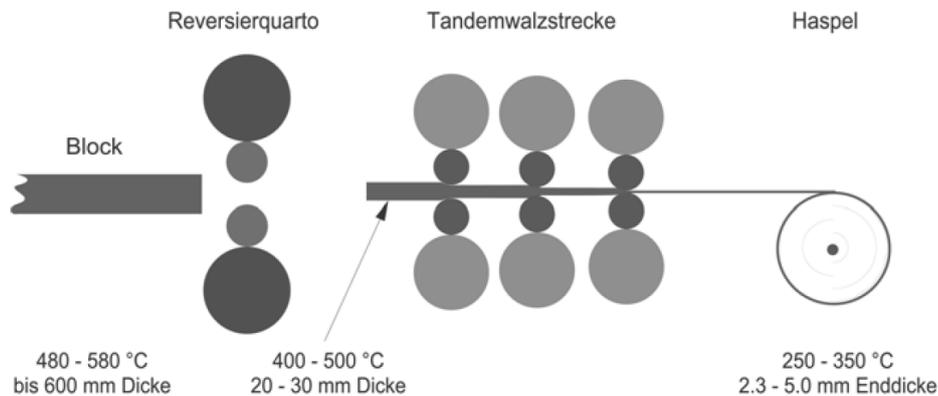


Abbildung 44: Warmwalzstrecke für ein Bandwalzwerk<sup>367</sup>

### Kaltwalzen

Das Warmwalzband bildet das Ausgangsmaterial für das Kaltwalzen, bei dem meist ebenfalls mit Quarto-Gerüsten auf eine gewünschte Dicke zwischen 0,6 und 1,5 mm gewalzt wird. Beim Feinwalzen werden darauf in weiteren Arbeitsgängen entweder in mehreren aufeinander folgenden Quarto-Walzgerüsten oder mehrere Arbeitsgänge auf einem einzigen Gerüst hintereinander mehrere dünne Bänder und Folien gewalzt. Da jede mechanische Verformung und besonders das Abwalzen von Aluminiumfolien in mehreren Walzdurchgängen eine wesentliche Verfestigung mit sich bringt, können die harten Folien, je nach Legierung, wieder durch Weichglühen in einen weichen Zustand zurückgeführt werden. Dabei sind durch geeignete Walz- und Glühprogramme unterschiedliche Abstufungen zu erreichen, die als halbhart und viertelhart bezeichnet werden.<sup>368</sup>

### Oberflächenbeschichtete Walzfabrikate

Durch Oberflächenbehandlungsverfahren, wie beispielsweise durch anodischer Oxidation (Anodisieren bzw. Eloxieren), lassen sich Aluminiumerzeugnisse mit dekorativen und technisch funktionalen Oberflächen versehen. Diese Verfahren werden besonders bei kaltgewalzten Bänderzeugnissen angewandt, da sich die Bandbeschichtung gegenüber der Stückbeschichtung vor allem im wirtschaftlich arbeitenden und wasserarmen Banddurchlaufverfahren vorteilhaft zeigt. Das Bandmaterial erhält dabei eine gleichmäßige Oberfläche mit definierten Eigenschaften, welche die Voraussetzung für die Haftung organischer Beschichtungen, wie Lacke und Klebstoffe, schaffen und dadurch die mechanische und chemische Resistenz erhöhen.<sup>369</sup>

<sup>366</sup> Vgl. Ostermann (2007), S. 423f

<sup>367</sup> Quelle: Ostermann (2007), S. 424

<sup>368</sup> Vgl. Kaßmann (2011), S. 43

<sup>369</sup> Vgl. Ostermann (2007), S. 431

## Walzplattiertes Halbzeug

Wird ein Grundwerkstoff einseitig oder beidseitig mit einem Plattierwerkstoff gemeinsam in der Warmwalzstrecke abgewalzt, spricht man von walzplattiertem Halbzeug. Die Dicke der Plattierung beträgt dabei ca. drei bis sieben Prozent der Dicke des Grundwerkstoffs. Als Plattierwerkstoffe kommen entweder reine, unlegierte Aluminiumqualitäten oder Legierung zur Anwendung, die einen Korrosionsschutz des Kernwerkstoffs bewirken sollen oder den Kernwerkstoff mit einer Lotplattierung versehen sollen. Eine Korrosionsschutzschicht ist zum Beispiel bei kupferhaltigen, hochfesten Luftfahrtblechen notwendig. Lotplattierte Verbundhalbzeug werden vor allem bei der Herstellung von Wärmetauschern, speziell von Wasser- und Ölkühlern für die Automobilindustrie verwendet.<sup>370</sup>

## 5.2 Systemorientierte Betrachtung des Produktionssystems

In diesem Abschnitt wird das Produktionssystem des Fallbeispiels aus systemorientierter Sicht beschrieben.

### 5.2.1 Die Wertschöpfungskette in der Aluminiumindustrie

Die AMAG Austria Metall AG ist ein global agierender Produzent von Primäraluminium und hochqualitativen Aluminiumguss- und –walzprodukten, die in verschiedensten Industrien wie der Flugzeug-, Automobil-, Sportartikel-, Beleuchtungs-, Maschinenbau-, Bau- und Verpackungsindustrie eingesetzt werden. Das Portfolio der AMAG umfasst entlang der in Abbildung 45 dargestellten Wertschöpfungskette Primäraluminium, Recycling-Gusslegierungen und Walzprodukte.

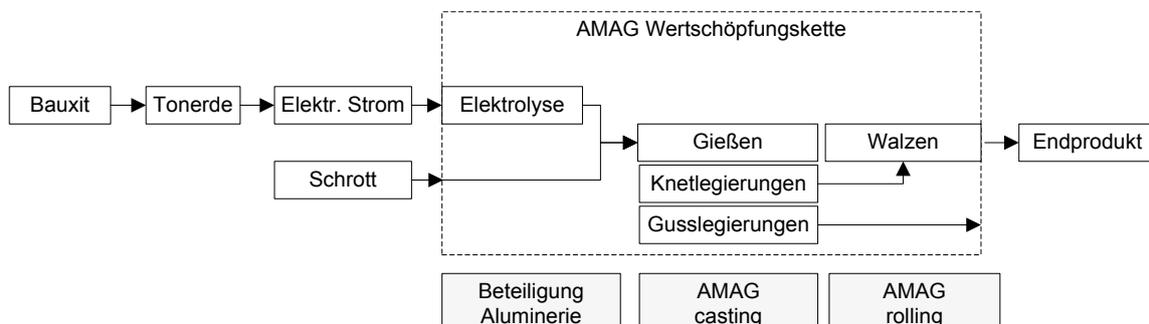


Abbildung 45: Wertschöpfungskette der AMAG Gruppe<sup>371</sup>

Die gesamte AMAG Gruppe mit Hauptsitz in Ranshofen und Produktionsstandorten in Sept-Îles, Quebec, Kanada, ist in 4 Segmente untergliedert:<sup>372</sup>

- (1) *Segment Metall*: Das Segment Metall ist vor allem für die Steuerung der Metallströme, das Management zur Beteiligung an einer Aluminerie in Kanada und die Absicherung der operativen Gesellschaften gegen das Aluminiumpreisrisiko sowie dem damit einhergehenden Währungsrisiko zuständig.

<sup>370</sup> Vgl. Ostermann (2007), S. 432

<sup>371</sup> Quelle: in Anlehnung an AMAG rolling GmbH (2010), S. 4

<sup>372</sup> Vgl. AMAG Austria Metall AG (2012), S. 8

- (2) *Segment Gießen*: Im Segment Gießen werden hochwertige Recycling-Gusslegierungen in Form von Masseln, Sows und Flüssigmetall für die Automobilindustrie, den Maschinenbau und die Elektronikindustrie hergestellt.
- (3) *Segment Walzen*: Das Segment Walzen ist auf Premiumprodukte für ausgewählte Marktnischen fokussiert mit einem Absatzvolumen von 146.800t. Die hochwertigen Aluminiumwalzprodukte werden in Form von Blechen, Bändern und Platten hergestellt und zeichnen sich je nach Kundenwunsch durch perfekte Oberfläche, höchste Festigkeit und beste Umformbarkeit aus.
- (4) *Segment Service*: Das Segment Service ist zuständig für Dienste wie das Gebäude- und Flächenmanagement, die Energieversorgung, die Entsorgung von Abfallstoffen und allgemeine Werksdienste.

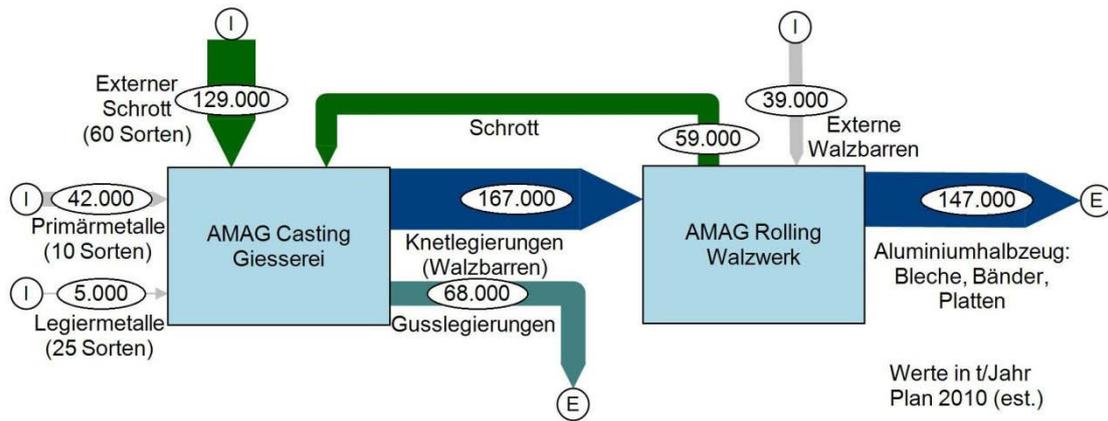
### 5.2.2 Unternehmens- und Systemübersicht

Abgeleitet aus der Unternehmensstrategie des Konzerns positioniert sich die AMAG rolling mit einer Vielfalt an Premium-Walzprodukten, einem hohen Maß an Produktionsflexibilität und Innovationskraft als Spezialist von Aluminium-Halbzeug in ausgewählten Produktmärkten. Die hohe Flexibilität wird durch die hohe Kompetenzdichte am integrierten Standort in Ranshofen ermöglicht, durch die Innovationsprojekte gemeinsam mit Kunden in kürzest möglicher Zeit abgewickelt und auch laufend neue Spezialprodukte entwickelt werden. Das Walzwerk der AMAG ist daher als das einzige Unternehmen weltweit in der Lage, alle Aluminiumlegierungsfamilien von AA1xxx bis AA8xxx an einem Standort in über 100 verschiedenen Legierungen herzustellen und weiterzuverarbeiten.<sup>373</sup>

Im Mittelpunkt dieser Arbeit steht das flexibilitätsorientierte Walzwerk der AMAG rolling GmbH, das zunächst aus einer groben Input-Output-Sicht beschrieben wird. Abbildung 46 gibt einen Überblick über den Stofffluss des Walzwerks in Ranshofen und die Eingliederung in die Wertschöpfungskette. Die Zahlen geben die Materialflüsse in Tonnen mit den geschätzten Werten für das Jahr 2010 wieder. Den Ausgangspunkt bildet die Gießerei, die den größten Teil der benötigten Rohstoffe als externen Schrott bezieht, und sowohl Knet- als auch Gusslegierungen produziert. Als einziger Abnehmer der Knetlegierungen liefert das angeschlossene Walzwerk einen Teil des anfallenden Ausschuss zurück in die Gießerei, und bezieht einen Teil der benötigten Walzbarren auch von externen Lieferanten. Als Endprodukte wird Aluminiumhalbzeug in Form von kundenindividuellen Blechen, Bändern oder Platten in unterschiedlichen Legierungszusammensetzungen, Zuständen, Qualitäten und Oberflächen geliefert. Aus Abbildung 46 sind die für die Prozessindustrie typischen Merkmale wie divergierende Produktstruktur, Materialflüsse mit Schleifen sowie hohe Auflagengröße, zumindest in der Gießerei, ersichtlich. Im Folgenden werden diese Eigenheiten der Prozessindustrie, welche teilweise bereits in Abschnitt 4.2 dargelegt wurden, vor allem unter dem Aspekt der Flexibilität anhand des Fallbeispiels näher erläutert.

---

<sup>373</sup> Vgl. AMAG Austria Metall AG (2012), S. 26



4 Anlagen  
3 Gießverfahren  
ca. 100 lfd. Prozessaufträge  
ca. 4 Güsse je Anlage / Tag  
ca. 30t-60t / Guss  
ca. 500t / Tag

100 Grundwerkstoffe  
135 Werkstoffkombinationen  
(inkl. Plattierungen)  
550 Barrentypen (430 aktiv)  
(Werkstoff, Dimension,  
Technologie)  
ca. 8,25t / Barren

70 Einzelanlagen  
ca. 32.000  
Fertigungsaufträge/Jahr  
ca. 2.000 lfd.  
Fertigungsaufträge

5.000 Materialien  
8.000 Kundenspezifikationen  
21.000 Kundenauftragspos.  
400 Kunden  
600 Warenempfänger

Abbildung 46: Materialflussübersicht des integrierten flexibilitätsorientierten Walzwerks

### 5.2.3 Produktstruktur

Die Produktstruktur im Walzwerk ist im Gegensatz zur diskreten Fertigungsindustrie relativ einfach. Als Komponente geht in ein Endprodukt ein Walzbarren ein. Allerdings gibt es auch den Sonderfall von plattiertem Aluminiumhalbzeug, bei dem zuerst ein plattierter Walzbarren durch Walzplattieren hergestellt werden muss. Die Ausgangskomponenten für einen plattierten Walzbarren sind ein Walzbarren als Kernmaterial und Aluminiumhalbzeug, in Form einer Platte bzw. einer sogenannten Plattierschablone, die als Plattierwerkstoff dient. Dadurch ergibt sich eine Schleife innerhalb der Produktion, da der Plattierwerkstoff bereits einmal den Produktionsprozess durchlaufen muss. Das Ergebnis ist wie bereits erläutert ein Blech mit einer definierten Legierungsänderung über die Dicke. In Abbildung 47 sind diese Produktstrukturen anhand einer Strukturstückliste dargestellt.

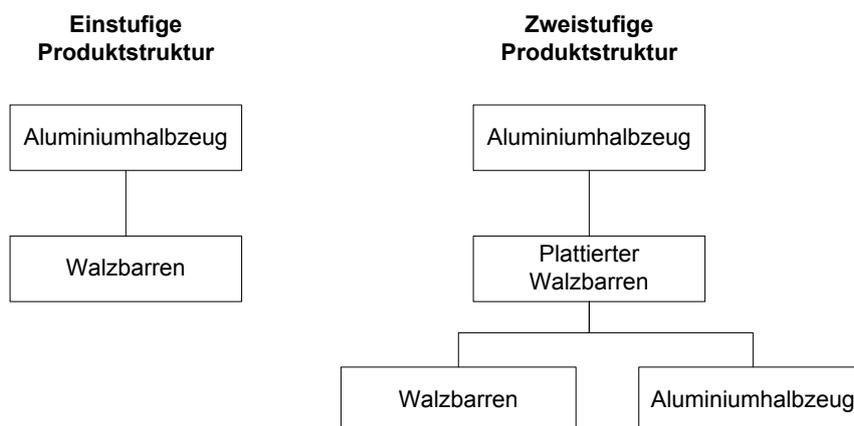


Abbildung 47: Produktstruktur Aluminiumhalbzeug

### 5.2.4 Walzbarrenproduktion und Gießerei

Voraussetzung für die hohe Produktvielfalt und ein flexibles Reagieren auf Kundenwünsche ist ein optimales Zusammenspiel mit der vorgelagerten Walzbarrengießerei der AMAG, welche mit kurzen Reaktionszeiten Speziallegierungen speziell zugeschnitten auf die Anforderungen der Kunden herstellt. Als Vormaterial für den Walzprozess werden durch unterschiedliche Gießverfahren Walzbarren aus unterschiedlichen Legierungen und mit unterschiedlichen Dimensionen hergestellt. Die Produktpalette umfasst dabei mehr als 600 verschiedene Legierungsvarianten. Die erforderliche Gießtechnologie kann im elektromagnetischen Gießverfahren (EMC), Low-Head Composite-Gießverfahren (LHC) und auch konventionell umgesetzt werden. Damit schafft die Gießerei die metallurgische Basis und Voraussetzung für die technologische Weiterentwicklung des Walzwerks.<sup>374</sup>

Abgeleitet aus dem Ziel einen geschlossenen Materialkreislauf herzustellen und eine führende Position als Aluminiumrecyclingunternehmen einzunehmen, orientiert sich bereits die Beschaffung der Schrotte an den speziellen Anforderungen der gewünschten Legierungen und Legierungsvarianten. Im Vergleich zur Herstellung von Primäraluminium mit einem Energieverbrauch von ca. 14 MWh/t werden beim Recycling von Aluminiumlegierungen nur mehr 5 Prozent des ursprünglichen Energieeinsatzes für die Primärerzeugung benötigt.<sup>375</sup> Voraussetzung für diese nachhaltige Produktion ist die sorgfältige Trennung und Aufbereitung der Schrotte. Die AMAG ist dabei in der Lage alle Aluminiumschrotte der Kunden logistisch zu übernehmen und aufzubereiten. Aus den unterschiedlichen Legierungsvarianten ergeben sich ca. 60 unterschiedliche Schrottsorten, die von externen Lieferanten geliefert werden, aber auch als Kuppelprodukt in der Produktion im Walzwerk anfallen und sortenrein zurück an die Gießerei gehen.

Als typischer Vertreter der Prozessindustrie zeichnet sich die Gießerei durch technologisch bedingte große Lose bzw. Batchgrößen aus. Die vier Gießaggregate haben eine Kapazität von ca. 30-60t je Guss, wobei eine Anlage ca. vier Güsse am Tag herstellen kann. Die Verwaltung der Fertigungsaufträge erfolgt durch prozessor-orientierte Stammdaten wie Prozessaufträge mit Rezepten und Phasen anstatt von Arbeitsplänen und Vorgängen. Die Anzahl der zu disponierenden Prozessaufträge ist mit ca. 100 laufenden Prozessaufträgen in der Gießerei überschaubar.

Die unterschiedlichen Legierungsfamilien werden in einer für die Prozessindustrie typischen Kampagnenfertigung hergestellt. Gießzyklen richten sich dabei vor allem nach dem Legierungsgehalt, aber auch nach den unterschiedlichen Formaten der Walzbarren, die jeweils mit einem Umbauen der Anlage verbunden sind. Nach dem Guss einer hochlegierten Aluminiumlegierung kann nicht direkt danach eine Legierung mit wenigen oder bestimmten anderen Legierungselementen hergestellt werden, da in den Schmelzöfen immer eine bestimmte Restmenge der vorhergehenden Charge überbleibt. In diesem Fall wären sogenannte teure Reinigungschargen mit Reinaluminium notwendig. Zur Optimierung der Anlagenauslastung entstehen somit Gießwellen, die stark vereinfacht in Abbildung 48 dargestellt sind. Die durchschnittliche rüstopoptimale Dauer eines Gießzyklus beträgt rund zwei bis drei Wochen, d.h. eine bestimmte Legierungsgruppe kann ohne teures und zeitaufwändiges Rüsten nur alle zwei bis drei Wochen produziert werden.

---

<sup>374</sup> Vgl. AMAG Austria Metall AG (2008), S. 9

<sup>375</sup> Vgl. AMAG Austria Metall AG (2011), S. 11

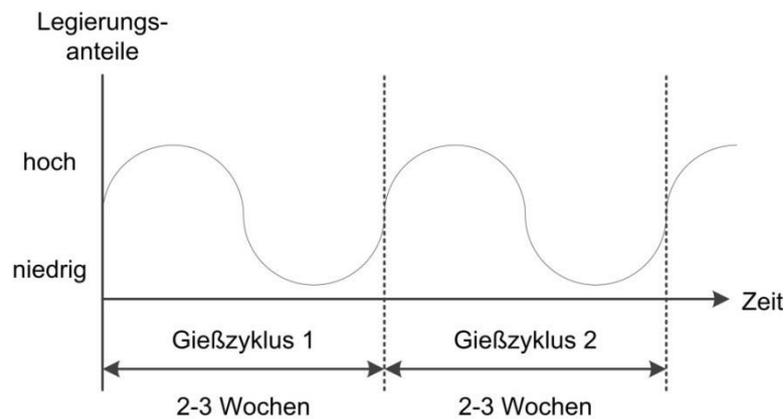


Abbildung 48: Gießwellen

Im Jahr 2011 wurden rund 76.700t Gusslegierungen direkt von der Gießerei an externe Kunden geliefert. Von den Gusslegierungen werden ca. 65-70 Prozent in die Automobilindustrie unter anderem für Motorblöcke, Kurbelgehäuse und Zylinderköpfe abgesetzt. Der größere Anteil an Output in Form von Walzbarren wird als Knetlegierung an das angeschlossene Walzwerk geliefert. Im Jahr 2010 ergaben sich ca. 550 unterschiedliche Walzbarrentypen, die sich in Legierung, Dimension oder Herstellungstechnologie unterscheiden. Die Walzbarren für das angeschlossene Walzwerk weisen folgende Dimensionen auf:

- Maximale Barrenbreite: 1680mm
- Maximale Barrenlänge: 7200mm
- Maximale Barrendicke: 600mm
- Maximale Endbreite: 1600mm

## 5.3 Spezifika des flexibilitätsorientierten Produktionssystem

### 5.3.1 Variantenkonfiguration

Flexibilitätsorientierte Produktionssysteme, wie das betrachtete Walzwerk, zeichnen sich durch eine hohe Vielfalt an unterschiedlichen kundenindividuellen Produkten aus. Die damit verbundenen großen Datenmengen und der daraus resultierende Steuerungsbedarf führten zur Entwicklung von IT-basierten Variantenkonfiguratoren.

Im lateinischen Ursprung bedeutet der Begriff Konfiguration Zusammensetzung oder Anordnung. Im Zusammenhang mit der Produktion versteht man darunter ein softwaretechnisches Hilfsmittel zur individuellen Zusammenstellung eines Produktes bzw. eines Auftrages nach Anforderungen des Kunden. Dabei zeigt der Konfigurator alle zugelassenen Kombinationsmöglichkeiten von Produkten nach baulichen und funktionsorientierten Kriterien.<sup>376</sup>

Betrachten wir hierzu das Beispiel aus der Aluminiumhalberzeugung. Bei einem Aluminiumhalbzeug handelt es sich auf den ersten Blick vielleicht nicht um ein komplexes Produkt. Betrachtet man das Produkt näher, ergeben sich für einen Käufer von Aluminiumhalbzeug eine Fülle von Fragen bezüglich Legierung, Plattierung, Markierung,

<sup>376</sup> Vgl. Feldmann et al. (2003), S. 159

Dimensionen wie Länge, Breite und insbesondere Dicke sowie Zustand, Oberfläche und Qualitätsgrad, die beantwortet werden müssen. Die Frage nach der Legierung ergibt dabei noch weitere Fragen bezüglich der vom Kunden gewünschten mechanischen Eigenschaften wie Korrosionsbeständigkeit, Festigkeit und Umformbarkeit, um nur einige der typischen Werkstoffeigenschaften zu nennen. Die Frage nach der richtigen Legierung und Spezifikation der geforderten Produktmerkmale ist dabei die Aufgabe des Vertriebs und kann mithilfe eines Produktkonfigurators erfolgen.

Ein Produktkonfigurator kann als regelbasiertes System verstanden werden, mit dem das Expertenwissen des Kundenberaters abgebildet wird. Unter Verwendung eines Produktkonfigurators kann der Kunde ein variantenreiches Produkt nach seinen Vorstellungen zusammenstellen, wobei automatisch Kompatibilitätsprüfungen durchgeführt werden. Damit dient dieser als Bindeglied zwischen den CRM-Systemen des Vertriebs und den ERP- bzw. SCM-Systemen für die weitere Auftragsabwicklung.<sup>377</sup>

Aus produktionslogistischer Sicht ergibt sich durch die Produktvarianten die Notwendigkeit, in den jeweiligen Wertschöpfungsstufen Ressourcen bereitzuhalten, und die einzelnen Varianten entsprechend ihrer individuellen Route durch das System steuern zu müssen. Beispielsweise ergibt sich ein erhöhter Ressourcenbedarf durch das Lagern bzw. Beschaffen verschiedener Rohteile oder durch den Umstand, dass unterschiedliche Werkzeuge vorzuhalten sind. Komplexe Produkte können einen höheren Steuerungs- oder Regelaufwand aufweisen und erfordern variantenspezifische Qualifikationen des Personals, die sich aufgrund einer variantenspezifischen Disposition der unterschiedlichen Ressourcen sowie der zugehörigen Dokumente und Bauteile ergibt. Je früher in der Wertschöpfungskette die Aufspaltung in Varianten erfolgt, desto höher wird der Aufwand sein, da je nach Entstehungszeitpunkt der Varianten unterschiedlich lange bzw. oft Ressourcen bereitgehalten werden müssen. Aus dem unterschiedlich hohen Aufwand für die Durchsteuerung der Varianten ist die bekannte strategische Regel entstanden, dass Varianten möglichst erst am Ende der Wertschöpfungskette gebildet werden sollen.<sup>378</sup>

Vor diesem Hintergrund wurden in der Literatur zahlreiche Ansätze im Gebiet des Variantenmanagements entwickelt, die jedoch meist für die diskrete Fertigung und hier vor allem für die Automobilzulieferindustrie gelten. Für die Prozessindustrie sind diese Ansätze nur teilweise anwendbar. Als konkrete Maßnahmen aus dem Variantenmanagement finden sich bei Franke beispielsweise folgende Einzelregeln:<sup>379</sup>

- Für verschiedene Varianten, wenn möglich, gleiche Rohteile verwenden
- Weitgehend nichtindividuelle Vormaterialien verwenden, wie beispielsweise Standardhalbzeuge
- Gleiche Werkzeuge für verschiedene Varianten
- Weniger verschiedene Teile durch Überdimensionierung oder Multifunktionalität
- Varianten erst durch Anbauteile in der Endmontage erzeugen
- Varianz nur durch zu montierende Zulieferkomponenten erreichen

---

<sup>377</sup> Vgl. Hippner/Wilde (2004), S. 437

<sup>378</sup> Vgl. Franke (2002), S. 15

<sup>379</sup> Vgl. Franke (2002), S. 16

Aufgrund der einfachen Produktstruktur ohne viele Komponenten und Bauteile sind die meisten dieser Ansätze für das Fallbeispiel nicht anwendbar. In Bezug auf das Produktmerkmal Legierung ergeben sich die Produktvarianten bereits zu Beginn der Produktion, da die Legierung des Walzbarrens bereits in der Gießerei determiniert wird. Berücksichtigt man bei den Walzbarren auch noch die optimale Ausbringungsmenge, werden auch bereits die Walzbarrenformate durch die vom Kunden gewünschten Enddimensionen festgelegt. Diese Zusammenhänge sind am Beispiel eines Walzwerkes in Abbildung 49 wiedergegeben. Ausgehend von den Kundenanforderungen an das Endprodukt werden die Produktmerkmale gegebenenfalls mithilfe eines Produktkonfigurators abgeleitet. Die Merkmale des Endproduktes bestimmen wiederum eindeutig die Anforderungen und somit die Merkmale des einzusetzenden Walzbarrens.

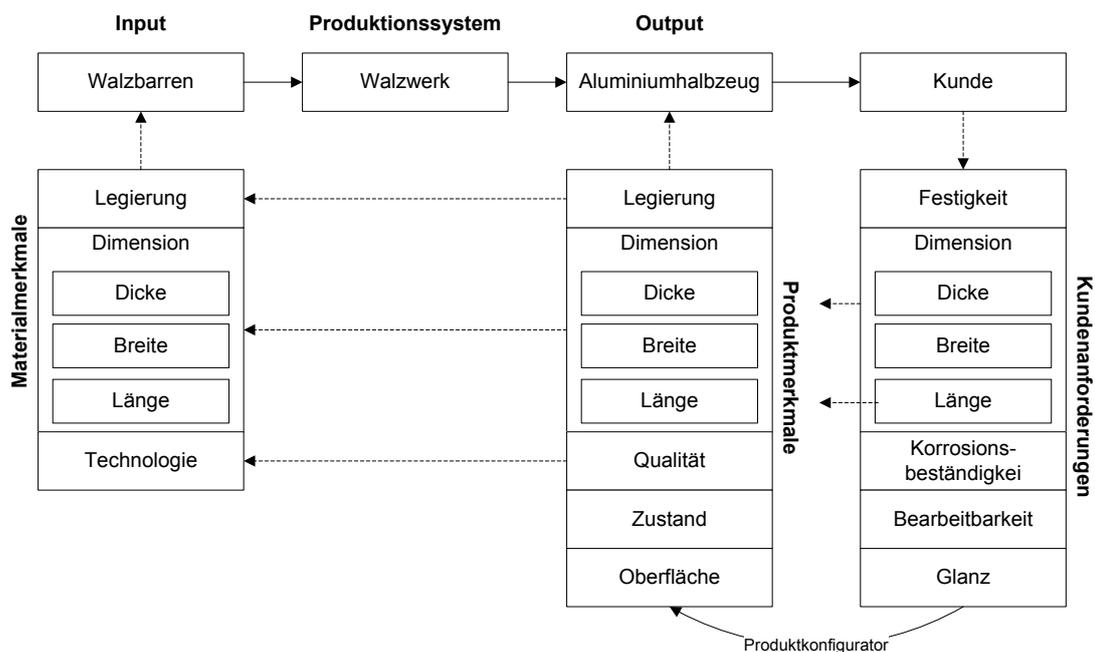


Abbildung 49: Produktkonfiguration in einem Walzwerk

### 5.3.2 Produktvielfalt

Die Vielfalt an möglichen Materialien auf der Eingangsseite, die sich direkt aus den Produkten auf der Ausgangsseite ergibt, resultiert aus den kombinatorischen Möglichkeiten der jeweiligen Merkmale. Output als gewalztes Aluminiumhalbzeug in Form von Platten, Blechen und Bändern lässt sich somit als Enderzeugnis  $O_j$  darstellen, das sich durch die kundenspezifischen Produktmerkmale  $X_i$  voneinander unterscheidet. Die maximal mögliche Anzahl an Produkten ergibt sich durch das Produkt von  $n_1 \times n_2 \times \dots \times n_i$  wobei  $n_i$  die Anzahl der möglichen Werte des Produktmerkmals  $X_i$  darstellt. Auch wenn nicht alle dieser Kombinationen technisch umsetzbar sind, vermittelt dieser theoretische Wert einen Eindruck über die Variantenvielfalt für ein zunächst einfach erscheinendes Produkt. Die wichtigsten Merkmale zusammen mit der Anzahl der möglichen Werte sind für das Fallbeispiel in Tabelle 18 aufgelistet. Zusätzlich zu den obigen Merkmalen enthält die Übersicht auch noch das Merkmal Markierung, das ein bestimmtes Muster speziell für Trittleche darstellt. Aufgrund der damit verbundenen eigens benötigten Markierwalzen spielt dieses Merkmal auch eine wesentliche Rolle für die weitere Arbeit.

Tabelle 18: Merkmale für die Produktkonfiguration

Produktmerkmal $X_i$	Beschreibung	Anzahl möglicher Werte $n_i$
$X_1$	Legierung	> 100
$X_2$	Zustand	> 20
$X_3$	Dicke	0,3 - 130mm
$X_4$	Breite	< 1600 mm
$X_5$	Gewicht	< 8t
$X_6$	Markierung	5
$X_7$	Oberfläche	> 45
$X_8$	Qualitätsgrad	> 30
...	...	...

Abbildung 50 und die darauffolgende Auflistung der zugehörigen Merkmalsausprägungen gibt einen Einblick in das breite Produktspektrum eines flexibilitätsorientierten Aluminiumwalzwerks auf einer Ebene, die etwa der strategischen Geschäftsfelder entspricht (SGF). Ein strategisches Geschäftsfeld dient im strategischen Management der außenbezogenen Abgrenzung des relevanten Marktes, während die organisatorische Abgrenzung von strategischen Geschäftseinheiten (SGE) innerhalb des Unternehmens durchzuführen ist. Eine SGE kann als Subsystem eines Unternehmens gesehen werden, das sich auf die Bearbeitung einer bestimmten SGF spezialisiert hat. In Abhängigkeit von der Unternehmensumwelt und des Unternehmens steht der Begriff SGE für unterschiedliche Variablen wie beispielsweise:

- Produkte, Produktgruppen
- Kunden, Abnehmerindustrien
- Vertriebswege, Gebiete, Regionen
- Technologien, Anwendungsgebiete

Bei einer SGE handelt es sich somit um eine Produkt-Marktkombination, die möglichst präzise von den anderen SGEs abgegrenzt werden kann.<sup>380</sup> Wie in Tabelle 19 dargestellt eignet sich die SGE mit ihrer binnenorientierten Bildung organisatorischer Einheiten im Vergleich zur SGF besser als Betrachtungsobjekt und Merkmal für die Analyse der Produktion. Sofern es keine weitere Unterteilung der SGEs in SGFs gibt, finden sich in Abbildung 50 einerseits SGFs aber auch SGEs oder Mischformen.

Tabelle 19: Unterschiede zwischen SGF und SGE<sup>381</sup>

Kriterien	SGF	SGE
Orientierungsrichtung	Umweltorientierung	Binnenorientierung
Anlass der Differenzierung	Marktsegmentierung	Bildung organisatorischer Einheiten
Ursachen für die Bildung	Gezielte Marktbearbeitung Reduktion von Komplexität	Arbeitsteilung Ressourcenzuteilung Schaffung von Zuständigkeiten für Formulierung, Präzisierung, Ausführung und Monitoring spezifischer Strategien

<sup>380</sup> Vgl. Camphausen (2007), S. 118

<sup>381</sup> Quelle: in Anlehnung an Bea/Haas (1997), S. 146

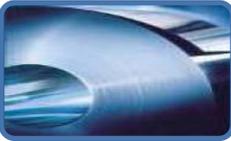
	<b>Folienvorwalzbänder</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Anwendung: Weiterverarbeitung für Folien – Dairy &amp; Food Verpackungen</li></ul>
	<b>Trittbleche</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Anwendung: Wagon-, Schiff- und Fahrzeugbau, Laufstege, Rampen, Brücken, Bodenbleche in verschiedenen Bereichen, Dekorative Raumausstattung</li><li>• Handelsprodukt, Lagerproduktion, Lieferzuverlässigkeit</li></ul>
	<b>Bleche &amp; Platten</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Anwendung: Maschinenbau, Formenbau, Bauindustrie, Automotive, Fahrzeugbau, Elektroindustrie</li><li>• Handelsprodukt, Lagerproduktion, Lieferzuverlässigkeit</li></ul>
	<b>Kathodenbleche und -elemente</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Anwendung: in Zinkelektrolysen zur elektrolytischen Abscheidung von metallischem Zink an der Aluminiumoberfläche</li><li>• Randleisten-Technologie und Liquidzonenschutz</li></ul>
	<b>Glänzprodukte</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Anwendung: Beleuchtungsindustrie, Kosmetikverpackungen, Schilderhersteller, Automobilzierteile für innen und außen, Dekorative Teile für Haushaltsgeräte und Unterhaltungselektronik</li></ul>
	<b>Lotplattierte Produkte</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Anwendung: Kühler, Wärmetauscher</li><li>• für Vacuum-Brazing und Controlled-Atmosphere-Brazing</li></ul>
	<b>Automotive Werkstoffe</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Anwendung: Außenhaut- und Strukturanwendungen</li></ul>
	<b>Hochfeste Werksstoffe</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Anwendung: Sport- und Freizeitindustrie, Luftfahrtsitze, Elektronik und Telekommunikation, Transport, Sicherheitsausrüstung (Schuhkappen), Schlüssel, Spezialanwendungen</li><li>• Marke AMAG Titanal® ... eine der härtesten Alulegerungen der Welt</li></ul>
	<b>Luftfahrt</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Anwendungen: Flugzeug – Strukturbauteile</li><li>• Single-Side-Clad</li></ul>

Abbildung 50: Geschäftsfelder für Aluminiumhalbzeug anhand des Fallbeispiels<sup>382</sup>

<sup>382</sup> Quelle: AMAG rolling GmbH (2010), S. 10ff

### **Folienvorwalzbänder**

Legierungen: 8xxx, 1xxx und 3xxx

Dicke: 0,3-0,6mm

Breite: 700-1.635mm

### **Handelsprodukte – Bleche und Platten**

Legierungen: 1050, 5754, 5083, 5086, 5052, 6082, 6061, 2014, 2024, 7020, 7075

Bleche: Dicke: 0,3-6,0mm

Breite: max. 1.550mm

Platten: Dicke: 6,0-100mm

Breite: max. 1.540mm

### **Handelsprodukte – Trittleche**

Legierungen: 1050, 5754, 5083, 5086, 5052, 6082, 6061, 7020, AMAG TopGrip®

Dicke: 1,0-12,70mm

Breite: max. 1.540 mm

Warzenhöhe: 0,2mm, 0,5mm, 1,0mm, 1,5mm

Muster: Duett, Quintett, Highgrip, Diamond, AMAG TopGrip®

### **Glänzqualitäten**

Legierungen: Plattiert: 99,5 % oder 3003 plattiert mit 99,85%  
99,5 % plattiert mit 99,9%  
99,5 % plattiert mit 99,98%  
99,5 % plattiert mit 99,99% (PURACLAD)  
Andere Kombinationen (bspw. 5xxx mit 99,85% oder 99,9%)  
Vollmaterial: 99,5%, 99,7%, 99,85%, 99,9%, 99,93% (PURALUX)  
3003, 3103, 5005, 5657, 5505

Dicke: 0,3mm-3,0mm

Breite: 70 bis 1.620mm

Oberflächen: Supfina (hochglänzend), Glänzend, Walzblank, Scatter-gloss, Lumenal-matt, Feinmatt, Matt, Brush-finish (Bürst-look)

Qualitäten: Anodisierqualität, Glänz- und Anodisierqualität, Schilderqualität, Lackierqualität

Form: Bänder, Bleche, Zuschnitte, Ronden

### **Lotplattierte Bänder und Bleche**

Grundmaterial: 1050A, 3003, 3103, 3005, 6951, 6063 7020 Longlife mod, 6063, 7020, 3003 mod., Longlife 3005 mod.

Plattierwerkstoff: 4004, 4104, 4343, 4045, 4047, Zn-legierte Plattierwerkstoffe, 4343.ZN und 4045.ZN

Schutzplattierung:	1050A, 7072
Bänder:	Dicke: 0,3 mm – 4,0 mm Breite: 35 mm – 1560 mm
Bleche:	Dicke: 0,4 mm – 8,0 mm Breite: 100 mm – 1560 mm Länge: max. 8000 mm
Plattierung:	einseitig oder beidseitig
Plattierschichtdicke:	1,5% bis 18%

### **Hochfeste Werkstoffe**

Legierungen:	6082, 6061, 2017, 2014, 2024, 7020, 7021, 7075, 7178, AMAG Titanal®
Bleche:	Dicke: 0,3 – 6,0 mm Breite: max. 1.550 mm
Platten:	Dicke: 6,0 – 100 mm Breite: max. 1.540 mm

### **Luftfahrt**

Legierungen:	2014, 2024, 2219, 7075, 7475, 7175, 7050, 6061, 6082, 5052, 5086, 5251, 3003, 3103, AMAG TopForm®
Bleche:	Dicke: 0,2 – 6,0 mm Breite: max. 1.524 mm
Platten:	Dicke: 6,0 – 101,6 mm Breite: max. 1.524 mm

### **Automotive Werkstoffe**

Legierungen:	6016, 6181, 6111, 6009, 6981, 6061, 6082, 7075, 7020, 2024, 5182, 5754, 5083
Dicke:	0,3 – 8,0 mm
Breite:	max. 1.610 mm
Oberfläche:	Mill finish, EDT, Trockenschmierung

### **Kathodenbleche und –elemente**

Legierungen:	1050 modified, 1070 modified, 1200, 1350
Bleche:	Dicke: 4,76 – 7,0 mm Breite: max. 1.600 mm
Blech und Randleiste:	Dicke: 5,0 – 7,0 mm Breite: 660 – 1.200 mm

### 5.3.3 Flexible Auftragsstruktur

Eine wesentliche Voraussetzung für die hohe Flexibilität ist die Unterstützung des flexiblen Realsystems durch eine flexible Auftragsstruktur im Dispositionssystem, wodurch jederzeit bei jedem Vorgang einen Fertigungsauftragsplit abgebildet werden kann. Eine flexible Auftragsstruktur, die diese Durchlaufflexibilität ermöglicht setzt sich wie folgt anhand des Beispiels eines Walzwerks zusammen:

- jede Position eines Kundenauftrages entspricht einer Materialnummer (Produkt)
- jeder Betriebsauftrag (BNR) kann mehrere Lose haben
- ein Los ist gleich ein Walzbarren
- jedes Teillos (TLOS) ist eine Teilmenge eines Walzbarrens
- jedem Betriebsauftrag können mehrere Kundenauftragspositionen zugeordnet werden
- jeder Kundenauftrag kann nur einem Betriebsauftrag zugeordnet sein

Die Relationen dieser Daten sind in Abbildung 51 mit einem Entity-Relationship-Diagramm dargestellt.



Abbildung 51: Entity-Relationship Diagramm eines Betriebsauftrages

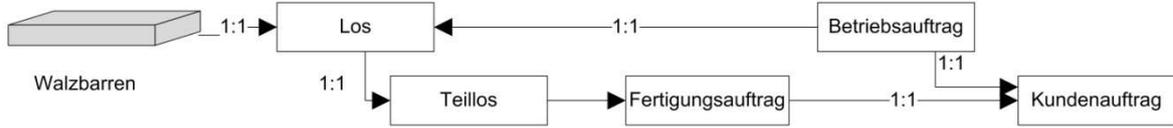
Die Bezeichnung Betriebsauftrag entspricht der sonst üblichen Bezeichnung Fertigungsauftrag. Unter Fertigungsauftrag wird in einem ERP-System ein innerbetrieblicher Auftrag verstanden, der zur Produktion einer definierten Anzahl von Artikel oder Baugruppen dient. Dabei wird zwischen primären und sekundären Fertigungsaufträgen unterschieden. Eingegangene Kundenaufträge lösen in der Regel einen primären Fertigungsauftrag aus, der sich somit auf die Enderzeugnisse eines Unternehmens beziehen. Baugruppen oder Teile, die zur Produktion der Enderzeugnisse benötigt werden und nicht fremd beschafft werden, werden durch sekundäre Fertigungsaufträge hergestellt.<sup>383</sup> Bis auf die Herstellung von Walzschablonen für plattiertes Aluminium handelt es sich im Walzwerk immer um primäre Betriebsaufträge.

Die Besonderheit des Teilloses liegt daran das es eine andere Fertigungsfolge als das Mutterlos haben kann, beispielsweise eine andere Breite für einen anderen Kunden. Damit ist es möglich ein Coil oder bereits zugeschnittene Bleche bis zu einer definierten Anlage gemeinsam zu bearbeiten und später zu teilen. Eine Teilung ist beispielsweise bei unterschiedlichen Endbreiten erforderlich. Diese Splits an definierten Anlagen ermöglichen das Zusammenlegen der Kundenaufträge von verschiedenen Kunden mit unterschiedlichen Produkten, insbesondere bei kleinen Losen und Kleinmengen, die weniger als das Gewicht eines Walzbarrens erfordern. Die Entstehung eines Teilloses kann von vornherein geplant sein, beispielsweise bei unterschiedlichen Dimensionen, oder auch ungeplant im Laufe der

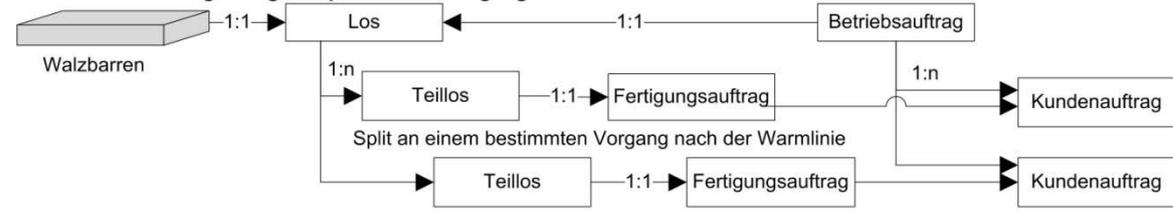
<sup>383</sup> Vgl. Görtz (2009), S. 132

Fertigung an beliebigen Anlagen gebildet werden. Eine ungeplante Teillosbildung in der Fertigung entsteht, wenn beispielsweise eine bestimmte Teilmenge die Spezifikation nicht erreicht und das Band abgeschnitten wird. Dieses Teillos wird entweder Ausschuss oder es kann für einen anderen Kunden verwendet werden, für den die Spezifikation reicht.

**Fall 1: Kundenauftragsmenge = Optimale Ausbringung eines Walzbarrens**



**Fall 2: Kundenauftragsmenge < Optimale Ausbringung eines Walzbarrens**



**Fall 2: Kundenauftragsmenge > Optimale Ausbringung eines Walzbarrens**

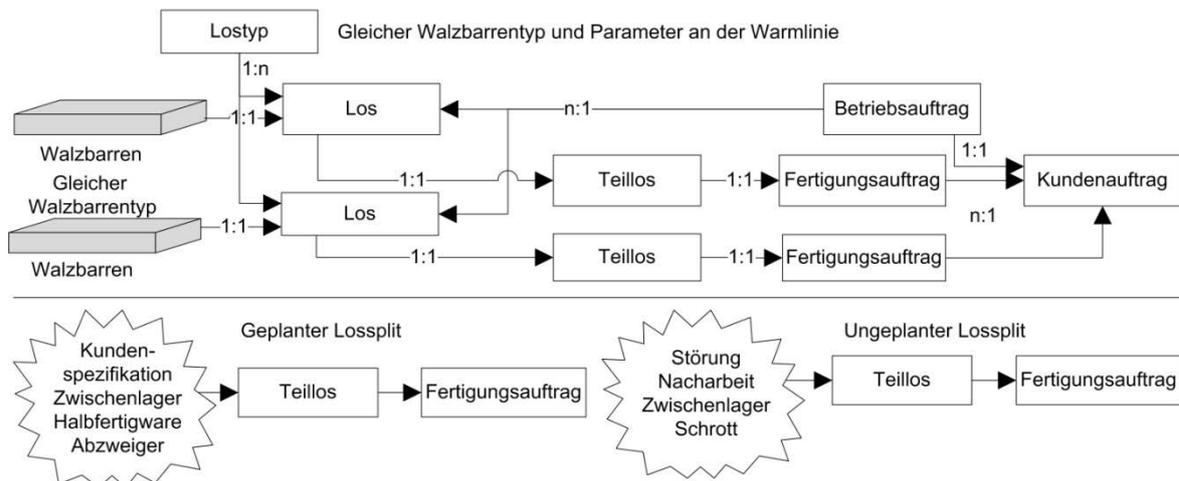


Abbildung 52: Flexible Auftragsstruktur

Setzt man die Kundenauftragsmenge mit der optimalen Ausbringungsmenge eines Walzbarrens in Relation, sind somit, wie in Abbildung 52 dargestellt, prinzipiell drei Fälle zu unterscheiden:

(1) **Die Kundenauftragsmenge entspricht genau der optimalen Walzbarrenausbereitung:**

In diesem einfachsten Fall wird für einen Kundenauftrag genau ein Betriebsauftrag mit einem Los und einem Teillos angelegt. Das Teillos ist auch für diesen Fall notwendig, auch wenn es sich nicht um ein echtes Teillos handelt, damit eine Verbindung zu einem Fertigungsauftrag hergestellt werden kann. Das Teillos enthält in diesem Fall die Nummer 00. Erst ab einer Nummer größer als 00 handelt es sich somit um ein echtes Teillos, das durch einen Auftragsplit und eine Aufteilung eines Walzbarrens in zwei Unterpositionen entstanden ist.

**(2) Die Kundenauftragsmenge ist kleiner als die optimale Ausbringung eines Walzbarrens:**

Mehrere Kundenauftragspositionen können zu einem Betriebsauftrag zusammengefasst werden, sofern diese auf dem gleichen Walzbarrentyp basieren und die gleichen Parameter an der Warmlinie enthalten. Ein Split erfolgt in diesem Fall nach der Warmlinie meist am Ende bei den Finalanlagen, wie beispielsweise an der Scherenlinie aufgrund unterschiedlicher Breiten oder auch Längen.

**(3) Die Kundenauftragsmenge ist größer als die optimale Ausbringung eines Walzbarrens:**

Kundenaufträge mit gleichen Walzbarrentypen und gleichen Parametern an der Warmlinie werden unter mehreren Losen in einem Betriebsauftrag zusammengefasst.

### 5.3.4 Arbeitsplankonfigurator

Ein Fertigungsauftrag legt fest, welches Material auf welchem Arbeitsplatz, in welcher Reihenfolge, zu welchem Termin und mit welchen sonst benötigten Ressourcen gefertigt werden soll. Mit der Erstellung eines Fertigungsauftrags sind in einem ERP-System automatisch weitere Folgeaktionen verbunden:<sup>384</sup>

- Auswahl des Arbeitsplanes und Übernahme der Vorgänge in den Auftrag
- Erzeugung der Kapazitätsbedarfe für die Arbeitsplätze
- Vorkalkulation des Fertigungsauftrages
- Stücklistenauflösung und Übernahme der Stücklistenpositionen in den Auftrag
- Erzeugung von Reservierungen für lagerhaltige Stücklistenpositionen
- Erzeugung von Bestellanforderungen für Nichtlagermaterial

Aufgrund der einfachen Produktstruktur entfallen in dem betrachteten Fall die letzten drei Punkte bezüglich Stücklistenauflösung. Die beiden ersten Punkte stellen jedoch ein komplexes Problem dar, da mit der Auswahl der Arbeitspläne und Vorgänge nicht nur die Anlagen mit ihren Kapazitätsbedarfen und Startterminen bestimmt werden, sondern auch die für die Anlagensteuerung notwendigen Parameter aus der Technologie.

Analog zum Produktkonfigurator kann diese Aufgabe in ERP-Systemen üblicherweise von einem Variantenkonfigurator übernommen werden. Im Zusammenhang mit der Konfiguration ist die High-Level-Konfiguration von der Low-Level-Konfiguration zu unterscheiden. Die Konfiguration im Vertrieb mit einem Produktkonfigurator ist ein Beispiel für den interaktiven Prozess einer High-Level-Konfiguration. Dabei werden die Produktwünsche gemäß den Kundenwünschen festgelegt. Im Gegensatz dazu ist eine Low-Level-Konfiguration kein interaktiver sondern ein prozedurbasierter Prozess, wie beispielsweise die Stücklistenauflösung für eine Variante in der Produktion. Für den Kunden ist der strukturelle Aufbau zwar nicht von direktem Interesse, das Ergebnis der High-Level-Konfiguration fließt aber direkt in die später fertigungsrelevante Konfiguration ein, indem die Stückliste eines Variantenproduktes auf Basis der Merkmalsbewertung aufgelöst wird. Unter Merkmalsbewertung wird im Variantenkonfigurator im SAP R/3 die Festlegung der Merkmalsausprägungen aufgrund einer vorgegebenen Wissensbasis verstanden.<sup>385</sup>

---

<sup>384</sup> Vgl. Benz/Höflinger (2011), S. 234

<sup>385</sup> Vgl. Jie (2003), S. 136f

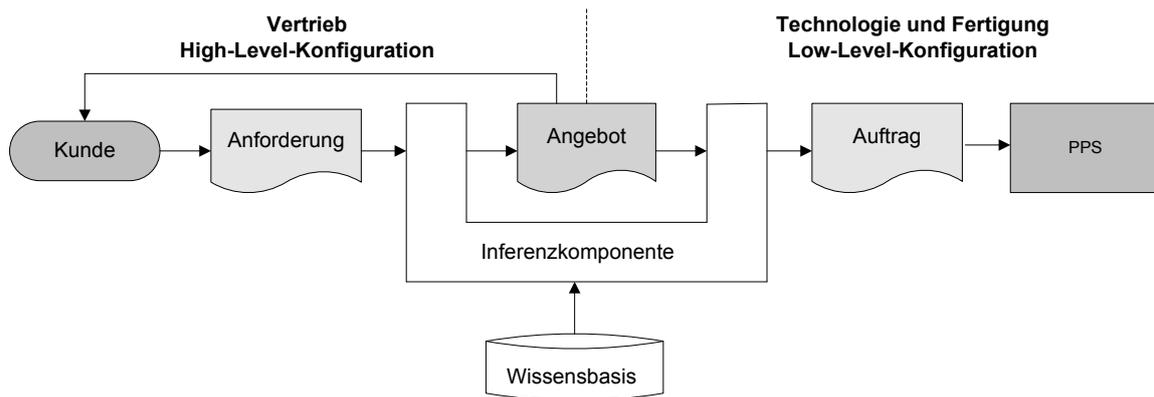
Abbildung 53: Konfigurationsmodell für Vertrieb und Fertigung<sup>386</sup>

Abbildung 53 zeigt die Einbindung der Wissensbasis für eine Konfiguration in einem traditionellen Konfigurationsszenario, die meist eng an die Stücklistenstruktur angelehnt ist. Den Kern der Wissensbasis bildet der Kundenauftrag, der die technische Produktstruktur abbildet und die Stücklistenauflösung steuert. Das Hauptinteresse aus Sicht der Fertigung besteht darin, wie der Kundenauftrag fertigungstechnisch umzusetzen ist. Zur Wissensbasis zählen damit einerseits das zu konfigurierende Produkt aus Vertriebsicht, als auch das Strukturwissen aus Sicht der Technik.<sup>387</sup>

Da der Fokus nicht auf der Stücklistenauflösung liegt, sondern auf der Erstellung von Arbeitsplänen mit Vorgängen und Vorgabewerten für die Anlagen, wird hier anstelle des Begriffes Variantenkonfigurator der Begriff Arbeitsplankonfigurator bzw. auch Arbeitsplangenerator verwendet. Dadurch wird das automatische Erzeugen von Arbeitsplänen verstärkt in den Mittelpunkt gerückt. Die Einbindung des Arbeitsplangenerators innerhalb eines ERP-Systems am Beispiel SAP ist in Abbildung 54 visualisiert.

Kernstück bildet dabei ein Auftragsmanagementsystem, das die Struktur des oben beschriebenen Betriebsauftrags mit Losen und Teillosen abbildet und den Input für den Arbeitsplangenerator liefert. Der Arbeitsplangenerator liefert über das von der Technologie vorgegebene Beziehungswissen den Input für die einzelnen Spezifikationen der Materialien auf Ebene der Kundenauftragspositionen. Über zusätzliche Kundenspezifikationsblätter erfolgt vor allem die kundenindividuelle Konfigurierung der Verpackung, die somit die relevanten Informationen für die Finalanlagen liefern. Das Auftragsmanagement setzt dabei auf den Stammdatenstrukturen eines ERP-Systems, wie Material, Arbeitsplan und Stückliste, sowie auf den typischen Bewegungsdaten, wie Kundenauftrag und Fertigungsauftrag, auf. Aus der Abbildung ist auch ersichtlich, dass, wie im SAP-System, nur Fertigungsaufträge existieren, aber keine übergeordnete Klammer, wie dies für die Zusammenfassung von Losen in Form von Walzbarren, oder Teillosen in Form von Teilen eines Walzbarrens, erforderlich ist. Die oben beschriebene Betriebsauftragsstruktur ist daher nur über eine Eigenentwicklung zu realisieren.

Die wesentlichen Anforderungen an ein flexibles Auftragsmanagement lassen sich wie folgt zusammenfassen:

<sup>386</sup> Quelle: in Anlehnung an Jie (2003), S. 138

<sup>387</sup> Vgl. Jie (2003), S. 138

- Änderungen müssen jederzeit möglich, um rasch auf geänderte Rahmenbedingungen reagieren zu können.
- Bei Änderungen muss eine permanente Prüfung der Daten und aktuelle Ermittlung der Vorgabewerte (Vorgänge, Anlagenparameter, Zeiten) durch den Arbeitsplangenerator erfolgen.
- Alle Vorgaben aus dem Arbeitsplangenerator im Auftrag müssen frei veränderbar sein.
- Das Zusammenlegen von mehreren Kundenaufträgen auf einen Betriebsauftrag muss möglich sein. Das entspricht einer Losbildung im traditionellen Sinne.

Im Rahmen der Kapazitätsprüfung erfolgt der Abgleich mit den vorhandenen Kapazitäten im SAP-System. Der Kapazitätsabgleich der Aufträge erfolgt auf Wochenebene, d.h. die gebuchten Stunden pro Woche in Relation zu verfügbaren Stunden pro Woche, durch den zentralen Terminplaner mithilfe einer Rückwärts-, Vorwärts- oder Mittelpunktterminierung. Die Terminierung der Kundenaufträge und Fertigungsaufträge hingegen findet auf Tagesebene statt. Auch eine Einplanung von Eilaufträgen ist möglich. Neben der Kapazitätsplanung erfolgt auch eine Budgetprüfung gegen das kapazitierte Hauptproduktionsprogramm.

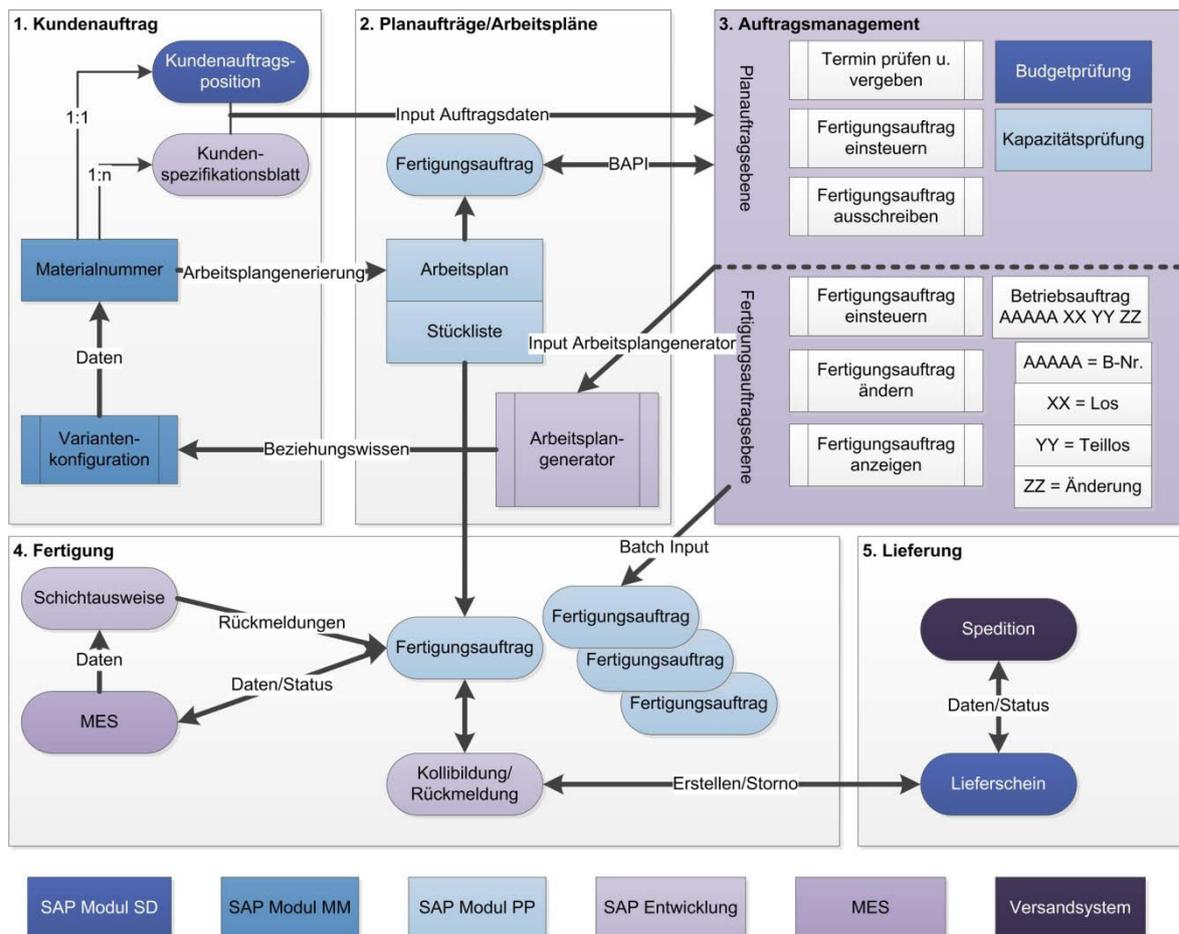


Abbildung 54: Systemübersicht Arbeitsplangenerator

Der Fertigungsauftrag des ERP-Systems fungiert auch als Schnittstelle für das Fertigungssteuerungssystem (MES), das neben einem Leitstand für die Feinplanung auf Meisterebene auch eine Betriebsdatenerfassung für Mitarbeiter in Form von Schichtausweisen enthält. Schichtausweise dienen zur Rückmeldungen der Fertigungsstunden auf Fertigungsaufträge und dienen als Basis für die Kostenermittlung der Aufträge und die Personalabrechnung. Die Übermittlung des Fertigungsauftrages ins MES erfolgt erst durch die Einsteuerung des Fertigungsauftrages vom Auftragsmanagement. Zuvor existiert der Auftrag im ERP-System nur als Planauftrag. Ein Planauftrag basiert auf denselben Stammdatenstrukturen wie ein Fertigungsauftrag und kann daher schon für die Kapazitätsprüfung verwendet werden. Darüber hinaus empfängt das MES auch die relevanten Steuerungsdaten für die Maschinensteuerungen und sendet die aktuellen Daten aus der Fertigung wieder zurück an das ERP-System. Am Ende erfolgt die Lieferabwicklung durch Standard ERP-Prozesse, wobei der Lieferschein direkt an das Versandsystem der Spedition übermittelt wird.

### 5.3.5 Planungsbesonderheiten

Der Leitstand erlaubt eine einfache Reihenfolgeplanung mithilfe einer elektronischen Plantafel in Form eines Gantt-Diagramms. Die anstehenden Aufträge werden zu einem Arbeitsprogramm zusammengefasst, das die Reihenfolge der abzuarbeitenden Aufträge an einer Anlage darstellt. Das Arbeitsprogramm wird dann elektronisch an die Betriebsdatenerfassung (BDE) und teilweise auch direkt an die Anlagensteuerung weitergegeben. Im Folgenden werden die Besonderheiten der zu planenden Anlagen für das Kaltwalzwerk mit den wichtigsten Planungslogiken beschrieben, welche auch als Ausgangsbasis für die Implementierung eines Planungsoptimierungssystems dienen und in Form eines Lastenhefts zur Planungsoptimierung festgehalten wurden.

Abbildung 55 gibt dazu zunächst einen Überblick über die einzelnen Fertigungsbereiche im Walzwerk und den Materialfluss im Warmwalzwerk. Die zentrale Einsteuerung erfolgt in der Warmlinie, die in Abhängigkeit von der gewünschten Enddicke entweder das darauffolgende Kaltwalzwerk mit Bändern versorgt oder dickere Bleche weiter in die Plattenfertigung liefert. Als Input dienen der Warmlinie Walzbarren, die gegebenenfalls noch zuvor in der Adjustage gefräst werden, dann in Blockstoßöfen erhitzt werden und danach warm gewalzt werden. Die Schablonen für walzplattierte Produkte müssen den gesamten Produktdurchlauf bereits einmal durchlaufen, bevor sie an der Plattierstation mit einem Grundbarren, verbunden werden. Dies ist anhand des Zyklus in der Abbildung erkennbar. Ein weiterer Zyklus ergibt sich für bestimmte Produkte, die am Ende der Warmlinie in den Kaltwalzbereich kommen, und dann nach einer Wärmebehandlung wieder zurück zum Warmwalzen. In der Plattenfertigung gibt es besondere Anforderungen für bestimmte Produkte, wie beispielsweise für die Luftfahrtprodukte, die daher als eigener Bereich dargestellt sind. Auch im Kaltwalzbereich gibt es besondere Anforderungen für bestimmte Produkte, wie beispielsweise für Glanzprodukte. Daher ist im Kaltwalzbereich auch der Glanzwalzbereich herausgestellt. Der sechste und letzte abgebildete Produktionsbereich stellt die Finalanlagen zur Konfektionierung der Produkte dar. Mit Scheren zur Längs- und Querteilung wird dieser Bereich als Scherenbereich bezeichnet.

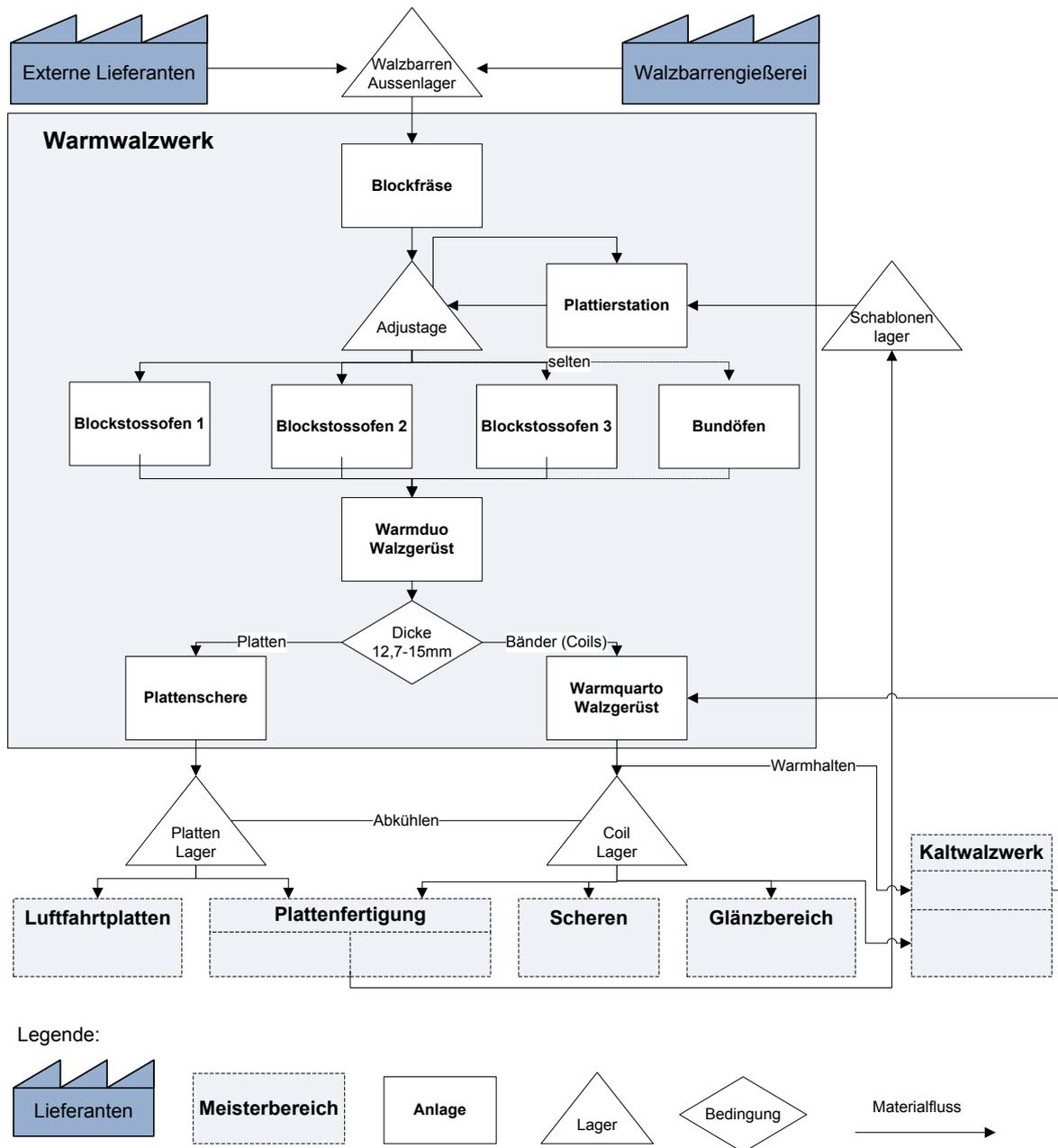


Abbildung 55: Materialflussübersicht Walzwerk mit Warmlinie

### Kaltquarto

Auf dem Quarto-Walzgerüst erfolgt das Kaltwalzen von Aluminiumbändern mit einer Eingangsdicke von 12mm und einer Ausgangsdicke von min. 0,4mm. Da das Gerüst nicht reversieren kann, müssen die Bänder bei mehreren Stichfolgen direkt hintereinander von der Ausgangsseite zur Eingangsseite transportiert werden. Dies geschieht durch ein conveyer system. Bänder werden dabei mit einer Geschwindigkeit von max. 1200m/min und im Durchschnitt mit 400-800m/min gewalzt. Durch die hohen Geschwindigkeiten ergeben sich an der Anlage sehr kurze Bearbeitungszeiten für einen Stich (Abwälzung) von zwei bis zehn Minuten im Durchschnitt. Die durchschnittliche Stichanzahl beträgt damit ca. 200 bis 250 Stiche am Tag bei der maximalen Kapazität von einem Vierschichtbetrieb. Jedes Band muss mindestens einmal und maximal sechs bis sieben Mal durch die Anlage gefahren werden. Je mehr Abwälzungen notwendig sind, umso mehr Zwischenschritte, wie Zwischenglühen oder

notwendiges Abkühlen, gibt es. Ein Band kann aber auch aus Planheits-, Oberflächen- oder Festigkeitsgründen ein weiteres Mal durch die Anlage bearbeitet werden.

### **Banddurchzugsofen**

Beim Banddurchzugsofen handelt es sich um einen Durchlaufofen für Aluminiumbänder, die für eine exakt bestimmte Zeitdauer und Temperatur erhitzt und dann in einer vorbestimmten Zeitdauer und Temperaturgrenze mit Wasser abgekühlt werden. Mit durchschnittlich 8-15m/min sind die Geschwindigkeiten hier wesentlich geringer als die Walzgeschwindigkeiten. Daraus folgen auch lange Durchlaufzeiten zwischen einer und bis zu zwanzig Stunden, die sich je nach Dicke der Bänder ergeben. Die Dicke der Bänder reicht dabei von 0,3 bis 6,35mm und der Temperaturbereich von 150-600 Grad Celsius. Die zwei Banddurchzugsöfen unterscheiden sich durch die möglichen Maximalgeschwindigkeiten, die maximal möglichen Dicken, Inkludierung einer Besäumschere für einen seitlichen Schnitt sowie eines Reckers zum Strecken des Bandes. Üblicherweise läuft ein Band nur einmal über diese Anlage.

### **Streckrichtanlage**

Mit der Streckrichtanlage werden Bänder gereckt, um die geforderte Ebenheit über die Breite einzustellen. Neben der Beeinflussung der Profileigenschaften sind auch ein Besäumen und ein Beschichten mit Trockenschmiermittel, beispielsweise für Stanzbänder in der Automobilindustrie, möglich. Bänder können mit einer Dicke zwischen 0,15 bis 3,5 mm durchgeföhren werden und laufen üblicherweise nur einmal über diese Anlage.

### **Bundöfen**

Die Bundöfen werden zur Zustandsglühung, Weichglüfung oder Überalterung mit einem Temperaturbereich zwischen 150 und 600 Grad Celsius eingesetzt. Einige Öfen können neben Erdgas auch mit Schutzgas beheizt werden, wie dies für bestimmte Produkte zwingend erforderlich ist. Das maximal mögliche Chargengewicht beträgt bei je nach Ofentyp zwischen 10.000kg und 80.000kg. Speziell die schutzgasfähigen Öfen werden nicht nur für Bänder, sondern auch für das Glühen von Ringen oder Blechen verwendet, die dazu auf Stahlglühplatten aufgesetzt werden müssen. Die Verfügbarkeit dieser Hilfsmittel ist bei der Feinplanung zu berücksichtigen.

### **Allgemeine Planungslogik**

Aus der Taktzeit und der Verfügbarkeit der Anlagen ergibt sich die Reihenfolge, welche Anlage zuerst geplant wird. Die Verfügbarkeit wird hier wesentlich durch die Anzahl der zur Verfügung stehenden Anlagen beeinflusst. An erster Stelle sind die Banddurchzugsöfen zu planen, da diese mit einer durchschnittlichen Bearbeitungsdauer von ein bis zwanzig Stunden die höchste Bearbeitungszeit aufweisen. Auch die Anzahl der Anlagen ist mit zwei beschränkt, wobei diese nicht zu 100% austauschbar sind, d.h. als Einzelkapazität zu betrachten sind. Eine weitere Besonderheit sind die Abhängigkeiten zum Kaltwalzgerüst, da es aus technologischen Gründen maximale Wartezeiten gibt, bis zu denen ein Band nach dem Banddurchzugsofen den letzten Stich am Kaltwalzgerüst bekommen muss. An letzter Stelle in der Planungsreihenfolge stehen die Bundöfen, da man aufgrund der Anzahl von einer ausreichenden Verfügbarkeit ausgehen kann. Zu beachten sind dabei die Abhängigkeiten zur Warmlinie, für teilweise auch Kapazitäten auf den Bundöfen reserviert werden müssen. Zwischen Banddurchzugsofen und den Bundöfen stehen das Kaltwalzgerüst und die Streckrichtanlage in der Planungsreihenfolge. Auch wenn diese Reihenfolge nicht immer so einzuhalten ist, beschreibt sie das grundsätzliche Vorgehen des Planers.



Abbildung 56: Reihenfolge der Anlagenreihenfolgeplanung im Kaltwalzwerk

### Planungsregeln Kaltwalzgerüst

Zur Minimierung der Rüstzeiten, die vor allem durch den Ein- und Ausbau von Walzen bedingt sind, werden Aufträge, welche dieselbe Walze erfordern, zu insgesamt 27 Fertigungsfamilien zusammengefasst. Für ein Walzgerüst gilt grundsätzlich die Regel, dass von breit auf schmal gewalzt werden muss, da sonst die Oberfläche am Rand der Bänder beschädigt wird. Bei kleinen Breitensprüngen sind Überschneidungen zulässig. Einige weniger empfindliche Produkte können auch von schmal auf breit gefahren werden, teilweise aber nur wenn es sich nicht um einen Finalstich, d.h. die letzte Abwalzung handelt. Kommt ein Band von der Warmlinie oder von einem Bundofen sind Abkühlzeiten in der Höhe von 48 bis 72 Stunden zu berücksichtigen, da Bänder nur ausgekühlt durch die Anlage gefahren werden dürfen. Die Abkühlzeit bestimmt damit die Stichfolge und stellt eine besondere Herausforderung an die Planung dar, da die erforderlichen Abkühlzeiten nicht genau zu prognostizieren sind. Die Abkühlzeiten hängen logischerweise von der Umgebungstemperatur ab, die einerseits stark von der Außentemperatur abhängt. Liegen andererseits heiße Bänder im Lager nebeneinander, kann sich die Abkühldauer für diese im Vergleich zu einem Band, das zwischen bereits abgekühlten Bändern liegt deutlich verlängern. Die Abkühlzeiten ergeben sich aber nicht nur durch die Vorgängeranlage, die die Bänder erwärmen. Die Bänder erwärmen sich auch durch das Kaltwalzen so stark, dass die Maximaltemperatur von an die 70 Grad Celsius erreicht wird. In Abhängigkeit von der Stichanzahl und Werkstoff sind daher Abkühlzeiten zwischen den einzelnen Stichfolgen zu berücksichtigen.

Für die einzelnen Aufträge sind aber nicht nur Mindestliegezeiten einzuplanen, sondern auch Maximalliegezeiten. In Abhängigkeit von bestimmten Vorgängeranlagen sind Aufträge innerhalb eines fixen Zeitbandes zu bearbeiten, um Ausschuss zu vermeiden. Dazu zählen beispielsweise Dressierstiche, die zur Verbesserung der Planheit der Bänder dienen.

Neben der Fertigungsfamilie, die den Walzenwechsel bestimmt, spielen auch die unterschiedlichen Werkstoffe eine Rolle für die Reihenfolgeplanung. Da die anfallenden Schrotte sortenrein für die Gießerei getrennt werden müssen, sind die Aufträge zur Minimierung der Schrottkübelwechsel zusätzlich zu den Breiten nach Werkstoffen zu gruppieren.

Zusätzlich zu diesen Regeln gibt es noch zahlreiche weitere Regeln, die jedoch nicht formalisierbar sind. Meist handelt es sich um Sonderanweisungen für Spezialprodukte, die beim Walzen beachtet werden müssen. Die Berücksichtigung der Verfügbarkeiten von Fertigungshilfsmitteln, wie Hülsen für die Bänder, von geeigneten Lagerplätzen, von Transportmitteln und auch von Nachfolgeanlagen, im Falle von Maximalliegezeiten und vorgegebenen Zeitbändern für die Weiterverarbeitung, zählen zu üblichen Anforderungen an die Reihenfolgeplanung im Rahmen der Feinplanung und sollen hier nicht extra als Besonderheiten genannt werden. In Bezug auf die Verfügbarkeit von Fertigungshilfsmitteln bzw. Werkzeugen ist insbesondere auch die Verfügbarkeit der Walzen zu berücksichtigen, die wiederum von der verfügbaren Kapazität der Walzenschleiferei abhängt. Bestimmte Werkstoffe und auch bestimmte Nachfolgeanlagen erfordern überdies ein Schleifen vor dem

Walzen. Sind alle Walzen eines Typs verbraucht können bis zur Wiederaufbereitung in der Walzenschleiferei keine Aufträge mit diesem Walzentyp gefahren werden. Summa summarum ist das Kaltwalzen eine sehr komplexe Aufgabe, die viel Erfahrung vom Bedienpersonal erfordert. Die Einarbeitung für einen Walzenfahrer beträgt daher oft ein ganzes Jahr, um das gesamte Aufgaben- und Produktspektrum abdecken zu können.

### **Planungsregeln Streckrichtanlage**

Für die Streckrichtanlage sind täglich 30-35 Aufträge pro Tag zu planen. Der größte Rüstaufwand ergibt sich durch das Wechseln der Haspeln. Die Fertigungsfamilien werden daher hauptsächlich aufgrund der geforderten Aufhaspel- und Abhaspeldurchmesser gebildet. Die zusätzlich noch möglichen Fertigungsfamilien für entfettete oder nicht entfettete Bänder, Trockenschmierung, Bürsten oder Folienbeschichtungen ergeben insgesamt 37 unterschiedliche Fertigungsfamilien. Nach den Rüstzeiten sind auch die Reinigungszeiten zu minimieren, die je nach Werkstoff und Übergang von dick auf dünn wegen abriebbedingter Späne anfallen. Nach dem Reinigen werden zuerst Werkstoffe mit hohen Qualitätsanforderungen gefertigt. Ähnlich wie bei einem Walzgerüst sollten auch bei dieser Anlage die Dicken- und Breitensprünge so gering wie möglich sein. Weiters gibt es auch wieder für gewisse Aufträge vordefinierte Zeitfenster innerhalb deren der Auftrag bearbeitet werden muss, da sonst Ausschuss entsteht. Für warme Bänder muss wieder eine Abkühlzeit berücksichtigt werden, da hier auch eine maximale Temperatur für die Bearbeitung gilt.

### **Planungsregeln Banddurchzugsofen**

Die Fertigungsfamilien für die Banddurchzugsofen werden auf Basis der Wärmebehandlungsart Vergüten oder Weichglühen gebildet. Für einige Werkstoffe gibt es auch noch spezielle Fertigungsfamilien, sodass 10 bzw. 23 unterschiedliche Fertigungsfamilien existieren. Die Reihenfolge wird vor allem durch die unterschiedlichen Glühcodes vorgegeben, wobei das Ziel ist die Temperatursprünge zwischen den Aufträgen zu minimieren. Aufträge sind von dick nach dünn zu sortieren und es gilt Breitensprünge zu vermeiden. Temperaturen und Geschwindigkeit hängen vor allem von Werkstoffgruppen ab. Durch die Planung von Werkstoffkampagnen können daher Einziehbänder vermieden werden. Bei zu hohen Temperatur- oder Dickensprüngen müssen Einziehbänder gefahren werden. Unter Einziehbänder sind Bänder zu verstehen, die zwischen zwei Produktionsbändern durch die Anlage gefahren werden. Darüber hinaus sind keine internen Rüstzeiten erforderlich, da ein Wechsel der Bänder durch Aneinanderheften bei laufendem Betrieb der Anlage möglich ist. Die Bänder werden dabei so zusammengeheftet das ein Band das nächste durch die Anlage zieht. Dabei können sich bis zu drei Bänder in der Anlage befinden. Für definierte Werkstoffe gelten wieder bestimmte Maximalliegezeiten für die darauffolgende Bearbeitung, da sonst die Gefahr von Ausschuss besteht. Im Falle einer Schneidanlage als Nachfolger müssen diese Werkstoffe beispielsweise innerhalb von 24 Stunden abgelängt werden, da sie sonst an der Schneidanlage nicht mehr gerichtet werden können.

### **Planungsregeln Bundöfen**

Für die Bundöfen existieren an die 17 unterschiedliche Fertigungsfamilien zum Wärmebehandeln für Bänder und Bleche. Für das Anwärmen und Warmhalten von Blöcken für die Warmlinie kommen noch weitere 33 Fertigungsfamilien hinzu. Die Gruppierung erfolgt durch Zusammenfassung von Materialien mit gleicher Glühtemperatur. Typischerweise unterscheiden sich die Temperaturen der einzelnen Glühstufen anhand des Glühprofils, daher

sind die einzelnen Glühstufen miteinander zu vergleichen. Für Bänder können auch Metalltemperaturmessungen vorgeschrieben sein. In diesem Fall müssen alle sich im Ofen befindliche Bänder eine Metalltemperaturmessung haben. Die Zeitmessung für die Glühdauer beginnt erst, wenn alle an jedem Band angebrachten Messfühler die geforderte Temperatur signalisieren. Dabei ist zu berücksichtigen, dass das Volumen bzw. das Gewicht die Metalltemperatur beeinflussen. Die Gewichts Differenz zwischen dem leichtesten und schwersten Band darf in diesem Fall einen vorgegebenen Wert nicht überschreiten.

Jeder Ofen besitzt eine maximale Kapazität für die Anzahl an Bunde, Ringe, oder Blechstapel. Generell gilt, dass sich nur Material von einem dieser Formattypen in einer Ofenladung zur selben Zeit befinden kann. Ziel ist ein möglichst hoher Ofenbefüllungsgrad, der zu Lasten der Durchlaufzeit aufgrund eines Wartens auf Aufträge für eine optimale Befüllung geht. Der Füllgrad ergibt sich für Bunde aus dem Verhältnis der Anzahl der Elemente in der Ofenladung zur maximalen Anzahl an Elementen in der Ofenladung. Für Ringe gilt dieselbe Formel, da sich diese nur durch die Breite von den Bunden unterscheiden. Für Bleche ergibt sich der Füllgrad analog in Bezug auf das Gewicht. Temperatursprünge, vor allem ein zu starkes Auskühlen, gilt es zu vermeiden. Aufgrund unterschiedlicher Ofenzulassungen dürfen bestimmte Werkstoffe nur in bestimmte Öfen. Beispielsweise gelten für Luftfahrtprodukte strengere Vorschriften im Rahmen von Zertifizierungen und es können Öfen auch nur temporär für diese Produkte gesperrt sein. Neben der Ofenreisezeit sind auch die Chargierzeiten für das Aufsetzen und Abräumen der Bänder mit genügend Pufferzeiten einzuplanen. Da diese Zeit durch die Reihenfolgeplanung nicht beeinflusst werden kann und diese Zeit immer jeweils vor und nach dem Glühen anfällt, handelt es sich bei diesen Zeiten genau genommen nicht um Rüstzeiten sondern um Prozesszeiten.

Bei den Fertigungshilfsmitteln sind nicht nur die Verfügbarkeit der Glühgestelle und Glühplatten zu berücksichtigen, sondern auch die notwendigen Abkühlzeiten für diese. Aus In Summe stellt die Planung der Bundöfen eine sehr komplexe Aufgabe dar, die viel Erfahrung vom Ofenfahrer verlangt.

### **Planungsentscheidungen im Kaltwalzwerk**

Der Planungsablauf für die beschriebenen Anlagen im Kaltwalzwerk lassen sich grob, wie in Abbildung 57 dargestellt, zusammenfassen. Den Ausgangspunkt für die Planung des Kaltwalzwerks bildet der Warmwalzplan der Warmlinie mit den jeweiligen Fertigungsaufträgen und Vorgängen als Input. Die Feinplanung im Kaltwalzwerk kann in folgende einzelne Planungsentscheidungen unterteilt werden:

- Reihenfolgeplanung Kaltquarto
- Reihenfolgeplanung Banddurchzugsofen
- Reihenfolgeplanung Streckrichtanlage
- Erstellung Ofenladung Bundofen
- Reihenfolgeplanung Bundofen

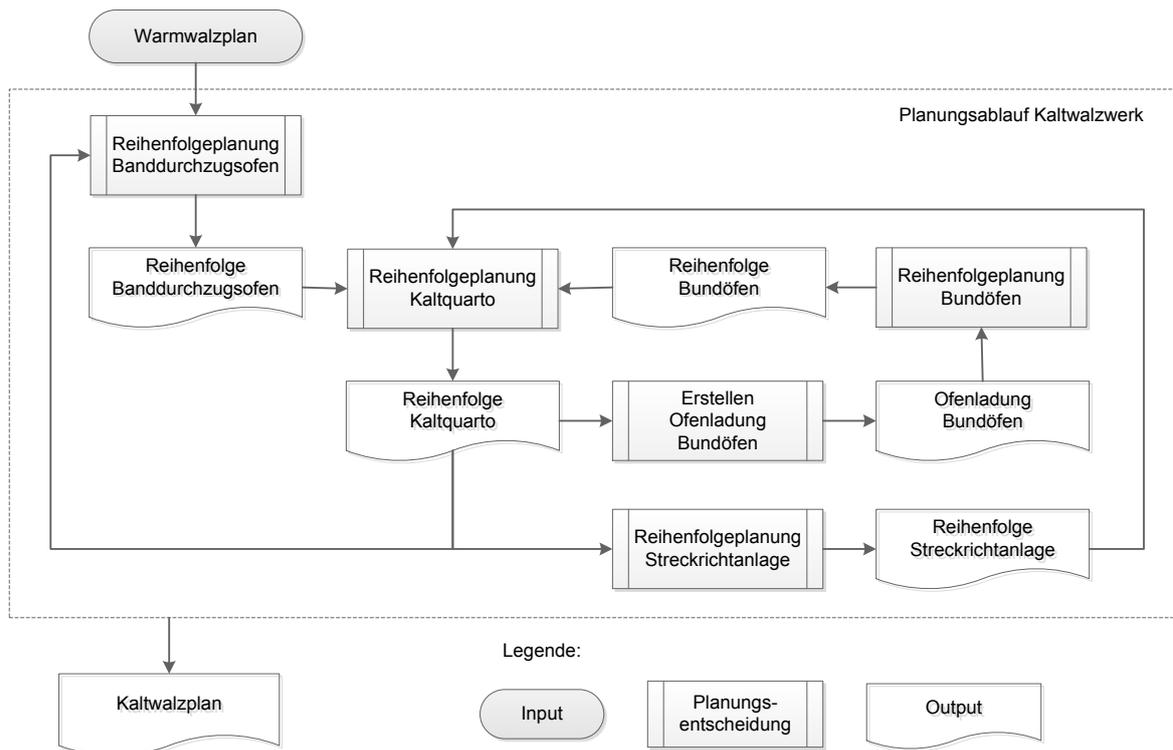


Abbildung 57: Planungsablauf Kaltwalzwerk

Auch wenn die Übersichtsdarstellung nur einen Überblick über die Abhängigkeiten darstellt, sieht man die Komplexität mit der die Planer konfrontiert sind. Eine Planungsentscheidung für eine einzelne Anlage hat aufgrund der oben erläuterten zahlreichen technologisch bedingten Abhängigkeiten meist eine Auswirkung auf die Planung anderer Anlagen. Dadurch ergibt sich ein komplexer iterativer Planungsprozess, der viel Erfahrung von den Planern erfordert. Aufgrund dieser auf Erfahrung basierten Planung lässt sich das Planungsproblem nicht in einem Gesamtmodell formalisieren, das sich IT-technisch durch einen Algorithmus umsetzen und optimieren lässt. Daher stellt sich die Frage mit welcher Methode der Planungsprozess zunächst analysiert werden kann, um in weiterer Folge Verbesserungsmaßnahmen ableiten zu können mit dem Ziel die logistischen Zielgrößen zu verbessern.

Nachdem im vorigen Kapitel in Abschnitt 4.5 bereits traditionelle Analysemethoden untersucht wurden, wird in Kapitel 7 ein Vorgehenskonzept entwickelt, um das implizit in den Fertigungsdaten vorhandene Wissen der Planer zu nützen. Ziel ist die Entwicklung von Planungsregeln für die Fertigungssteuerung, die zusätzlich zu den bereits vorliegenden technologisch bedingten Planungsregeln auf einer Verbesserung der Logistikleistung abzielen. Während die technologischen Planungsregeln in der Planung unbedingt berücksichtigt werden müssen, werden zwar auch logistische Zielgrößen durch die Optimierung der Anlagenauslastung miteinbezogen, jedoch können lokale Anlagenoptimierungen im Widerspruch stehen und ein Gesamtoptimum verhindern.

## 5.4 Zusammenfassung und Überleitung

Das Produktionssystem lässt sich anhand der eben im Detail beschriebenen typischen Merkmale aus der Prozessindustrie, die nun anhand der von Schönsleben aufgestellten Charakteristika zusammengefasst werden, eindeutig der Prozessindustrie zuordnen:<sup>388</sup>

- **Ziel ist die Auslastung der teuren Kapazitäten:** Das typische Ziel die teuren Anlagen in der Prozessindustrie auszulasten, findet sich auch im Beispiel durch sehr auslastungsorientierte Kennzahlen auf der operativen Ebene der dezentralen Fertigungssteuerung. Durchlaufzeiten und Liefertreuekennzahlen sind bei einer dezentralen Fertigungssteuerung üblicherweise vor allem Aufgabe der zentralen übergreifend koordinierenden Produktionsplanung.
- **Divergierende Produktstruktur:** In einem Walzwerk liegt die typische divergierende Produktstruktur vor. Als Ausgangsmaterial geht immer ein Walzbarren in die Produktion. Als weiteres Merkmal ergibt sich der anfallende Schrott quasi als Kuppelprodukt, das wieder in die Gießerei als Rohstoff zur Herstellung von Walzbarren einfließt.
- **Produktstruktur in Schleifen oder ungerichtetem Netzwerk von Arbeitsgängen:** Durch den Schrottkreislauf in die Gießerei ergibt sich eine Schleife außerhalb der Systemgrenze des betrachteten Walzwerks. Innerhalb des Walzwerks gibt es sowohl Schleifen zwischen Anlagen, beispielsweise eine Wärmebehandlung zwischen zwei Stichen, als auch innerhalb derselben Anlage, beispielsweise durch direkt aufeinanderfolgende Stichabfolgen.
- **Herkunftsnachweis mit Chargen nötig:** Bestimmte Branchen, wie die Luftfahrt, erfordern sehr strenge Herkunftsnachweise und eine detaillierte Rückverfolgbarkeit durch genaue Chargenaufzeichnungen.
- **Große Lose:** Größere Lose sind in der Gießerei typischerweise technologisch durch Mindestmengen bedingt, im Walzwerk sind hingegen aufgrund der Flexibilität kleinere Lose möglich, jedoch ist auch hier mindestens ein Walzbarren einzusetzen. Darüber hinaus findet eine Losbildung bzw. Batching durch Zusammenfassung von Aufträgen zu Fertigungslosen aufgrund reihenfolgeabhängiger Rüstzeiten statt.
- **Lagerfertigung:** Neben der typischen Lagerfertigung für den Handel, erfolgt die Fertigung aufgrund der Flexibilitätsorientierung zu einem großen Teil durch eine Kundenfertigung bzw. Variantenfertigung.
- **Produktentwicklung beruht auf Kenntnis von Technologie**
- **Prozessorientierte Stammdaten:** Prozessaufträge kommen in der Gießerei zur Anwendung. Das flexibilitätsorientierten Walzwerk erfordert eine flexible Auftragsstruktur auf Basis von normalen Fertigungsaufträgen.
- **Kampagnenplanung:** In der Gießerei erfolgt die Fertigung ausschließlich in Kampagnen, während im Walzwerk nur einzelne Anlagen, wie der Banddurchzugsofen, bzw. Anlagengruppen, wie üblicherweise die Warmlinie, in Kampagnen geplant werden.
- **Ressourcen-dominierte Terminplanung versus Material-dominierte Terminplanung:** Kapazitierte Hauptproduktionsprogrammplanung<sup>389</sup>. Aufgrund der einfachen Produktstruktur erfolgt keine übliche mehrstufige Stücklistenauflösung, sondern nur eine einfache Disposition des einzusetzenden Walzbarrens. Je nach Verfügbarkeit kann auch ein anderer Walzbarrentyp, als der ursprünglich geplante

<sup>388</sup> Vgl. Schönsleben (2011), S. 403ff

<sup>389</sup> Zur kapazitierten Hauptproduktionsprogrammplanung siehe Günther/Tempelmeier (2005), S. 162

eingesetzt werden. Sekundärbedarfe können daher nicht automatisch mittels klassischem MRP-Verfahren ermittelt werden.

- **Grundsätzliche MRPII/ERP-Verfahren nicht einfach zu übernehmen:** Dass die klassischen MRPII/ERP-Verfahren in der Prozessindustrie nicht ohne Anpassungen eingesetzt werden können, zeigt sich auch am Beispiel des Walzwerks. Insbesondere ist ein flexibles Auftragsmanagement mit einer flexiblen Auftragsstruktur, die jederzeit einen Auftragsplit in der Fertigung ermöglicht, nicht im Umfang von Standard-ERP-Systemen enthalten.

Die Einordnung des Fallbeispiels in das in Abschnitt 4.4 aufgestellte morphologische Merkmalschema zur Charakterisierung der flexibilitätsorientierten Prozessindustrie, bestätigt die aus der Literatur abgeleiteten Merkmale. Die Ausprägungen für das betrachtete Produktionssystem sind in Tabelle 20 durch die Punkte dargestellt.

Tabelle 20: Betriebstypologische Einordnung des Fallbeispiels

		Merkmalsausprägungen			
Artikel	Erzeugnisstruktur (Stufigkeit der Produktion)	Geringteilige Erzeugnisse	Mehrteilige Erzeugnisse mit einfacher Struktur	Mehrteilige Erzeugnisse mit komplexer Struktur	
	Erzeugnisspektrum (Variantenvielfalt)	Kundenspezifisch	Produktfamilien (variantenreich)	Standardprodukt mit Varianten	Standardprodukt
	Einsatzgüterarten	materialintensiv	anlagenintensiv	arbeitsintensiv	informationsintensiv
Ressource	Mechanisierungsgrad	manuell	teilautomatisiert	Automatisiert	
	Ablaufart (Anordnungstyp)	Baustellenfertigung	Werkstattfertigung	Gruppen-/Linienfertigung	Fließfertigung
	Kontinuität des Materialflusses	kontinuierlich	Chargenproduktion		Diskontinuierlich
	Materialflussform	glatt	konvergierend	divergierend	Umgruppierend
	Materialflusskomplexität	Sehr komplex mit Rückflüssen	Komplex ohne Rückflüsse	überschaubar	Einfach
	Planungsbesonderheiten	Rüstzyklen Kampagnen	Mindestmengen Chargen	gemeinsame Bearbeitung	Schleifenprozesse
	Engpass	wechselnd (Zeit und Ort)		stabil	Kein
Auftrag	Fertigungsart	Einzelstück	Kleinserie	Großserie	Massenfertigung
	Auslösegrund	Nachfrage Kundenauftrag	Prognose Vorhersageauftrag	Verbrauch Lagerergänzungsauftrag	
	Bevorratungsstrategie (Marktbezug)	Engineer-to-order	Make-to-order	Finalise-to-order	Make-to-stock

Neben der Validierung der in Kapitel 4 deduktiv aus der Literatur abgeleiteten betriebstypologischen Merkmale der flexibilitätsorientierten Prozessindustrie wurde damit in diesem Kapitel die folgende Forschungsfrage beantwortet:

„Welche Planungsspezifika weist ein Produktionssystem in der flexibilitätsorientierten Prozessindustrie auf?“

Nachdem nun die Planungsbesonderheiten empirisch-induktiv anhand eines Fallbeispiels konkretisiert wurden, stellt sich die Frage mit welchen wissenschaftlichen Ansätzen das operative Produktionsmanagement unter diesen Rahmenbedingungen gestaltet und verbessert werden kann. Zur Beantwortung dieser zentralen Forschungsfrage sind zunächst die Teilbereiche des operativen Produktionsmanagements, die in dieser Arbeit betrachtet werden sollen, einzugrenzen. Aufgrund der typischen Eigenheiten der Prozessindustrie zeigte sich vor allem ein Forschungsbedarf in der Materialbedarfsplanung und in der Produktionsablaufplanung und -steuerung. Durch die geringteilige Erzeugnisstruktur ist die Materialbedarfsplanung in der Prozessindustrie eng mit der Erzeugnisprogrammplanung verbunden. Damit werden alle drei Teilbereiche, die in Kapitel 3 im Basismodell des operativen Produktionsmanagement definiert wurden, in der Arbeit miteinbezogen.

In Kapitel 6 wird dazu zunächst ein Vorgehensmodell für die Materialbedarfsplanung entwickelt. Die Ableitung einer Lösung erfolgt analytisch-deduktiv auf Basis bestehender Verfahren aus der Materialwirtschaft und dem Supply Chain Management. Die Validierung des Konzeptes erfolgt durch die Konkretisierung anhand des Fallbeispiels. Für die Produktionsablaufplanung und -steuerung wird in Kapitel 7 deduktiv eine Lösung auf Basis von Data-Mining aus der Literatur entwickelt. Die Konkretisierung und Validierung des als „Lean-Data-Mining“ bezeichneten Vorgehenskonzeptes erfolgt in Kapitel 8. In beiden Konzepten geht es darum, implizit vorhandenes Wissen aus der Supply Chain bzw. aus Produktionsdaten zu externalisieren und zur Verbesserung logistischer Zielgrößen verfügbar zu machen. Daher wurden beide Vorgehenskonzepte unter dem Überbegriff „Wissenschaftliche Ansätze“ für das operative Produktionsmanagement zusammengefasst.

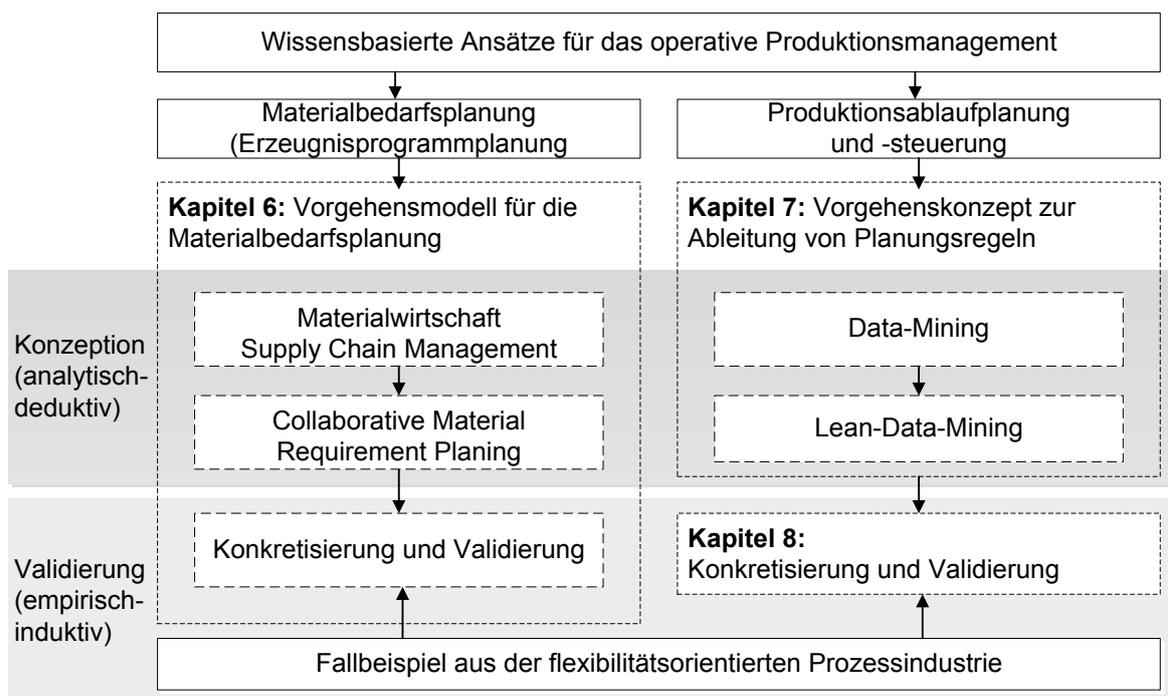


Abbildung 58: Wissenschaftliche Ansätze für das operative Produktionsmanagement

## 6 Vorgehensmodell für die Materialbedarfsplanung

Nach Bestimmung der charakteristischen Merkmale der flexibilitätsorientierten Prozessindustrie in Kapitel 4 und Konkretisierung der Planungsbesonderheiten in Kapitel 5, werden in diesem Kapitel zunächst bestehende Methoden zur Analyse und Verbesserung der Materialbedarfsplanung kritisch auf ihre Eignung für das betrachtete Produktionssystem untersucht. Um einen Überblick über die bestehenden Prozesse zu bekommen, widmet sich Abschnitt 6.1 zunächst der Wertstromanalyse. Da sich diese zur vereinfachten und zweckmäßigen Abbildung der relevanten Prozesse bewährt hat, wurde für eine ausgewählte Produktgruppe des Fallbeispiels eine wertstromorientierte Analyse durchgeführt. Abschnitt 6.2 beschäftigt sich mit den Verfahren der Materialbedarfsplanung und deren Anwendungsmöglichkeiten anhand des Fallbeispiels. In Abschnitt 6.3 werden kollaborative Ansätze aus dem Supply Chain Management erläutert, die sich in der Literatur und Praxis bereits zur Verbesserung des Informationsflusses als geeignet erwiesen haben. In Abschnitt 6.4 wird ein neues Verfahren für die kollaborative Materialbedarfsplanung vorgestellt, das auf dem Konzept des Collaborative, Planning, Forecasting and Replenishment (CPFR) und Postponement basiert. Die Konkretisierung und Validierung des Vorgehenskonzeptes anhand des Fallbeispiels wird ebenfalls in diesem Abschnitt beschrieben. In der Praxis konnte damit durch Externalisierung des in der Supply Chain vorliegenden Wissens eine Verbesserung logistischer Zielgrößen erzielt werden.

Durch die Entwicklung eines neuen Vorgehensmodells für die Materialbedarfsplanung, das anhand des Fallbeispiels zu einer Verbesserung der Liefertreue führte, wird damit die folgende Forschungsfrage in diesem Kapitel abgedeckt:

*„Mit welchem Vorgehensmodell kann die Materialbedarfsplanung in der flexibilitätsorientierten Prozessindustrie unter Nutzung des in der Supply Chain vorliegenden Wissens verbessert werden?“*

### 6.1 Wertstromorientierte Analyse

Als eine der wichtigsten Methoden zur Analyse und Optimierung von Produktionsabläufen hat sich die von Rother/Shook entwickelte und im Buch „Learning to See“ publizierte Wertstrommethode etabliert, die aus einer Wertstromanalyse und einem Wertstromdesign besteht.<sup>390</sup> Nach einer Analyse der Abläufe des Wertstroms, werden diese in der Designphase neu gestaltet, mit dem Ziel Durchlaufzeiten zu reduzieren oder allgemein Verschwendungen zu vermeiden. Unter Wertstrom wird der gesamte Fluss von den Lieferanten der Rohstoffe und Kaufteile bis hin zu den Kunden verstanden. Ohne detaillierte Einzelschritte und Ausnahmen wird ein klares und übersichtliches Modell erstellt, das den Wertstrom in einer Vogelperspektive darstellt und eine ganzheitliche Perspektive auf die Produktionsabläufe vermitteln soll.<sup>391</sup>

Die Wertstromanalyse bietet sich zur einfachen und zweckmäßigen Modellierung der Tätigkeiten innerhalb der Produktion an, indem sie eine vereinfachte und zweckmäßige Abbildung der relevanten Prozesse ermöglicht. Die Modellierung des Wertstroms basiert auf

<sup>390</sup> Vgl. Rother/Shook (1999)

<sup>391</sup> Vgl. Grabner (2012), S. 118

sechs Grundelementen, die jeweils mit ihren spezifischen Parametern beschrieben werden können:<sup>392</sup>

- (1) Produktionsprozesse beschreiben die unmittelbar produzierenden Tätigkeiten.
- (2) Geschäftsprozesse beschreiben die Aufgaben der Auftragsabwicklung und der Produktionsplanung und –steuerung.
- (3) Der Materialfluss beschreibt den Transport der Materialien zwischen den Produktionsprozessen und die Bestände.
- (4) Der Informationsfluss beschreibt die transferierten Daten und Dokumente zwischen den Geschäftsprozessen und Produktionsprozessen.
- (5) Der Kunde bildet die Kundennachfrage und somit die Systemlast ab.
- (6) Der Lieferant bildet die Versorgung der Produktion mit Rohmaterialien ab.

Die Wertstromanalyse wird jeweils für eine Produktfamilie durchgeführt und üblicherweise in der Serienproduktion bzw. in der Fließfertigung angewandt, um Verbesserungspotentiale mithilfe eines Wertstromdesigns abzuleiten. Bei den deutlich komplexeren Gegebenheiten in der variantenreichen Kleinserienfertigung sowie der kundenspezifischen Produktion ist ein weiterführendes Wertstromdesign insbesondere in der variantenreichen und flexibilitätsorientierten Prozessindustrie jedoch nicht einfach anwendbar. Ein wesentlicher Ansatz beim Wertstromdesign ist die Produktionsstrukturierung nach zu definierenden Produktfamilien, die sich durch einheitliche Produktionsablauffolgen ergeben.<sup>393</sup> Die Herausforderung bei einer produktfamilienorientierten Segmentierung in der variantenreichen Werkstattfertigung entsteht durch die hohe Anzahl an unterschiedlichen Produktionsablauffolgen, die durch die Produktionsflexibilität möglich sind, und die hohe Vernetzung der beteiligten Anlagen, die nicht exklusiv für einen Wertstrom zur Verfügung stehen.

Eine wertstromorientierte Analyse eignet sich im Fallbeispiel nur für einen eher einfacheren Produktdurchlauf, daher wurde eine Produktgruppe mit dem einfachsten Produktdurchlauf und einer hohen Produktionsmenge ausgewählt. Abbildung 59 zeigt das Ergebnis der wertstromorientierten Analyse mit den für die weitere Arbeit relevanten Kennzahlen. Dabei wurden nicht alle üblicherweise bei einer Wertstromanalyse erhobenen Kennzahlen zu den einzelnen Prozessen, wie Bearbeitungszeit, Rüstzeit, etc. ermittelt. Einerseits fehlen dazu die Materialflüsse anderer Produktfamilien, die dieselben Ressourcen teilen, andererseits sind dadurch auch die durchschnittlichen Bearbeitungszeiten und Rüstzeiten nicht aussagekräftig. Die durchgeführte Analyse wird daher nicht als Wertstromanalyse sondern als wertstromorientierte Analyse bezeichnet.

Daraus sind ein relativ hoher Bestand und eine im Verhältnis zur geforderten Lieferzeit hohe kumulierte Durchlaufzeit für eine Legierungskategorie ersichtlich. Da bei diesen Legierungen sowohl die Durchlaufzeit in der Gießerei aufgrund des Homogenisierens als auch die Durchlaufzeit im Walzwerk um jeweils eine Woche länger ist als bei den anderen Legierungen, müssen entsprechende Walzbarren in der richtigen Legierung und Dimension auf Vorrat gehalten werden, um die gewünschte Lieferzeit des Kunden einhalten zu können. Aufgrund oft fehlender Walzbarren dieser Legierungskategorie ergibt sich die Notwendigkeit die Walzbarrenbedarfsplanung detaillierter zu untersuchen.

---

<sup>392</sup> Vgl. Erlach (2010), S. 32f

<sup>393</sup> Vgl. Erlach (2010), S. 128

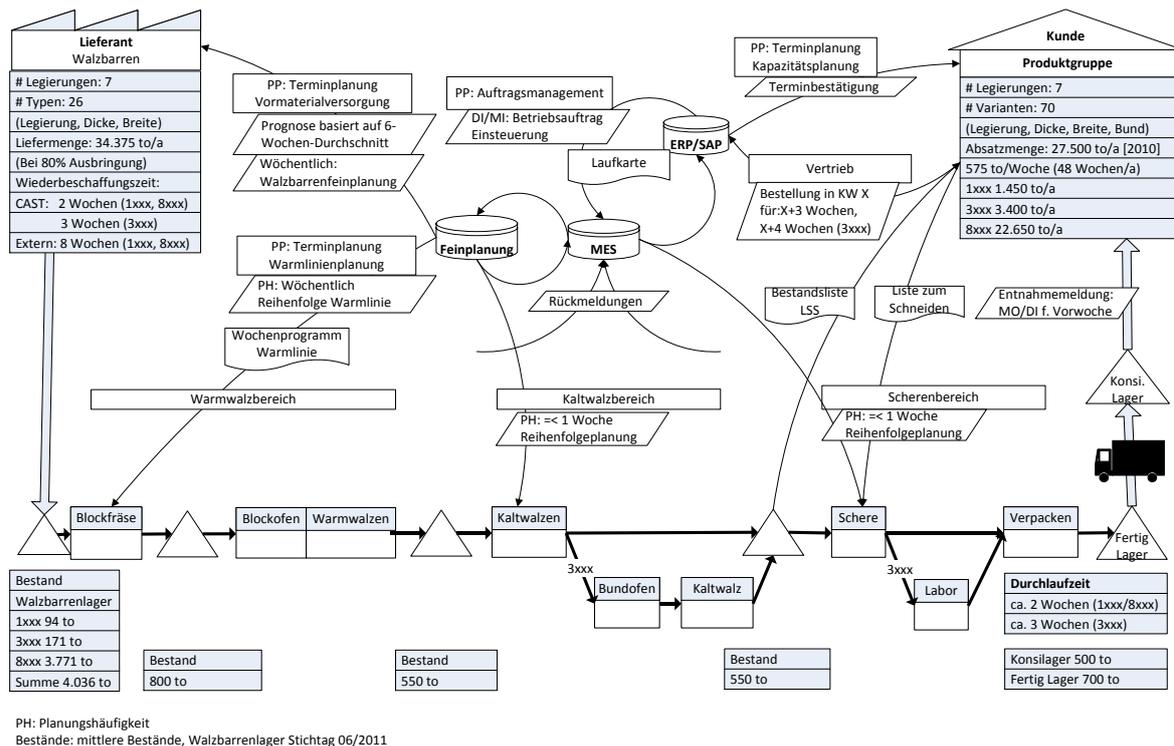


Abbildung 59: Wertstromorientierte Analyse

## 6.2 Materialbedarfsplanung

Ein wesentlicher Einflussfaktor auf die Durchlaufzeit ist die Verfügbarkeit der Materialien, im Fallbeispiel der Walzbarren, zur richtigen Zeit, in der richtigen Menge, in der richtigen Legierung und in der richtigen Dimension. Die Materialwirtschaft trägt damit wesentlich zum Erreichen der logistischen Zielgrößen bei. Ausgehend von einer Erläuterung der üblichen Verfahren zur Materialbedarfsermittlung, wird die Anwendung dieser Verfahren anhand des Fallbeispiels diskutiert.

### 6.2.1 Verfahren der Materialbedarfsplanung

Die Materialbedarfsplanung, als Teilbereich der in 3.2.3 erläuterten Bereitstellungsplanung, folgt gemäß dem sukzessiven PPS-Planungsprinzip nach der mittelfristigen Planung des Produktionsprogramms. Aufgabe ist die Festlegung der Mengen der zu beschaffenden Einzelteile und zu fertigenden Baugruppen, um die gewünschte Stückzahl der Endprodukte produzieren zu können. Neben den Mengen ist auch zu bestimmen, wann die erforderlichen Materialien zu beschaffen sind, um die Endprodukte termingerecht fertig stellen zu können.<sup>394</sup> Die Aufgabe der Materialdisposition ist damit die Festlegung welches Material zu welchen Terminen in welcher Menge benötigt wird. Die dazu entwickelten Dispositionsverfahren und Planungsarten lassen sich in verbrauchsgesteuerte und plangesteuerte Verfahren untergliedern.<sup>395</sup> Als dritte Art findet man in der Literatur auch noch heuristische Verfahren. Damit kann die Materialbedarfsermittlung wie in Tabelle 21 dargestellt in Abhängigkeit von

<sup>394</sup> Vgl. Hansmann (2006), S. 284f

<sup>395</sup> Vgl. Gronau (2004), S. 39f

der Bedarfsart marktorientiert (heuristisch), programmorientiert (deterministisch) oder verbrauchsorientiert (stochastisch) erfolgen.<sup>396</sup>

Tabelle 21: Verfahren der Bedarfsermittlung<sup>397</sup>

Bedarfs- ermittlung:	marktorientiert (heuristisch)	programmorientiert (deterministisch)	verbrauchsorientiert (stochastisch)
	Festlegung des Produktionsplanes auf der Grundlage der Auftragseingänge (bei Auftragsfertigung) oder Absatzerwartung (Schätzung des Absatzes von End-erzeugnissen bei Fertigung für den anonymen Markt)	Aus dem Produktionsplan wird der Bedarf abgeleitet. Die Kenntnis der Erzeugnisstruktur wird vorausgesetzt.	An dem Verbrauch der Vergangenheit orientierte Übertragung des Bedarfs in die Zukunft (Prolongation)
<b>Einsatzgebiet:</b>	Neue Produkt Unzureichende Datenbasis Sehr geringwertige Güter Andere Methoden zu aufwendig	Durchlaufzeit kleiner als die Lieferzeit Hochwertige Güter Kundenspezifische Güter Bekanntes Auftragslage	Durchlaufzeit größer als die Lieferzeit Geringwertige, Kunden- unspezifische Güter Häufig benötigte Güter
<b>Hilfsmittel:</b>	Befragung, Beobachtung, Zeitreihenanalyse	Stückliste, Arbeitsplan	Prognosemethoden

### Plangesteuerte Bedarfsermittlung

Die plangesteuerte oder auch programmgebundene genannte Materialbedarfsplanung, die auch auftragsorientierte oder deterministische Materialbedarfsplanung genannt wird, leitet den Materialbedarf unmittelbar aus dem Produktionsprogramm der jeweiligen Planungsperiode ab.<sup>398</sup> Auf Basis konkreter Aufträge oder aus dem Produktionsprogramm werden die exakten Mengen und Termine für die Primärbedarfe ermittelt. Die Sekundärbedarfe werden durch Auflösung der Stücklisten nach dem in Abschnitt 3.3.1 erläuterten MRP-Konzept ermittelt.

### Verbrauchsorientierten Bedarfsermittlung

Bei der verbrauchsorientierten Bedarfsermittlung erfolgt eine Bedarfsprognose auf Basis von Vergangenheitswerten. Die mathematische Ermittlung der Bedarfe mittels statistischer Methoden setzt eine gewisse Bedarfskontinuität voraus. Damit ergeben sich automatisch Probleme bei sporadischem und stark schwankendem Bedarf. Die Vorgehensweise bei dieser stochastischen Bedarfsermittlung erfolgt typischerweise in fünf Schritten, die in Abbildung 60 abgebildet sind. Nach Aufnahme von Zeitreihen für die ausgewählten Materialien sind im zweiten Schritt die zugrundeliegenden Verbrauchsmodelle zu bestimmen. Dabei lassen sich prinzipiell drei Arten von Bedarfsverläufen unterscheiden:<sup>399</sup>

- Sporadisch: ein sehr sporadische und unregelmäßiger Bedarf ist nur sehr schwer planbar
- Stark schwankend: eine stark schwankender und unregelmäßiger Bedarf ist ebenfalls nur schwer planbar
- Konstant: im einfachsten Fall ist ein konstanter regelmäßiger Bedarf gut planbar

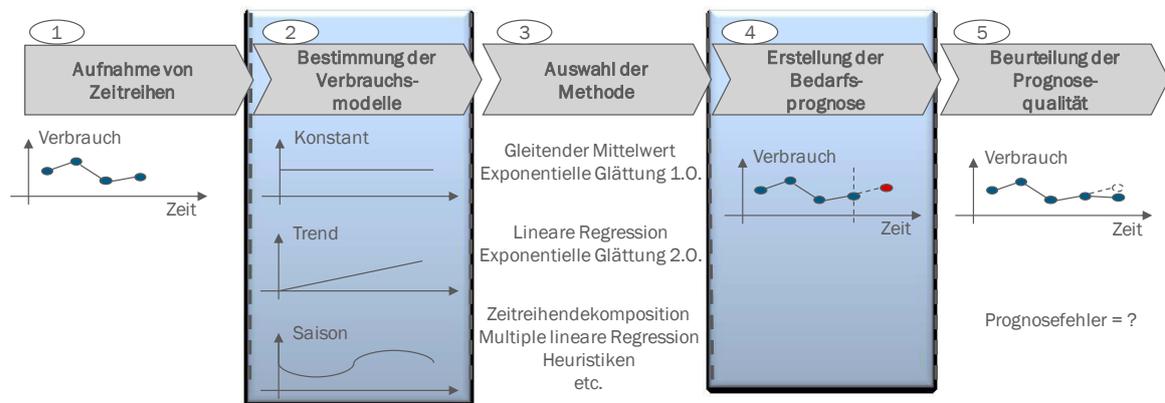
<sup>396</sup> Vgl. Schulte (2001), S. 115f

<sup>397</sup> Quelle: in Anlehnung an Schulte (2001), S. 116, Norbert/Marcus (2010), S. 143

<sup>398</sup> Vgl. Schulte (2001), S. 129

<sup>399</sup> Vgl. Wannewetsch (2007), S. 47

- Trendbeeinflussender Verlauf: sofern der Trend mit gleichmäßiger Steigerung verläuft gut planbar
- Saisonabhängig: sofern die Saison bekannt ist, wie Winter und Sommer, gut planbar

Abbildung 60: Stochastische Bedarfsermittlung<sup>400</sup>

Im dritten Schritt wird die für den jeweiligen Bedarfsverlauf geeignetste stochastische Methode ausgewählt und damit eine Bedarfsprognose erstellt.<sup>401</sup> Die Beurteilung der Prognosequalität der generierten Prognose erfolgt durch Berechnung des Prognosefehlers. Dadurch erfolgt eine Feintuning der Parameter für die gewählte Prognosemethode.

### Heuristische Bedarfsermittlung

Die Schätzung des zukünftigen Materialbedarfs wird als heuristische oder auch marktorientierte Materialbedarfsermittlung bezeichnet und kann entweder durch eine Analogschätzung oder durch eine Intuitivschätzung erfolgen. Bei einer Analogschätzung werden die Ergebnisse der Vorhersage des Bedarfs bestimmter Materialarten auf andere Materialarten übertragen. Bei einer Intuitivschätzung erfolgen die Schätzungen der Bedarfsentwicklung auf der Grundlage von Erfahrungen und Vermutungen.<sup>402</sup>

### Auswahl der Bedarfsermittlungsmethode

Die Auswahl der Methoden zur Bedarfsermittlung erfolgt in Abhängigkeit von der Ausrichtung des Unternehmens und wird durch die unternehmensspezifischen Zielpriorisierungen in Richtung Qualität, Kosten und Flexibilität determiniert. Als charakteristische Merkmale werden für die Methodenauswahl neben der Frequenz der Kundennachfrage und der Einheitskosten vor allem der Kundenauftragseindringungspunkt (Order Penetration Point OPP) benötigt.<sup>403</sup> Als Schlüsselgröße im Logistikmanagement entspricht dieser der Zeitachse, ab dem ein Produkt ein bestimmter Kundenauftrag zuordenbar ist. Abwärts vom Auftragseindringungspunkt erfolgt üblicherweise eine deterministische Bedarfsermittlung sofern genaue Daten aus Kundenaufträgen vorliegen. Aufwärts ist nur eine stochastische Bedarfsermittlung auf Basis von Vergangenheitswerten

<sup>400</sup> Quelle: Schulte (2005)

<sup>401</sup> Zur Eignung der stochastischen Methoden bei den genannten unterschiedlichen Bedarfsverläufen siehe beispielsweise Wannowetsch (2007), S. 51

<sup>402</sup> Vgl. Nebl (2007), S. 242

<sup>403</sup> Vgl. Abschnitt 4.4

und Prognosen möglich. Der Order Penetration Point, der sich in Abbildung 61 wie oben beschrieben darstellen lässt, zeigt dadurch die Flexibilität der Auftragserfüllung an.<sup>404</sup>

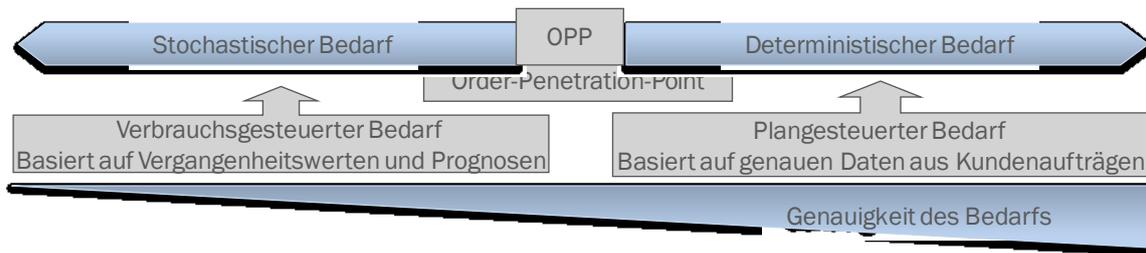


Abbildung 61: Stochastische und deterministische Bedarfsermittlung

Falls die kumulierte Durchlaufzeit inklusive Beschaffungslieferzeiten kleiner als die vom Kunden gewünschte Lieferzeit ist, kann mit der Beschaffung gewartet werden, solange bis ein effektiver Kundenauftrag vorliegt. Im anderen Fall müssen die Produkte auf Basis von Prognosen auf Lager beschafft werden.

Bei hoher regulärer Frequenz der Nachfrage und eher niedrigen Einheitskosten können eher einfache Techniken, wie das Fortschrittszahlenprinzip, Kanban oder Bestellbestandsverfahren eingesetzt werden. Bei sporadischer unregelmäßiger Nachfrage oder bei eher teuren Produkten können die Methoden anhand der Genauigkeit des Bedarfs und der Beziehung zu anderen Bedarfsarten ausgewählt werden.<sup>405</sup>

Durch die in Abbildung 62 dargestellte zweidimensionale Beziehung, in der neben dem Auftragseindringungspunkt auch die Beziehung zu anderen Bedarfen berücksichtigt wird, lassen sich vier Kombinationen zur Ableitung der Verfahrensauswahl bilden:<sup>406</sup>

**(1) Deterministischer, unabhängiger Bedarf**

Die Beschaffung der Endprodukte, die abwärts vom Auftragseindringungspunkt liegen, erfolgt gemäß dem Kundenauftrag. Im Rahmen der Kundenauftragsbearbeitung wird ein Kundenauftrag als primärer deterministischer Bedarfsträger erzeugt.

**(2) Deterministischer, abhängiger Bedarf**

Der deterministische abhängige Bedarf wird mittels MRP-Verfahren über eine Auflösung der Produktstruktur in die abhängigen Komponenten ermittelt. Dieses relativ aufwändige Verfahren ist vor allem dann lohnend, wenn man als Ziele eine hohe Liefertreue und geringe Bestände verfolgt.

**(3) Stochastischer, unabhängiger Bedarf**

Unabhängige Bedarfe von Artikeln aufwärts vom Auftragsdurchdringungspunkt werden intuitiv oder mittels einer Heuristik prognostiziert.

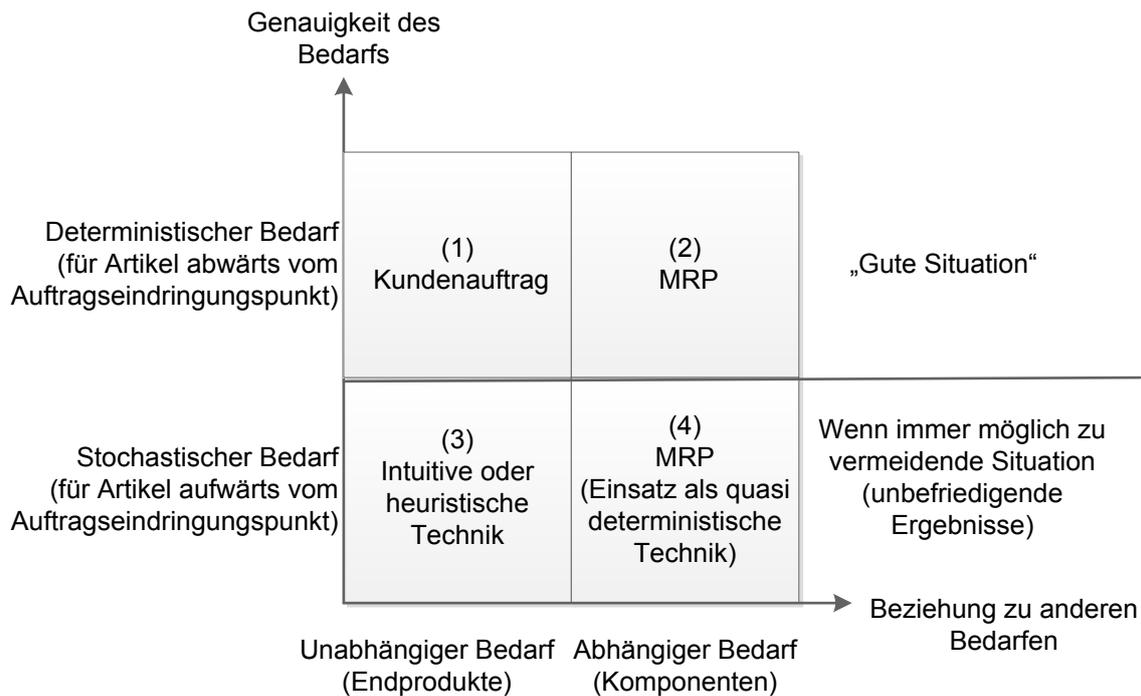
**(4) Stochastischer, abhängiger Bedarf**

Aus der Prognose des Primärbedarfs wird der zugehörige abhängige Bedarf quasideterministisch abgeleitet. Da der abhängige Bedarf vom prognostizierten Primärbedarf über eine Stücklistenauflösung ermittelt wird, spricht man von einer quasideterministischen Stücklistenauflösung.

<sup>404</sup> Vgl. Schönsleben (2008), S. 237f

<sup>405</sup> Vgl. Schönsleben (2008), S. 239

<sup>406</sup> Vgl. Schönsleben (2008), S. 239ff

Abbildung 62: Klassifikation Methoden der Materialbedarfsplanung<sup>407</sup>

### 6.2.2 Analyse der Materialwirtschaft

Zur Identifikation von Verbesserungspotentialen in der Materialwirtschaft und zur Ableitung von konkreten Bereitstellungsverfahren hat sich die Untersuchung der Ist-Struktur durch ABC- und XYZ-Analyse bewährt. Während die ABC-Analyse die Materialien nach der Verteilung ihrer Werthäufigkeit klassifiziert, um wesentliches von unwesentlichem Material zu trennen, klassifiziert die XYZ-Analyse die Beschaffungsobjekte anhand ihrer Verbrauchsstruktur.<sup>408</sup>

#### ABC-Analyse

Die ABC-Klassifikation teilt eine Menge von Materialien mittels einer Pareto-Analyse in drei Klassen A, B und C ein, um die Wichtigkeit eines Materials in Bezug auf die Gesamtheit der Materialien zu ermitteln. Ausgangsbasis für die Berechnungen bildet eine Verbrauchsstatistik, d.h. eine Auswertung aller Bestandstransaktionen, für die folgenden Attribute im bestandsführendem System festgehalten werden:<sup>409</sup>

- Datum der Transaktion, Identifikation des Artikels, Bewegte Menge
- Verantwortlicher Mitarbeiter für die Erfassung der Warenbewegung
- Quelle und Senke der betroffenen Kunden-, Produktions- oder Einkaufsaufträge bzw. Lagerbestandspositionen (Soll- und Habenpositionen in der Finanzwirtschaft, von- und nach-Position in der Materialwirtschaft)

Ziel der durchgeführten ABC-Analyse war, die Verteilung und Anteile der am häufigsten eingesetzten Walzbarren festzustellen. Datenbasis für die Analyse war der gesamte

<sup>407</sup> Quelle: in Anlehnung an Schönsleben (2008), S. 241

<sup>408</sup> Vgl. Wannewetsch (2007), S. 73,83

<sup>409</sup> Vgl. Schönsleben (2007), S. 540

Walzbarrenverbrauch von einem Jahr für Kunden- und Versuchsaufträge. Ausgehend von den im SAP-System erfassten Bestandstransaktionen wurden die Verbrauchsbuchungen auf Fertigungsaufträge über die Bewegungsart 261 identifiziert und selektiert. Insgesamt wurden 488 unterschiedliche Walzbarren eingesetzt. Ein Walzbarrentyp ist im SAP-System als eigene Materialnummern geführt und ergibt sich im Wesentlichen aus der Kombination von Werkstoff, Gießverfahren, Dimension, Prüfung, Ausführung und Qualität.

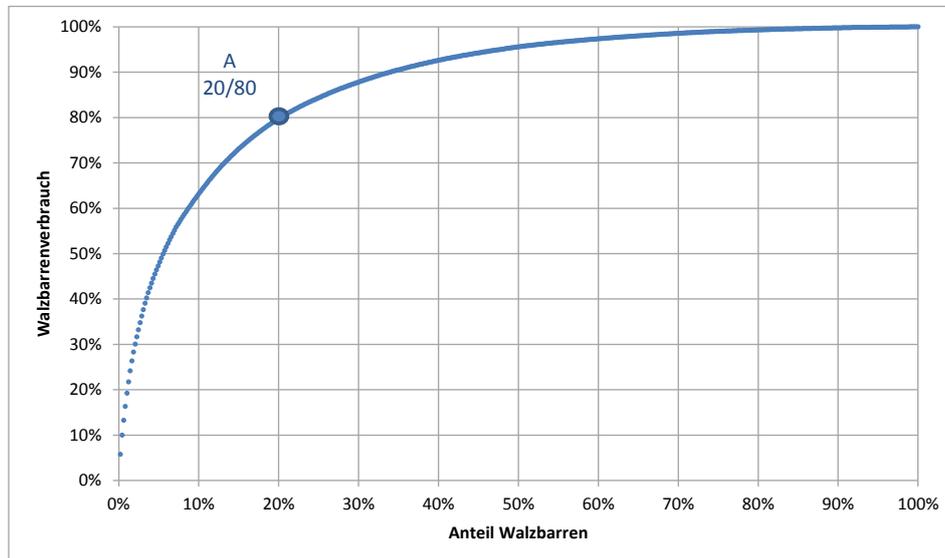


Abbildung 63: ABC-Analyse Walzbarrenverbrauch

Das Ergebnis der ABC-Analyse ist in Abbildung 63 ersichtlich und ergibt das typische Bild, wonach dem Pareto-Prinzip entsprechend 80% der Verbräuche auf 20% der eingesetzten Walzbarren fallen. Typisch für ein flexibilitätsorientiertes Produktionssystem wird die hohe Vielfalt ersichtlich. Die zu Beginn sehr steile Kurve zeigt aber auch, dass es einige wenige „Rennerbarren“ gibt, die einen großen Anteil des Gesamtverbrauchs ausmachen.

### XYZ-Analyse

Die XYZ-Analyse klassifiziert Materialien mit regelmäßiger (regulärer) oder kontinuierlicher Nachfrage als X-Artikel und Materialien mit völlig unregelmäßiger, sporadischer oder einmaliger Nachfrage als Z-Artikel. Zwischen diesen beiden Extrema liegen die Y-Artikel.<sup>410</sup>

Zur Analyse der Planungsgenauigkeit bzw. Regelmäßigkeit des Walzbarrenverbrauchs wurde daher eine XYZ-Analyse der Walzbarrenverbräuche durchgeführt, die die Materialien anhand ihrer Verbrauchsstruktur klassifiziert und den Bedarfsverlauf beschreibt.<sup>411</sup> Die Regelmäßigkeit des Verbrauchs wird mittels Variationskoeffizienten  $V$  beschrieben, der sich aus dem Verhältnis von Standardabweichung zu Mittelwert  $X$  ergibt:<sup>412</sup>

$$V = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - X)^2}}{X}$$

mit  $V$  = Variationskoeffizient

<sup>410</sup> Vgl. Schönsleben (2007), S. 545

<sup>411</sup> Vgl. Wannewetsch (2007), S. 92

<sup>412</sup> Vgl. Hering/Frick (2003), S. 141

$n$  = Gesamtanzahl der Messungen für den durchschnittlichen Verbrauch

$x_i$  = Wochenverbrauch

$X$  = durchschnittlicher Verbrauch

Die Standardabweichung ist dabei ein Indikator für die Schwankungsbreite des Verbrauchs. Der Mittelwert ist ein Indikator für den Durchschnittsverbrauch. Je geringer der Variationskoeffizient, desto gleichmäßiger sind Bedarfe eines Artikels und desto besser die Glättung und Planbarkeit, dabei ist nach Kiener folgende Kategorisierung üblich:<sup>413</sup>

- Klasse X: gleichförmig  $V < 0,3 - 0,5$
- Klasse Y: saisonal bzw. trendförmig  $0,3 - 0,5 < V < 0,7 - 1$
- Klasse Z: unregelmäßig  $V > 0,7 - 1$

In Tabelle 22 kann die Berechnung anhand eines Beispiels nachvollzogen werden. Wird ein bestimmter Walzbarrentyp jede Woche genau einmal verbraucht, ergibt das einen Variationskoeffizienten von 0 und eine eindeutige Einordnung in Klasse X. Wird hingegen ein exotischer Walzbarrentyp oder ein neuer Walzbarrentyp im Rahmen eines Forschungsprojektes während eines ganzen Geschäftsjahres nur einmal verbraucht, berechnen sich ein Mittelwert von 0,02 Walzbarren pro Woche und ein Variationskoeffizient von 7 bzw. 700 Prozent. Dieser Exot fällt daher in die Kategorie Z. Diese beiden Extremfälle geben damit die untere und obere Grenze des Variationskoeffizienten vor.

Tabelle 22: Beispiel zur Kategorisierung der Walzbarrenverbräuche nach der XYZ-Analyse

Beispiele	Mittelwert	Standardabweichung	Variationskoeffizient	Klasse
1 Walzbarren je Woche	1	0	0 bzw. 0%	X
Abwechselnd 1 und dann 3 je Woche	2	1	0,5 bzw. 50%	Y
Abwechselnd 10 und dann 30 je Woche	20	10	0,5 bzw. 50%	Y
1 Walzbarren im Jahr	0,02	0,14	7 bzw. 707%	Z

Datenbasis für die Analyse war wieder der gesamte Walzbarrenverbrauch für Fertigungsaufträge eines gesamten Jahr inklusive Versuche. Insgesamt wurden 488 unterschiedliche Walzbarren eingesetzt. Aufgrund der von der Warmlinie ausgehenden üblichen Wochenplanung wurde als Mittelwert die Anzahl der Walzbarren je Kalenderwoche verwendet. Die Ergebnisse auf Wochenbasis sind in Tabelle 23 dargestellt.

Tabelle 23: Ergebnis der XYZ-Analyse der Walzbarrenverbräuche

Klasse	X	Y	Z
Variationskoeffizient	$V < 0,5$	$0,5 < V < 1,0$	$V > 1,0$
Verbrauch	konstant	schwankend, saisonal, trendmäßig fallend oder steigend	völlig unregelmäßig
Vorhersagegenauigkeit	hoch	mittel	gering
Materialnummern abs.		10	478
Materialnummern in %		2%	98%

<sup>413</sup> Vgl. Kiener (2009), S. 91. In der Literatur finden sich auch andere Grenzen für die Klassifizierung. Hering ordnet Materialien bereits bei Variationskoeffizienten ab 25% der Z-Klasse zu, vgl. Hering/Frick (2003), S. 141. In dieser Arbeit wurden jedoch die oberen Grenzwerte gewählt, da die Ergebnisse ohnehin sehr hoch sind.

Auch wenn das Vorliegen von einigen wenigen Rennerbarren, eine hohe Vorhersagegenauigkeit mit konstantem Verbrauch vermuten lässt, zeigt die XYZ-Analyse ein anderes Bild. Aus der XYZ-Analyse geht ein großer Anteil an Walzbarren mit völlig unregelmäßigem und schwer vorhersehbarem Verbrauch hervor, d.h. „Exoten“ die der Klasse Z zugeordnet werden. Einige wenige Materialien weisen eine mittlere Vorhersagegenauigkeit mit schwankendem Verbrauch auf. Es gibt aber keine Materialien mit einer hohen Prognosegenauigkeit und konstantem Verbrauch.

Zurückzuführen ist diese Situation zum einen auf die hohe Variantenvielfalt mit einer sehr hohen Anzahl von Walzbarren in unterschiedlicher Legierung bzw. Dimension mit geringen Jahresmengen. Auf der anderen Seite wird deutlich, dass auch die Rennerbarren bereits bei der Einsteuerung zu Losen in unterschiedlicher Auflagenhöhe zusammengefasst werden und in unterschiedlicher zeitlicher Verteilung gefertigt werden. Als dritte Ursache ist der hohe Anteil an Versuchsaufträgen zu nennen. Der hohe Innovationsgrad führt zu ständig neuen Walzbarren, die sich vor allem durch eine neue Legierungszusammensetzung differenzieren. Auch die Optimierung der Ausbringung führt zu neuen Dimensionen der Walzbarren.

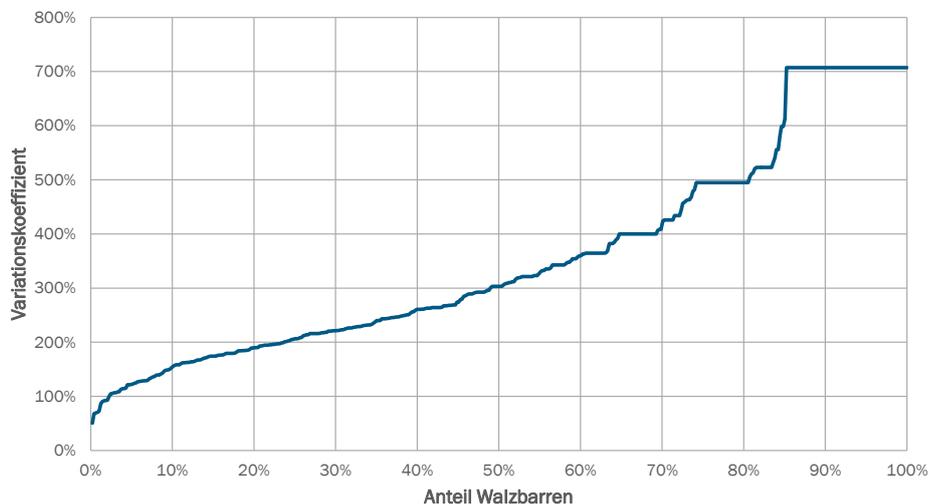


Abbildung 64: Variationskoeffizient Walzbarrenverbrauch 2010

### Kombinierte ABC- und XYZ-Analyse

In der Literatur sind Normstrategien für die Beschaffung auf Basis von kombinierten ABC- und XYZ-Analysen festgelegt.<sup>414</sup> Anhand einer Matrix wie in Tabelle 24 lassen sich für die einzelnen Materialcluster typische Bereitstellungs- und Beschaffungssysteme ableiten.<sup>415</sup> Die ABC-Analyse klassifiziert dabei die Materialien nach dem Wertanteil. Im Fallbeispiel handelt es sich bei den eingesetzten Materialien, jedoch immer um Walzbarren, die sich vor allem durch Merkmale wie Legierung und Dimension unterscheiden. Der Materialwert, der sich aus den Materialkosten und der Wertschöpfung in der Gießerei zusammensetzt, unterscheidet sich dabei nicht wesentlich. Die Materialkosten ergeben sich aus den Preisen für Aluminium und für die Legierungselemente. Durch den hohen Aluminiumanteil ergeben sich damit keine sehr großen Unterschiede, auch wenn einige Legierungszusätze teurer sind als andere. Eine ABC-Analyse nach Wert wurde daher nicht durchgeführt, da die Walzbarren im Vergleich zu den sonstigen Materialien, wie Hilfs- und Betriebsstoffe, alle in die Kategorie A zu stufen sind. Bei

<sup>414</sup> Vgl. Arnolds et al. (2009), S. 27; Hering/Frick (2003), S. 142

<sup>415</sup> Vgl. Tempelmeier (2006), S. 28

annähernd gleichen Preisen verhält sich der Wert der eingesetzten Materialien proportional zur Menge der eingesetzten Materialien. Demnach könnte die ABC-Einstufung auch nach der durchgeführten Mengenverteilung erfolgen.

Tabelle 24: Kombinierte ABC- und XYZ-Analyse<sup>416</sup>

	A	B	C
X	<ul style="list-style-type: none"> <li>– hoher Wert</li> <li>– hohe Vorhersagegenauigkeit</li> <li>– gleichmäßiger Verbrauch</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– mittlerer Wert</li> <li>– hohe Vorhersagegenauigkeit</li> <li>– gleichmäßiger Verbrauch</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– niedriger Wert</li> <li>– hohe Vorhersagegenauigkeit</li> <li>– gleichmäßiger Verbrauch</li> </ul>
Y	<ul style="list-style-type: none"> <li>– hoher Wert</li> <li>– mittlere Vorhersagegenauigkeit</li> <li>– schwankender Verbrauch</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– mittlerer Wert</li> <li>– mittlere Vorhersagegenauigkeit</li> <li>– schwankender Verbrauch</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– niedriger Wert</li> <li>– mittlere Vorhersagegenauigkeit</li> <li>– schwankender Verbrauch</li> </ul>
Z	<ul style="list-style-type: none"> <li>– hoher Wert</li> <li>– niedrige Vorhersagegenauigkeit</li> <li>– unregelmäßiger Verbrauch</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– mittlerer Wert</li> <li>– niedrige Vorhersagegenauigkeit</li> <li>– unregelmäßiger Verbrauch</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– niedriger Wert</li> <li>– niedrige Vorhersagegenauigkeit</li> <li>– unregelmäßiger Verbrauch</li> </ul>

Auf Basis einer reinen XYZ-Klassifizierung lassen sich die folgenden allgemeinen Bereitstellungsempfehlungen ableiten:<sup>417</sup>

- **Klasse X:** Für die X-Teile wird eine fertigungs- bzw. bedarfssynchrone Just-in-Time-Beschaffung empfohlen.
- **Klasse Y:** Für Y-Teile ist eine Disposition und Beschaffung auf Vorrat auf Basis programmorientierter Monatsprogramme in Erwägung zu ziehen.
- **Klasse Z:** Für Z-Teile empfiehlt sich eine verbrauchsorientierte Beschaffung im Bedarfsfall.

Berücksichtigt man auch noch die Ergebnisse der ABC-Analyse ergeben sich anhand der neun-Felder-Matrix folgende drei Strategien:<sup>418</sup>

- **AX-, BX-, AY-Strategien:** Analog zur reinen X-Teile-Strategie eignet sich für diese Materialien, die einen hohen Anteil am Gesamteinkaufsvolumen und einen gleichmäßigen kaum schwankenden Verbrauch aufweisen, eine produktionssynchrone Just-in-Time Beschaffung.
- **BZ-, CY-, CZ-Strategien:** Für die Materialien mit geringem Wert und schlechter Prognosegenauigkeit muss der Beschaffungsaufwand durch eine einfache verbrauchsorientierte Bedarfsrechnung minimiert werden.
- **AZ-, BY-, CX-Strategien:** Materialien zwischen diesen Extremfällen müssen situativ im Einzelfall betrachtet werden, da eine eindeutige Zuordnung zu einer bestimmten Beschaffungsstrategie nicht pauschal möglich ist.

Die Anwendung der erläuterten Vorgehensweise zur Auswahl der Bedarfsermittlungsmethode soll im Folgenden anhand ausgewählter Produkte untersucht werden.

<sup>416</sup> Quelle: in Anlehnung an Wannewetsch (2007), S. 85

<sup>417</sup> Vgl. Wannewetsch (2007), S. 84

<sup>418</sup> Vgl. Hering/Frick (2003), S. 142f; Wannewetsch (2007), S. 86

### Analyse des Bedarfsverlauf ausgewählter Produkte

Die Erstellung einer Bedarfsprognose wurde für drei Produkte, die sich durch die Legierung unterscheiden und von einer umsatzstarken SGE ausgewählt wurden, anhand der oben erläuterten Schritte zur stochastischen Bedarfsermittlung untersucht.<sup>419</sup> Die SGE wurde aufgrund des hohen Mengenanteils im Vergleich zu den restlichen SGEs ausgewählt. Daraus wurde insbesondere eine Legierungskategorie aufgrund der höheren kumulierten Durchlaufzeit im Verhältnis zur Kundentoleranzzeit betrachtet, zu der drei Produkte gehören, welche in den folgenden Abbildungen mit A, B und C bezeichnet werden.

Falls die Kundentoleranzzeit bzw. die gewünschte Lieferzeit für ein Produkt mindestens so lang wie die kumulierte Durchlaufzeit ist, muss erst beschafft und produziert werden, wenn die Nachfrage eintritt, d.h. wenn der effektive Bedarf in Form einer Kundenbestellung eintritt. Im anderen Fall müssen die benötigten Rohmaterialien bestellt werden, bevor die Nachfrage bekannt ist. Für diesen Fall müssen die entsprechenden Walzbarren „auf Lager“ – d.h. auf Vorhersage – von der Gießerei vorab beschafft und damit bevorratet werden.

Basis für die Aufnahme der Zeitreihen im ersten Schritt waren die Warenausgangsbuchungen zu den Lieferungen an den Kunden eines ganzen Jahres. Die Ermittlung der abhängigen Walzbarrenbedarfe kann aufgrund der einstufigen Produktstruktur relativ einfach vorgenommen werden, indem aus den Kundenauftragsmengen über den Ausbringungsfaktor die entsprechenden Walzbarrenbedarfe in Tonnen berechnet werden.

Abbildung 65 zeigt die Mengenverläufe je Kalenderwoche ohne Vorlaufverschiebung, d.h. für die Materialterminplanung wäre noch die mittlere Produktionsdurchlaufzeit im Walzwerk und als Beschaffungszeit die Durchlaufzeit in der Gießerei einzurechnen. Am Verlauf der Kurven ändert sich durch diese rein zeitliche Verschiebung aber nichts. Die Ergebnisse zeigen sehr unregelmäßige Verbräuche sowohl mit unterschiedlichen Trends als auch mit unterschiedlichen saisonalen Faktoren. Eine Zuordnung zu einem möglichen Verbrauchsmodell wurde für jede untersuchte Zeitreihe in Tabelle 25 vorgenommen. Aufgrund der sehr unregelmäßigen Nachfrage kommt als Prognosemodell nur ein Trendmodell mit Saison in Frage. Der ermittelte Trend als auch die Saisonfaktoren sind jedoch mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht für das nächste Jahr extrapolierbar. Nach Rücksprache mit dem Kunden wurde auch bestätigt, dass die Schwankungen nicht systematisch bedingt auf eine bestimmte Saisonalität zurückzuführen sind.

Tabelle 25: Ergebnisse der Zeitreihenanalyse

Legierung	Trend	Saisonale Schwankungen	Verbrauchsmodell
A	Trend abwärts	Saisonale Schwankung (Ausreißer Jahresanfang: sehr hoher Verbrauch)	Trend mit Saison
B	Trend aufwärts	Saisonale Schwankung, ähnlich zu A, aber anderer Start (Ausreißer Jahresanfang: sehr niedriger Verbrauch)	Trend mit Saison
C	Leichter Trend aufwärts	Viele Perioden ohne Entnahmen, weniger saisonale Schwankungen	Konstant/ Trend mit Saison

<sup>419</sup> Zur Vorgehensweise beim Einsatz quantitativer Prognoseverfahren siehe auch Günther/Tempelmeier (2005), S. 144ff

Auch eine Zusammenfassung der Verbräuche in 2 und 3-wöchige Verbräuche aufgrund eines 3 wöchigen Gießzyklus ergibt unregelmäßige Abfassungen mit unterschiedlichen Trends und saisonalen Verläufen. In Abbildung 66 sind beispielhaft die 3-wöchigen aggregierten Verläufe für die drei Produkte dargestellt. Eine gute Prognose ist bei diesem Nachfrageverhalten nicht möglich. Damit führen diese starken Nachfrageschwanken mit hoher Wahrscheinlichkeit entweder zu hohen Sicherheitsbeständen oder zu einer schlechten Liefertreue.

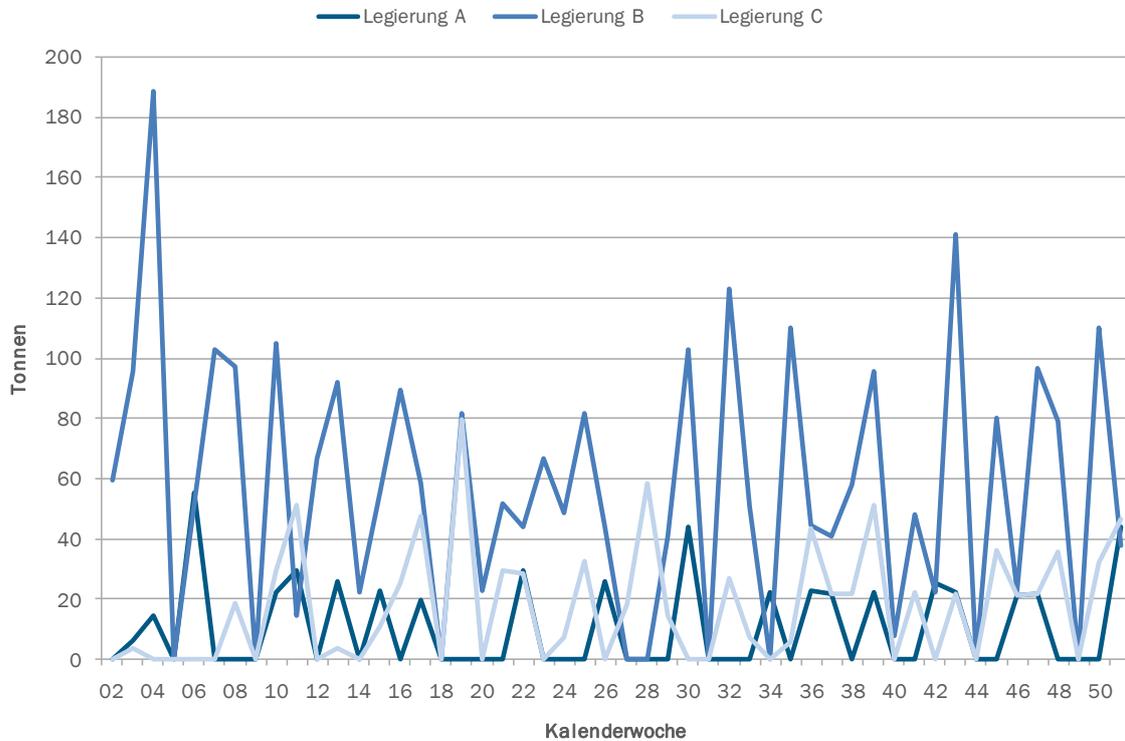


Abbildung 65: Wöchentlicher Materialbedarf für 3 Produkte

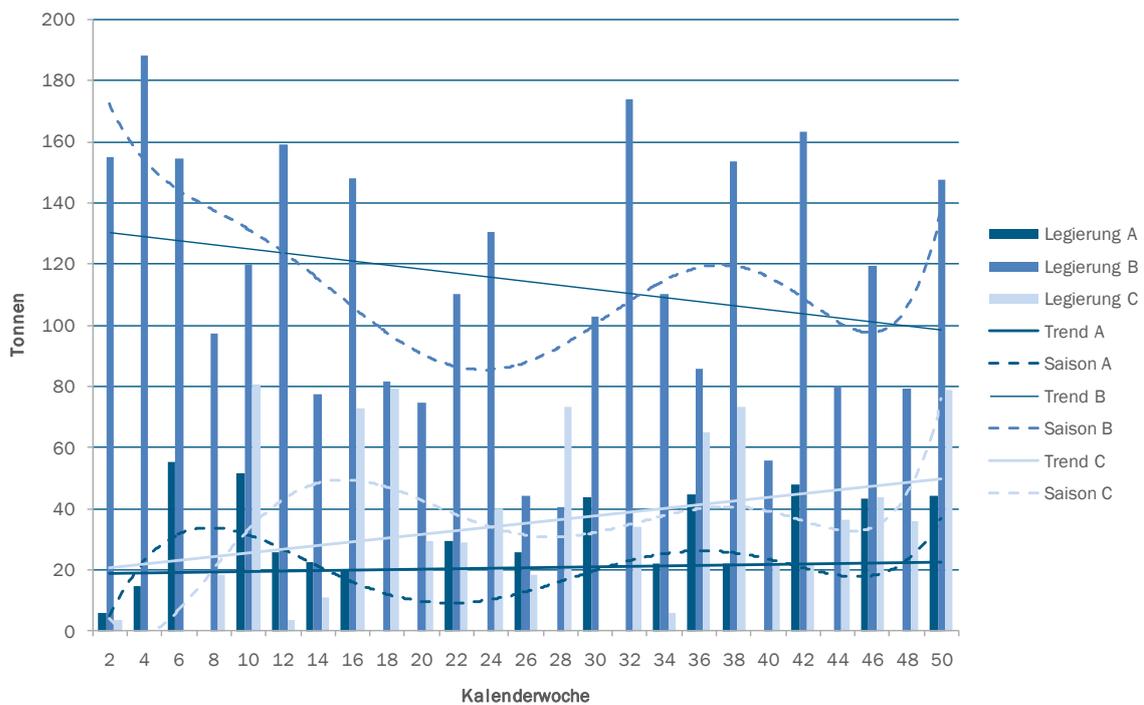


Abbildung 66: Aggregierter 3-wöchiger Materialbedarfsverlauf mit Trends für 3 Produkte

## Weitere Handlungsfelder

Neben der Schwierigkeit bei unregelmäßigen Verbräuchen das richtige Verbrauchsmodell zu bestimmen, liegt der Nachteil der erläuterten Ansätze, angefangen von der ABC- und XYZ-Analyse bis hin zur neun-Felder-Matrix vor allem darin, dass sie nicht mehr als drei dispositionsrelevanter Merkmale berücksichtigen können. In einer flexibilitätsorientierten Produktionsumgebung steigt jedoch mit Zunahme der Artikelvielfalt auch die Vielfalt der dispositionsrelevanten Merkmale, die auch zu einem erhöhten Aufwand und steigenden Anforderungen an die Disposition führt. Für eine materialspezifische Zuordnung müssen diese Normstrategien daher anforderungsspezifisch weiter differenziert und adaptiv eingesetzt werden.<sup>420</sup> Zur optimalen Konfiguration des Bestandsmanagements sind daher weitere Handlungsfelder zu analysieren. Hering hat in diesem Zusammenhang vier in Abbildung 67 dargestellte Handlungsfelder identifiziert, die zur Identifikation von Optimierungspotentialen zur Reduzierung der Bestände und Erhöhung der Lieferbereitschaft dienen sollen.<sup>421</sup> Nachdem die Möglichkeiten der Artikelklassifizierung und die zugehörigen Dispositionsmethoden erläutert wurden, werden im nächsten Abschnitt zum Handlungsfeld der Koordination und Zusammenarbeit Ansätze aus dem Supply Chain Management genauer erklärt. Das Ziel ist dabei eine Verbesserung der Logistikleistung durch eine optimierte unternehmensübergreifende Abstimmung, durch Verkürzung der Kommunikationswege sowie durch eine Vereinfachung der Zusammenarbeit. Das vierte Handlungsfeld der Datenverarbeitungs-nutzung durch leistungsfähigere Systeme ist für das betrachtete Produktionssystem nicht relevant. Potentiale ergeben sich durch eine stärkere IT vor allem bei einer tiefen und komplexen Stücklistenstruktur mit sehr vielen Materialkomponenten. Dies ist jedoch in der Prozessindustrie wie im Fallbeispiel nicht der Fall.

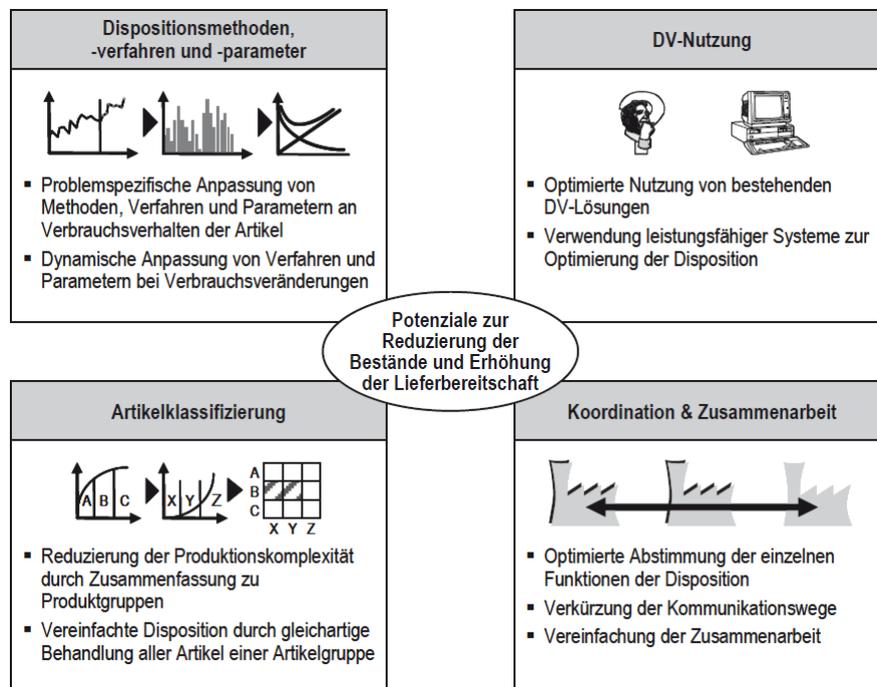


Abbildung 67: Handlungsfelder im dynamischen Bestandsmanagement<sup>422</sup>

<sup>420</sup> Vgl. Hering et al. (2012), S. 405

<sup>421</sup> Vgl. Hering et al. (2012), S. 412f

<sup>422</sup> Quelle: Hering et al. (2012), S. 413

## 6.3 Supply Chain Management Ansätze

### 6.3.1 Grundlagen des Supply Chain Managements

Während sich die Produktionsplanung und –steuerung ursprünglich nur auf die Mengen- und Terminplanung im Unternehmensbereich Produktion beschränkte, führten die zunehmende Verknüpfung und steigende Komplexität aller Unternehmensaktivitäten zu einem Wandel dieses Begriffsverständnisses. Der Betrachtungsbereich der Produktionsplanung und –steuerung hat sich von der rein innerbetrieblichen Betrachtung auf die überbetriebliche Betrachtung erweitert.<sup>423</sup> Aus diesem Grund sind auch die überbetrieblichen Ansätze aus dem Supply Chain Management zu betrachten. Dazu soll zuerst ein notwendiges Grundverständnis über das Supply Chain Management geschaffen werden, das über die bereits in Abschnitt 3.3.2 beschriebenen SCM-Systeme hinausgeht.

Beckmann definiert Supply Chain Management nach dem Ansatz des integralen Managements als, die Gestaltung, Lenkung und Entwicklung der Supply Chain über alle Wertschöpfungsstufen von der Rohstoffgewinnung bis hin zu Serviceleistungen beim Endverbraucher.<sup>424</sup>

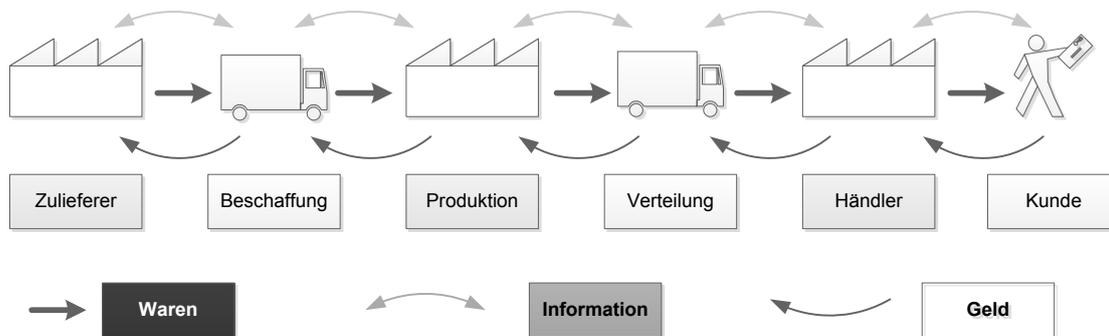


Abbildung 68: Definition von Supply Chain Management<sup>425</sup>

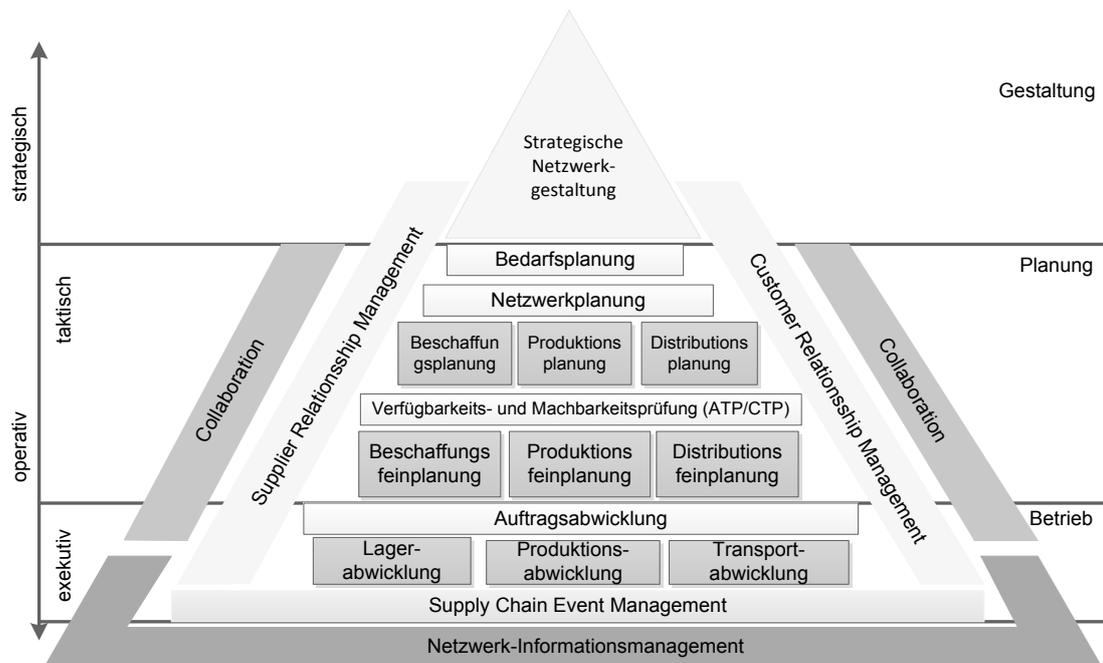
Eine pragmatische Definition ist in Abbildung 68 veranschaulicht. Demnach ist Supply Chain Management die integrierte prozessorientierte Planung und Steuerung der Waren-, Informations- und Geldflüsse entlang der gesamten Wertschöpfungskette vom Kunden bis zum Rohstofflieferanten mit den Zielen Verbesserung der Kundenorientierung, Synchronisierung der Versorgung mit dem Bedarf, Flexibilisierung und bedarfsgerechte Produktion sowie Abbau der Bestände entlang der Wertschöpfungskette.<sup>426</sup> Nach dieser ganzheitlichen Betrachtungsweise, bei der es um Aufgaben der Gestaltung, der Planung und der Steuerung des Betriebs geht, umfasst das SCM eine Reihe von Aufgaben, die in Abbildung 69 in eine operative, taktische und strategische Ebene unterteilt werden, bei der klar ersichtlich ist, dass die Produktionsplanung und operative Produktionsfeinplanung im Mittelpunkt steht. Daher hat sich eine Arbeit über operatives Produktionsmanagement auch mit gängigen Ansätzen aus dem Supply Chain Management auseinanderzusetzen.

<sup>423</sup> Vgl. Schuh/Gierth (2006), S. 295

<sup>424</sup> Vgl. Beckmann (2003), S. 3f

<sup>425</sup> Quelle: in Anlehnung an Hellingrath/Kuhn (2002), S. 10

<sup>426</sup> Vgl. Hellingrath/Kuhn (2002), S. 10

Abbildung 69: Aufgaben des Supply Chain Managements<sup>427</sup>

Die Branchenstudie von Friedrich zum Stand der Umsetzung des Supply Chain Managements in der Prozessindustrie zeigt, dass bei vielen Unternehmen noch eine große Diskrepanz zwischen den in der Theorie verbreiteten Ideen und dem Stand der praktischen Umsetzung existiert. Die wesentlichsten Ergebnisse dieser Studie lassen sich wie folgt wiedergeben:<sup>428</sup>

- Zur wirtschaftlichen Ausnutzung der gegebenen Flexibilität, entstehen in der Prozessindustrie insbesondere hohe Anforderungen an die Planung des Ressourceneinsatzes und an die Ablaufplanung als Teilbereiche des Supply Chain Managements.
- Im Bereich Beschaffung wird noch ein beachtlicher Teil der Potenziale, die das SCM durch eine stärkere Integration von beschaffendem Unternehmen und Zulieferern bietet, bisher noch kaum genutzt.
- In der Produktion setzten mehr als die Hälfte der befragten Unternehmen ein Softwaresystem zur Produktionsplanung und –steuerung, meist als Bestandteil eines ERP-Systems, ein.
- Optimierungssysteme im Sinne des Supply Chain Planning verwenden nur wenige Unternehmen.
- Das Konzept der Supply-Chain-übergreifenden koordinierten Analyse und Planung ist vielerorts noch nicht bekannt. Unter SCM werden meist nur Integrationsaufgaben verstanden.
- Die Verschiebung von einer Make-To-Stock zu einer Make-to-Order Produktion, wurde auch für die Prozessindustrie bestätigt, wo die meisten Unternehmen durchgängig oder zumindest teilweise kundenauftragsbezogen produzieren.

<sup>427</sup> Quelle: in Anlehnung an Hellingrath/Kuhn (2002), S. 13

<sup>428</sup> Vgl. Friedrich (2004), S. 145ff

- Wenn verfahrenstechnische Restriktionen eine vergleichsweise hohe Durchlaufzeit in der Produktion erzwingen, kann die vom Markt geforderte kurzfristige Lieferverfügbarkeit nur durch eine Make-to-Stock Strategie erzielt werden.
- Eine Verbesserung der Planung bietet hier noch erhebliches Potenzial, die durch Lagerbestände verursachten Kapitalbindungskosten zu senken.

Zusammenfassend kann aus den Ergebnissen der Studie festgehalten werden, dass die hohen Potenziale, die das Supply Chain Management im Bereich der Analyse und der Planung durch übergreifende Bewertung und Optimierung des Ressourceneinsatzes bietet, noch sehr wenig genutzt werden.

Zur Umsetzung von Supply Chain Management wurden zahlreiche branchen- und unternehmensspezifische Konzepte entwickelt, wobei sich einige grundlegende Prinzipien, die einen allgemeinen Charakter besitzen, feststellen lassen.<sup>429</sup> Aus diesen Prinzipien ist die hohe Bedeutung einer abgestimmten Planung vom Rohstoff bis zum Endkunden aus Sicht des Supply Chain Managements ersichtlich. Eine mangelnde Abstimmung und ungenügende Informationsweitergabe zwischen den Wertschöpfungsstufen führt zum sogenannten Peitscheneffekt. Dieser Effekt geht auf Untersuchungen von Forrester zurück, der selbst bei relativ geringen Nachfrageschwankungen hohe Produktionsschwankungen feststellte und dies auf die zeitliche Verzögerung zwischen Kundennachfrage, Bestellung und Lieferung zurückführte.<sup>430</sup> Da in den traditionellen Bestandsmanagementsystemen jedes Unternehmen seinen eigenen Bedarf plant und Bestellungen nur an die jeweils nächste Stufe liefert, können bereits kleine Änderungen des Bedarfs beim Endkunden zu immer größeren Schwankungen in den Bedarfen der in der logistischen Kette weiter hinter stehenden Unternehmen führen.<sup>431</sup>

Die Ursachen wurden in zahlreichen Studien zusammen mit Maßnahmen zur Verringerung des Peitscheneffektes untersucht.<sup>432</sup> Zur Reduktion der Ineffizienzen wurden umfassende und unternehmensübergreifende Informations- und Planungsansätze entwickelt, die den Austausch von Informationen verbessern sollen und damit ein Aufschaukeln entlang der Supply-Chain verhindern sowie zur Verkürzung der Durchlaufzeiten beitragen.

Das Ziel dieser Ansätze, die unter dem Begriff Collaborative SCM zusammengefasst werden, ist, eine Verschmelzung der Supply Chain durch Vernetzung und Integration der beteiligten Unternehmen, d.h. der Lieferanten, Spediteure und Kunden, in die logistische Wertschöpfungskette zu erzielen. Unter Collaborative SCM versteht man die Initiativen von rechtlich und organisatorisch unabhängigen Unternehmen, mit dem Ziel ihre logistischen Aktivitäten gemeinsam bzw. mittels eines verbesserten Informationsaustauschs verbessert durchzuführen. Von den verschiedenen entwickelten Methoden und Modellen sind vor allem folgende Prozessmodelle stark verbreitet:<sup>433</sup> Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment (CPFR), Vendor Managed Inventory (VMI), Co-Managed Inventory (CMI) und Buyer Managed Inventory (BMI).

Für die weitere Arbeit relevant sind vor allem das CPFR-Prozessmodell und das Postponement-Prinzip, mit denen sich die nächsten beiden Abschnitte näher beschäftigen.

---

<sup>429</sup> Vgl. Corsten/Gabriel (2003), S. 11

<sup>430</sup> Der Peitscheneffekt wird daher auch als „Forrester-Effekt“ bezeichnet. Vgl. Forrester (1961)

<sup>431</sup> Vgl. Hellingrath/Kuhn (2002), S. 17

<sup>432</sup> Vgl. Corsten/Gabriel (2003), S. 15

<sup>433</sup> Vgl. Zimmer (2011), S. 77

### 6.3.2 Collaborative Planning Forecasting and Replenishment

Mit dem Ziel, Konflikte und dadurch entstehende Ineffizienzen im Absatzkanal zu beseitigen bzw. zu vermeiden wurden Kooperationskonzepte zwischen Industrie und Handel entwickelt, die unter dem Begriff Efficient Consumer Response (ECR) und Quick Response Service (QRS) bekannt wurden. Während ECR aus Studien in der Lebensmittelbranche ausgelöst wurde, die durch Kooperationen zwischen Industrie und Handel eine Senkung von Lagerbeständen und Durchlaufzeiten um 40% prognostizierten, wurde QRS durch lange Durchlaufzeiten von bis zu 66 Wochen in der Supply-Chain der Textilindustrie ausgelöst.<sup>434</sup>

Die traditionellen ECR-Ansätze fokussieren dabei entweder auf Marketingfragestellungen („Demand-Side“) oder auf Logistikfragestellungen („Supply-Side“). Mit den logistikorientierten Ansätzen wird das Ziel einer guten Logistikleistung verfolgt, die zu verkürzten Reaktionszeiten auf Kundenwünsche, zu geringeren Lieferzeiten oder einer erhöhten Flexibilität führt und so wieder mit den marketingorientierten Konzepten zusammenhängt. Das CPFR geht über diese isoliert ausgerichteten ECR-Konzepte hinaus und wird daher auch als Weiterentwicklung bzw. Ausbau des ECR-Konzeptes angesehen sowie als ECR der zweiten Generation bezeichnet.<sup>435</sup>

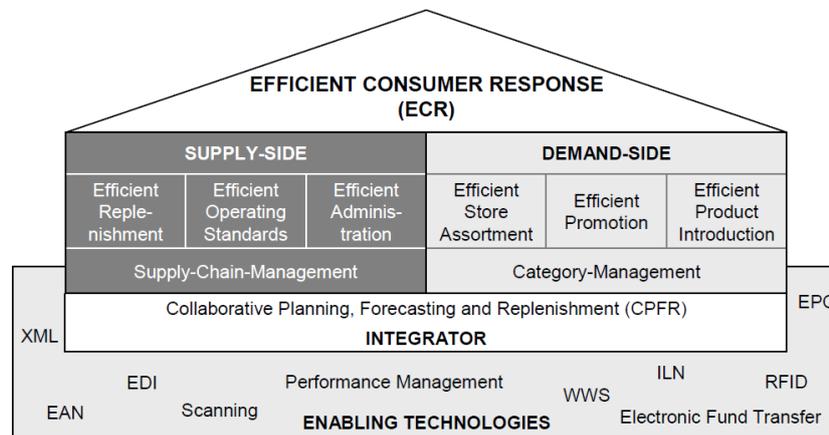


Abbildung 70: CPFR innerhalb des ECR-Konzeptes<sup>436</sup>

Das CPFR innerhalb des ECR-Konzeptes ist in Abbildung 70 veranschaulicht. Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment kann übersetzt werden als kooperatives Planen, Prognostizieren und Managen von Warenströmen und Beständen.<sup>437</sup> Als intensivere Kooperation im Vergleich zu ECR, wird ebenso das Ziel verfolgt, Versorgungsengpässe sowie unnötig hohe Lagerbestände zu vermeiden. Mit Hilfe eines Prozessmodells werden die drei Phasen einer gemeinsame Planung, Prognose und Bestandsmanagement beschrieben. Basierend auf einem Kooperationsvertrag und einem gemeinsamen Geschäftsplan sollen dabei möglichst genaue Bedarfsprognosen von einem Planungsteam erarbeitet werden. Das Team setzt sich dabei angefangen von Logistikern bis zu Marketingmitarbeitern aus Vertretern der gesamten Supply Chain, vom Vorlieferanten über den Hersteller bis zum Handelsunternehmen, zusammen. Durch einen Datenaustausch mit aktualisierten Prognosen zwischen Käufer und Verkäufer sollen Lagerbestände reduziert sowie Versorgungsengpässe

<sup>434</sup> Vgl. Vahrenkamp (2005), S. 356

<sup>435</sup> Vgl. Hertel et al. (2011), S. 196f

<sup>436</sup> Quelle: Hertel et al. (2011), S. 173

<sup>437</sup> Vgl. Hompel/Heidenblut (2011), S. 52

vermieden werden. Entscheidend für den Erfolg der Zusammenarbeit ist hierbei die vertrauensvolle Zusammenarbeit der CPFR-Partner. Die wichtigsten Punkte, die für eine Optimierung der Wertschöpfungskette mittels CPFR zu beachten sind, sind folgende Schlüsselfaktoren:<sup>438</sup> Bereitschaft der Zusammenarbeit, Top-Management Unterstützung, Multifunktionale Teams mit gemeinsamer Zielsetzung, messbare Leistungsindikatoren (z.B. Erhöhung der Prognosegenauigkeit), transparente Verteilung der Einsparung sowie Verwendung von Kommunikationsstandards und modernster Technologie.

Die Bildung eines unternehmensübergreifenden Teams soll eine vertrauensvolle Basis schaffen, die sicherstellen sollen, dass nicht eine mangelnde Koordination und unterschiedliche Machtinteressen der Supply Chain-Partner den Erfolg von CPFR verhindern. Als weitere Barrieren ist eine mangelnde Datenqualität, nicht sichtbare Vorteile von CPFR und die Verwendung von Kommunikationsstandards zu nennen.<sup>439</sup> Deshalb wurden Web-basierte Ansätze entwickelt, mit denen die internen Informationen auf einem gemeinsamen Web-Server zur Verfügung gestellt und ohne Zeitverzug ausgetauscht werden können, und die veralteten EDI (Electronic Data Interchange)-basierten Ansätze ablösen.<sup>440</sup>

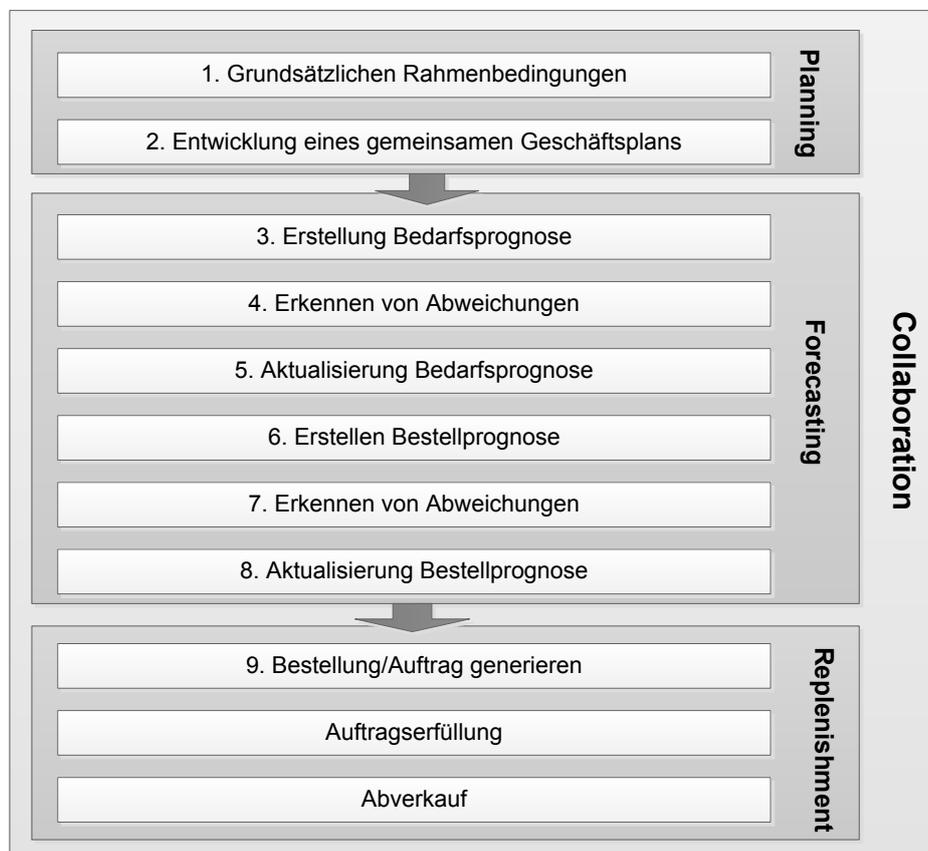


Abbildung 71 CPFR-Prozessmodell<sup>441</sup>

Das in Abbildung 71 dargestellte Prozessmodell gliedert sich in die drei Phasen Planung, Prognose und Bestandsmanagement mit insgesamt neun Prozessschritten, welche die

<sup>438</sup> Vgl. Wannenwetsch (2007), S. 321f

<sup>439</sup> Vgl. Wannenwetsch (2005), S. 178

<sup>440</sup> Vgl. Flidner (2003), S. 14

<sup>441</sup> Quelle: Lenz (2008), S. 101

Implementierung von CPFR beschreiben.<sup>442</sup> Auch wenn diese Methode prinzipiell in allen Industriebranchen anwendbar ist, finden sich die meisten CPFR-Anwendungen in der Nahrungsmittelindustrie, Bekleidungsindustrie und allgemein im Handel. Getrieben wurde die Entwicklung in diesen Branchen durch den steigenden Konkurrenzdruck, kurze Produktlebenszyklen, komplexe Supply Chains durch Offshore-Produktion und die spezifische Kostenstruktur in der Wertschöpfungskette. Diese vier Treiber erforderten von den Unternehmen ein schnelles Reaktionsvermögen um bei schwankenden Nachfragen und anderen Marktsignale erfolgreich agieren zu können.<sup>443</sup>

CPFR ist somit eine mögliche Methode zur Verbesserung der Planung in einem flexibilitätsorientierten Produktionssystem. Da ursprünglich für den Handel konzipiert, sind für die Anwendung in der Prozessindustrie entsprechende Anpassungen erforderlich. Wesentlich scheint dabei die Initiierung eines Prozesses zwischen den Partnern in der Supply Chain, der die gemeinsame und fortschreitende Steigerung des Wissens zum Ziel hat. Seifert bezeichnet diesen Prozess auch als „Infopartnering“, der die Basis für einen Schwenk von der Wertschöpfungskonfrontation hin zu einer Wertschöpfungskooperation bildet.<sup>444</sup>

Kernpunkt der Lösungskonzepte für einen solchen Prozess ist die Sicherstellung der Verfügbarkeit der richtigen Informationen zur richtigen Zeit am richtigen Ort.<sup>445</sup>

- Die richtige Information mit der eigentlichen Kundennachfrage wird gerade in langen Lieferketten durch Neuinterpretation wie Sicherheitsbestände und -zeiten auf jeder Stufe verzerrt.
- Der richtige Zeitpunkt wird durch lange Informations- und Materialflusszeiten beeinflusst. Aufgrund technischer Rahmenbedingungen lassen sich Materialflusszeiten nur schwer reduzieren. Im Gegensatz dazu kann der Informationsfluss durch den Einsatz von IT-Systemen meist relativ einfach beschleunigt werden. Durch die Verkürzung des erforderlichen Prognosezeitraums, werden die Prognosen genauer.
- In weiterer Folge sind die entscheidungsrelevanten Informationen nur an der jeweils richtigen Position entlang der Lieferkette nach dem logistischen Regelkreisprinzip zugänglich zu machen, wie dies in Abbildung 72 skizziert ist. Dazu müssen an den kritischen Stellen des Prozesses Bevorratungsebenen und Kunden definiert werden, die auftragsbezogen die Lagernachfüllung des nachfolgenden Regelkreises übernehmen und ihrerseits Aufträge an den vorgelagerten Regelkreis vergeben. Dadurch entsteht eine durchgängige auftragsorientierte Lieferkette mit wenigen Bevorratungspunkten, die als Entscheidungsknoten den Gesamtprozess steuern, und mit einer hohen Reaktionsfähigkeit mit einem Optimum an Flexibilität und Lagerkosten. Die Entkopplungspunkte sind dabei an den kritischen Stellen zu definieren, wie beispielsweise bei der Variantenbildung oder an den Knotenpunkten konvergierender Prozesse.

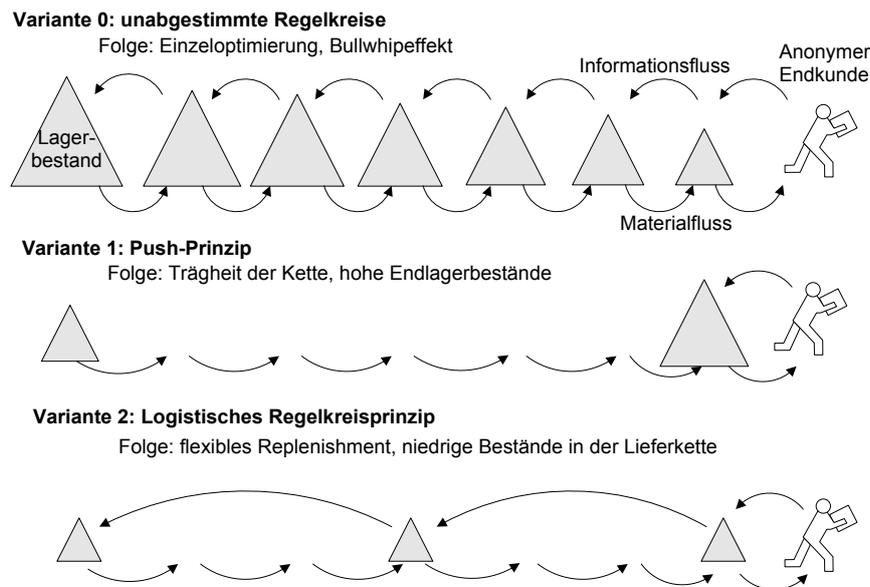
---

<sup>442</sup> Zur detaillierten Beschreibung der einzelnen Schritte siehe Seifert (2003a)

<sup>443</sup> Vgl. Fliedner (2003), S. 16

<sup>444</sup> Vgl. Seifert (2003b), S. 265

<sup>445</sup> Vgl. Schenk/Wojanowski (2003), S. 136ff

Abbildung 72: CFPR durch Einführung logistischer Regelkreise<sup>446</sup>

Diese Art der Bereitstellung der richtigen Information zur richtigen Zeit am richtigen Ort in einer Lieferkette bezeichnen Schenk/Wojanowski auch als Continuously Forecasting Planning and Replenishment (CFPR)-Strategie. Die CFPR-Strategie beschreibt die wichtigsten Elemente des logistischen Regelkreises, die im Continuously Forecasting, d.h. der regelmäßigen Verbrauchprognose, dem Planning, d.h. der optimalen Planung der Entkopplungspunkte, und dem Replenishment, d.h. der damit verbundenen Belieferungsstrategie der Bevorratungsebenen zu finden sind.<sup>447</sup>

### 6.3.3 Postponement

Nach Pfohl/Flickinger zählt Postponement (Aufschieben von Entscheidungen) neben Routinization (Routinisierung) zu den zwei Möglichkeiten aus Sicht der interorganisatorischen Zusammenarbeit, die sich zur Steigerung der Flexibilität in der Produktion und Logistik eignen.<sup>448</sup> Unter Postponement versteht man ein allgemeines Konzept, bei dem die endgültigen Festlegungen von Funktion und Erscheinungsbild eines Produktes bis zum Auftreten eines konkreten Kundenauftrags hinausgezögert werden. Im Gegensatz zum Spekulations-Prinzip, bei dem Unternehmen die Produkteigenschaften allein aufgrund ihrer Prognosen anonymer Marktbedarfe festgelegt werden.<sup>449</sup>

Das Prinzip des Postponement bedeutet, dass in der Supply Chain erst möglichst spät mit der Variantenbildung begonnen werden soll, so dass man wörtlich übersetzt auch von verspäteter Variantenbildung spricht. Dieser Variantenbildungspunkt bei dem der Übergang in der Supply Chain von der variantenunspezifischen Fertigung zur variantenspezifischen Fertigung erfolgt wird als Entkopplungspunkt bezeichnet. Im Idealfall fällt dieser Entkopplungspunkt, an dem eine große Zahl von Produktvarianten entsteht, mit dem bereits erwähnten Kundenentkopplungspunkt zusammen, der die Stelle in der Logistikkette bezeichnet, ab der

<sup>446</sup> Quelle: in Anlehnung an Schenk/Wojanowski (2003), S. 138

<sup>447</sup> Vgl. Schenk/Wojanowski (2003), S. 138

<sup>448</sup> Vgl. Pfohl/Flickinger (1998), S. 38f

<sup>449</sup> Vgl. Schieck (2008), S. 370

die Aufträge bestimmten Kunden zugeordnet werden können, und so die Bevorratungsstrategie festlegt.<sup>450</sup>

Diese Art der möglichst späten kundenindividuellen Differenzierung eines Standardproduktes wird auch als Form-Postponement bezeichnet. Als zweite Art von Postponement soll noch das Logistik-Postponement erwähnt werden, das sich mehr auf distributionslogistische Tätigkeiten bezieht. Dabei erfolgt die Kundenindividualisierung nicht zentral in der Produktion, sondern verteilt auf die Supply Chain in Richtung Kunde (Down-Stream), d.h. beim Großhändler oder in Distributionszentren.<sup>451</sup>

Aufbauend auf dem Postponement-Prinzip wurden zahlreiche Konzepte für die Produktion weiterentwickelt, wie beispielsweise das in Abbildung 73 dargestellte Konzept hochflexibler Produktionseinstufen zur Beherrschung der variantenreichen Serienfertigung in der Automobilindustrie.<sup>452</sup> In diesem Ansatz des Varianten Produktionssystems wird die industrielle Produktion nicht mehr in die traditionellen Bereiche Fertigung und Montage aufgeteilt, sondern vorwiegend zwischen variantenneutralen und variantenbildenden Prozessen unterschieden.

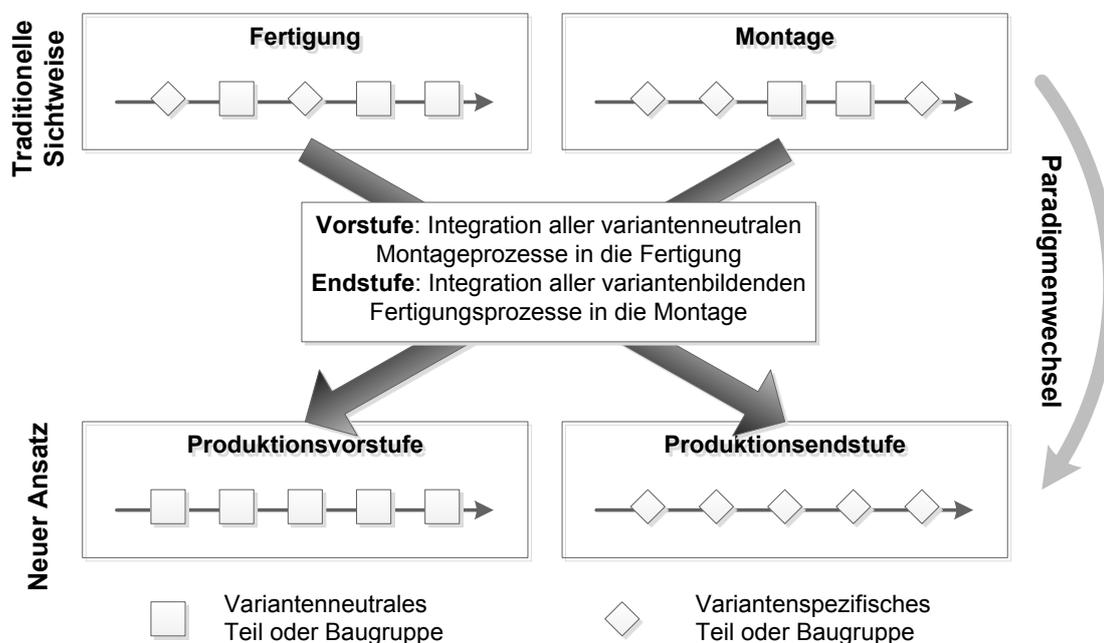


Abbildung 73: Paradigmenwechsel von der traditionellen Produktion zum flexiblen Produktionssystem<sup>453</sup>

Zentraler Bestandteil ist der Kerngedanke, eine möglichst späte Variantenbildung durch die Integration von variantenbildenden Fertigungsprozessen in die Montage zu erzielen. Anstatt einer klassischen Aufteilung zwischen Fertigung und Montage erfolgt die Aufteilung in

- eine Produktionsvorstufe, in der variantenneutrale Teile und Baugruppen für die Produktionsendstufe gefertigt werden und
- eine Produktionsendstufe, in der die Montage einer variantenreichen Produktfamilie erfolgt.

<sup>450</sup> Vgl. Pfohl (2004), S. 125; Klaus/Krieger (2008), S. 229

<sup>451</sup> Vgl. Vahrenkamp (2005), S. 33f

<sup>452</sup> Vgl. Röhrig (2002)

<sup>453</sup> Quelle: in Anlehnung an Mühlenbruch/Olbrich (2003), S. 186

Die Verlegung des Variantenbildungspunktes durch den Ansatz des Varianten Produktionssystems weiter an das Ende der Wertschöpfungskette, führt zu einer Reduktion der inneren Varianz, welche die in der Produktion auftretende Vielfalt an Materialien beschreibt, unter Beibehaltung der äußeren Varianz, welche die für den Kunden erkennbare Vielfalt darstellt.<sup>454</sup>

Zur Umsetzung des Konzeptes der flexiblen Produktionsendstufen in der Montage findet sich bei Wiendahl et al. ein Vorgehensmodell, das bereits in der Praxis erfolgreich erprobt wurde. In einem ersten Schritt sind dabei die Produktstruktur und die Variantenentstehungspunkte zu analysieren und die potentiellen Segmentierungsmöglichkeiten zu untersuchen. Die Möglichkeiten einer flexiblen Planung werden danach auf Basis detaillierter Prozessdarstellungen erarbeitet. Daraus lassen sich die neuen Anforderungen in einem Produktionsstufenkonzept für die Planung und den Betrieb des betrachteten Produktionssystems ableiten.<sup>455</sup>

Während für die diskrete Fertigung solche flexibilitätsorientierte Ansätze entwickelt wurden, sind diese Ansätze für die Prozessindustrie aufgrund folgender Eigenschaften nicht einfach zu übernehmen

- keine bzw. kaum klassische Montagefähigkeiten
- daher ist auch keine Trennung in Fertigung und Montage möglich
- Layoutänderungen sind aufgrund der beschränkten Mobilität der Aggregate schwer möglich (bspw. Hochofen)
- geringe Stücklistentiefe mit vorwiegend divergierender Produktstruktur
- wenige Teile und Baugruppen, beispielsweise nur ein Walzbarren als Einsatzteil
- keine Trennung in variantenneutrale und variantenspezifische Teile, stattdessen gibt es variantenbildende Fertigungsstufen für bestimmte Produktmerkmale
- eine Verlegung des Variantenbildungspunktes ist technologisch schwer möglich

Eine wesentliche Voraussetzung zur Untersuchung der Anwendungsmöglichkeiten des Postponement-Konzeptes in der flexibilitätsorientierten Prozessindustrie ist die Identifikation und Analyse des Variantenbildungspunktes in der Supply Chain des betrachteten Produktionssystems. Daher beschäftigt sich der folgende Abschnitt mit den Variantenbildungspunkten anhand des Fallbeispiels.

---

<sup>454</sup> Vgl. Mühlenbruch/Olbrich (2003), S. 186ff

<sup>455</sup> Vgl. Schmidt/Kostezka (2004), S. 211f

### 6.3.4 Analyse der Variantenbildungspunkte

Die üblichen Ansätze in der diskreten Fertigung versuchen die Variantenbildung durch den Einsatz von Gleichteilen bzw. variantenneutralen Teilen möglichst spät vorzunehmen, um damit die Flexibilität und die Leistung der Supply Chain zu optimieren. Die dazu zahlreich entwickelten Ansätze setzen meist auf einem modularen Produktdesign auf. Ein modulares Produktdesign ermöglicht je nach Kundenwunsch ein beliebiges Austauschen und Kombinieren der Module untereinander. Durch diese Modulbauweise können auf späteren Stufen der Supply Chain durch den Einbau passender Module günstige Varianten gebildet werden.<sup>456</sup>

Während für die diskrete Fertigungsindustrie, allen voran die Automobilindustrie, zahlreiche Ansätze zur Optimierung und Analyse der optimalen Variantenbildung entwickelt wurden, finden sich für die Prozessindustrie noch keine Ansätze, die sich mit dem Variantenbildungspunkt beschäftigen. Zumindest ergab eine Suchanfrage über [www.google.com](http://www.google.com) nach „Variantenbildungspunkt“ und „Prozessindustrie“ nur drei Resultate, die jedoch alle zusammen nicht relevant waren.<sup>457</sup> Eine Suchanfrage auf Google-Scholar brachte zwei Ergebnisse mit derselben Quelle.<sup>458</sup> Jodlbauer beschreibt dabei allgemeine Ansätze zur Produktionsoptimierung durch Reduktion der Komplexität wie folgende:<sup>459</sup>

- Kundenentkoppelungspunkt beim Rohmateriallager oder bei den Lieferanten ansiedeln
- Variantenbildung kurz vor der Auslieferung an den Kunden vornehmen
- Fließfertigung organisieren, Implementierung rein sequentieller Fertigungspfade
- Wenige Arbeitssysteme und Fertigungsstufen
- Sequentielle Stücklisten, wenige Materialien und Stücklistenebenen
- Hohe und gleichmäßige Ausbringungsmengen anstreben
- Kein Rüstaufwand, kein Ausschuss, eine Nacharbeit
- Jederzeit verfügbare Arbeitssysteme, konstante Auftragszeiten sicherstellen

Dieser beschriebene Idealzustand ist allerdings insbesondere in der Prozessindustrie durch die vorgegebenen Rahmenbedingungen einerseits von den Kunden aber auch durch die Technologie nicht erreichbar. Bezüglich Variantenbildung finden sich auch nur die in der Literatur bereits bekannten Ansätze<sup>460</sup>

- Variantenbildung so spät wie möglich
- Konstruktion in Modulbauweise nach dem Baukastensystem
- Ersetzen von „niedrigeren“ Varianten durch „höhere“ Varianten

<sup>456</sup> Vgl. Thonemann (2010), S. 437,449

<sup>457</sup> Abfrage auf [www.google.com](http://www.google.com) mit den Suchbegriffen „Variantenbildungspunkt“ und „Prozessindustrie“ am 12.12.2012. Darunter ein Rohrsystem, dass sich durch die Variantenvielfalt in den Industrieanlagen für Futtermittel, Pharma, Chemie, Lebensmittel, Glas, Halbleiterproduktion oder auch in der Umwelttechnik präzise und montagefreundlich einbauen lässt, Matthes (2012), S. 43

<sup>458</sup> Abfrage auf [scholar.google.com](http://scholar.google.com) mit den Suchbegriffen „Variantenbildungspunkt“ und „Prozessindustrie“ am 12.12.2012.

<sup>459</sup> Vgl. Jodlbauer (2008), S. 16

<sup>460</sup> Vgl. Jodlbauer (2008), S. 18

Beim letzten Punkt kann es in Summe günstiger und effizienter kommen, anstatt die vom Kunden geforderte niedrigwertigere Variante eine höherwertigere Komponente vorzusehen. Beispielsweise kann anstelle von unterschiedlichen Kabelsträngen, bei denen es oft über 2.000 unterschiedliche Varianten geben kann, ein einheitlicher höherwertiger Kabelstrang verwendet werden, unabhängig davon ob dann die entsprechenden Systeme, wie Navigationssystem oder Klimaanlage, eingebaut werden oder nicht. Für die Prozessindustrie sind diese Ansätze mangels zu montierender Materialien wiederum beschränkt anwendbar.

Zur Optimierung des Variantenbildungspunktes werden daher anhand des Fallbeispiels zunächst die Stufen innerhalb der Supply Chain dargestellt, an denen Produktvarianten gebildet werden. Abgeleitet aus den in Abschnitt 5.3.1 bereits erläuterten Produktmerkmalen sind die für die variantenbildenden Merkmale zugehörigen Variantenbildungspunkte in Abbildung 74 in einer Strukturansicht dargestellt.

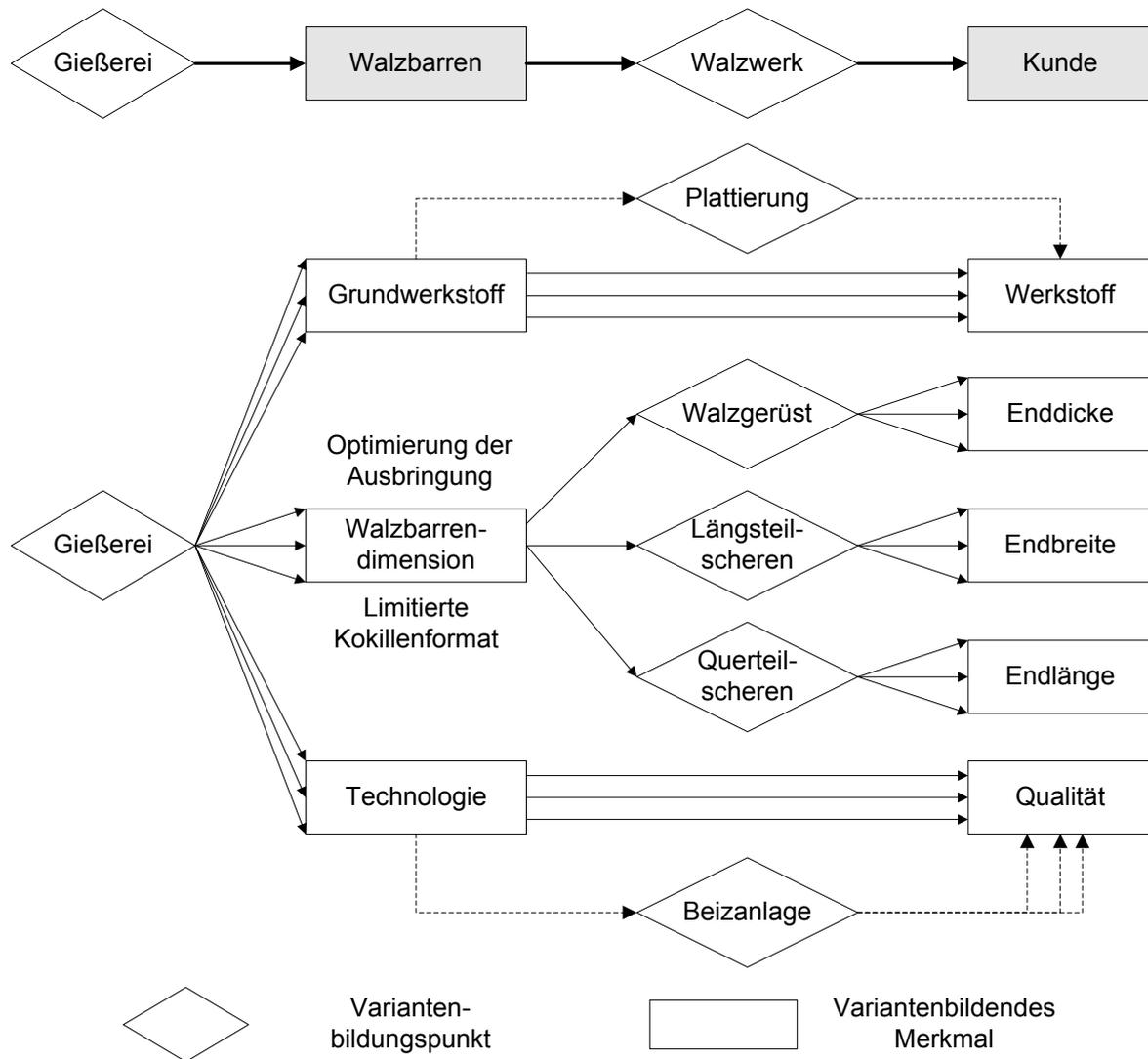


Abbildung 74: Die wesentlichsten Variantenbildungspunkte in einem Walzwerk

Der vom Kunden gewünschte Werkstoff wird bereits durch den von der Gießerei zu liefernden Walzbarren determiniert und kann im Walzwerk nicht mehr geändert werden. Eine Ausnahme bilden plattierte Endprodukte. Hier entsteht die Variante zu Beginn im Walzwerk an der Plattierstation. Allerdings ist auch in diesem Fall der gewünschte Grundwerkstoff als

auch der Plattierwerkstoff nur in der Gießerei beeinflussbar. Die unterschiedlichen Kundendimensionen, wie Dicke, Breite und Länge des Endproduktes, werden im Wesentlichen im Walzwerk an den Walzgerüsten, Längsteil- und Querteilscheren sowie Sägen gebildet. Während die Variantenbildung bezüglich Breite und Länge am Ende der Prozesskette und kurz vor Auslieferung entsteht, erfolgt die Variantenbildung bezüglich der Dicke relativ weit vorne am Anfang des Walzwerks. Insbesondere die Längsteil- und Querteilscheren für Bänder und Bleche sowie die Sägen für Platten zählen damit zu den Konfektionier- bzw. Finalanlagen.

Auch wenn die Dimensionierung der Endprodukte, insbesondere die Dickenreduzierung, die Kernaufgabe eines Walzwerks ist, wird ein bestimmter Dimensionsbereich bereits durch das Walzbarrenformat in der Gießerei festgelegt. Logischerweise kann die Breite nicht mehr vergrößert sondern nur mehr reduziert werden. Auch die Maximallänge eines Bandes ist durch das Walzbarrenformat vorgegeben. Auf der anderen Seite wäre aber auch nur ein Barrenformat mit einer Maximaldimension für die Walzbarren, die im Walzwerk dann auf die gewünschte Dimension gewalzt und geschnitten bzw. gesägt werden nicht wirtschaftlich. Unterschiedliche Walzbarrenformate werden daher einerseits zur Optimierung der Ausbringung gebildet. Auf der anderen Seite sind bestimmte Formate auch technologisch bedingt, da nicht jede unterschiedliche Enddicke mit nur einer einzigen Ausgangsdicke wirtschaftlich erzielt werden kann. Auch die gewünschte vom Kunden geforderte Qualität wird bereits in der Gießerei wesentlich durch die verwendete Technologie beeinflusst, und kann für bestimmte Produkte im Walzwerk beispielsweise durch eine Beizanlage noch beeinflusst werden. Daneben existieren noch weitere variantenbildende Produktmerkmale, wie beispielsweise der gewünschte Zustand, die jedoch weitgehend innerhalb des Walzwerks beeinflusst werden, und daher aus Sicht der übergreifenden Supply Chain nicht weiter relevant für die weitere Analyse sind.

Aus Abbildung 74 ist ersichtlich, dass eine weitere Verlagerung des Variantenbildungspunktes von der Gießerei in Richtung Walzwerk und somit in Richtung Kunde nicht möglich ist. Aus Sicht des Walzwerks liegt der erste Kundenentkopplungspunkt im Rohteillager, da jede Entnahme eines Walzbarrens bei einer Kundenauftragsfertigung einem konkreten Kundenauftrag zugeordnet werden kann. Sofern die vom Kunden gewünschte Lieferzeit kleiner ist, als die Gesamtdurchlaufzeit inklusive Gießerei, erfolgt nach den klassischen Planungsregeln, eine verbraucherorientierte Materialbedarfsplanung nach dem Push-Prinzip für die Walzbarren und eine bedarfsbezogene Planung nach dem Pull-Prinzip für das Endprodukt. Bei schwankender schwer prognostizierbarer Nachfrage der Endprodukte, ergeben sich dadurch entweder hohe Bestände im Rohteilelager und/oder eine geringe Liefertreue, falls der richtige Walzbarren, d.h. in der richtigen Legierung, in der richtigen Dimension und in der benötigten Menge, nicht vorrätig ist.

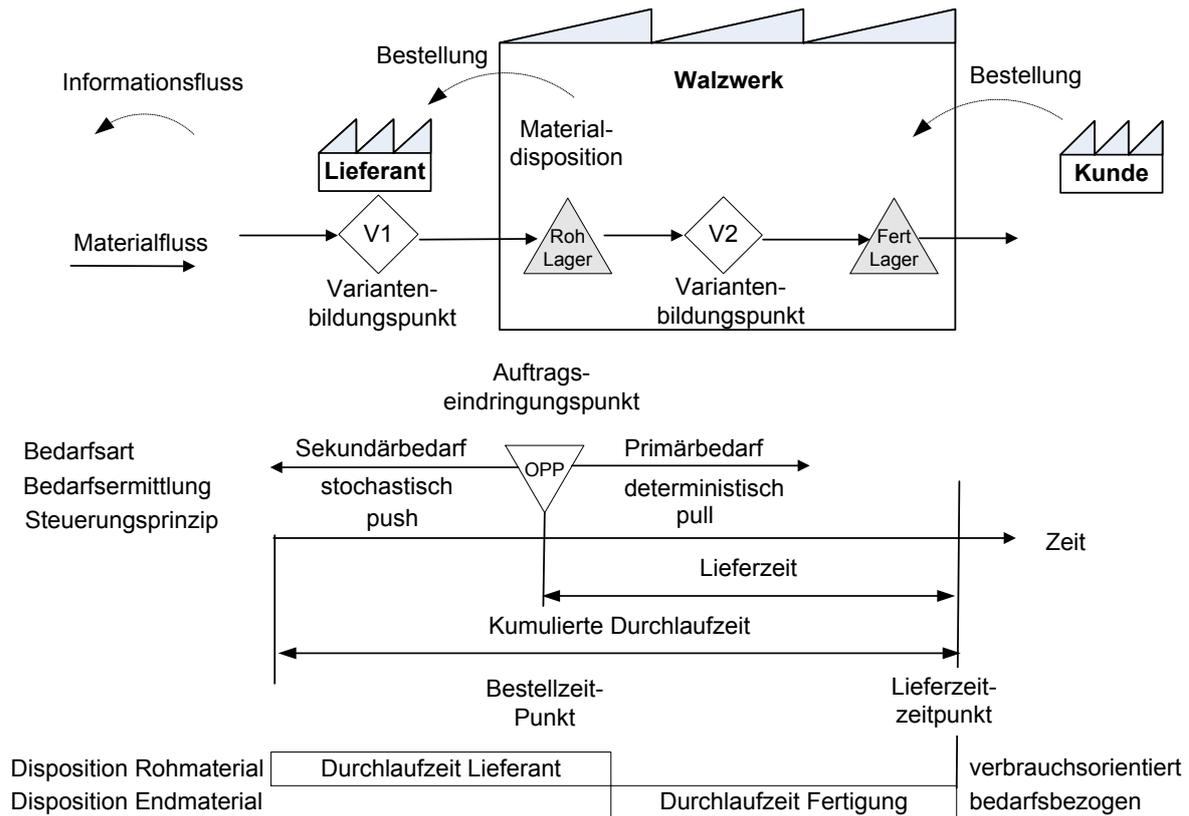


Abbildung 75: Ausgangssituation mit klassischer Materialbedarfsplanung

Diese Ausgangssituation ist in Abbildung 75 zusammen mit der Lösung nach den in den vorigen Abschnitten erläuterten klassischen Ansätzen zur Materialbedarfsplanung veranschaulicht und lässt sich wie folgt zusammenfassen:

- Schwankende unregelmäßige Nachfrage
- Kumulierte Durchlaufzeit größer als Wunschlieferzeit
- Variantenbildung bereits beim Lieferanten, d.h. erster Variantenbildungspunkt vor Auftrags-eindringungspunkt
- prognosebezogene Disposition des Rohmaterials (Walzbarren)
- Keine geeigneten Prognosemodelle
- Hohe Bestände im Rohteillager notwendig
- Geringe Liefertreue aufgrund der falschen Bestände, d.h. der benötigte Walzbarren ist nicht in der gewünschten Legierung und in der bezüglich Ausbringung optimalen Dimension vorrätig
- Hohe Kosten durch Extrakampagnen und damit verbundenem hohen Rüstaufwand in der Gießerei, falls ein benötigter Walzbarren außerhalb der rüsto optimalen Gießzyklen hergestellt werden muss
- Unruhe in der Fertigung durch Eilaufträge und damit verbundene kurzfristige nicht rüsto optimale Reihenfolgeänderungen

## 6.4 Collaborative Material Requirement Planning

Aufbauend auf den erläuterten Konzepten, wie der ABC/XYZ-Analysen, dem Prinzip des Postponements sowie der Idee eines Collaborative Planning Forecast und Replenishment aus dem Supply Chain Management wird in diesem Abschnitt ein Modell zur Verbesserung der Materialbedarfsplanung in der flexibilitätsorientierten Prozessindustrie vorgestellt. Das Konzept basiert auf einer kollaborativen Materialbedarfsplanung und wird daher als Collaborative Material Requirement Planning (CMRP) bezeichnet.

Nach Busch/Dangelmaier sind Collaborative Supply Chain Management (CSCM) Ansätze definiert als eine aktive auf die Erzielung von Win-win-Situationen ausgerichtete Zusammenarbeit zwischen Unternehmen in der Supply Chain. CSCM-Konzepte umfassen kollaborative Abstimmprozesse durch den Austausch von definierten Daten, indem beide Partner mit definierten Rechten und Pflichten in den Abstimmungsprozess eingebunden sind, der sowohl auf der Planungs- als auch auf der Ausführungsebene stattfinden kann.<sup>461</sup> Eine Analyse existierender Literatur zum Thema CSCM von Völker/Neu zeigte, dass nur wenige Veröffentlichungen über eine wissenschaftliche Aussagekraft verfügen und viele der recherchierten Beiträge in kommerziellen Logistikmagazinen oder -zeitungen erschienen sind, mit meist rein plakativen und Werbeslogan artigen Charakter.<sup>462</sup>

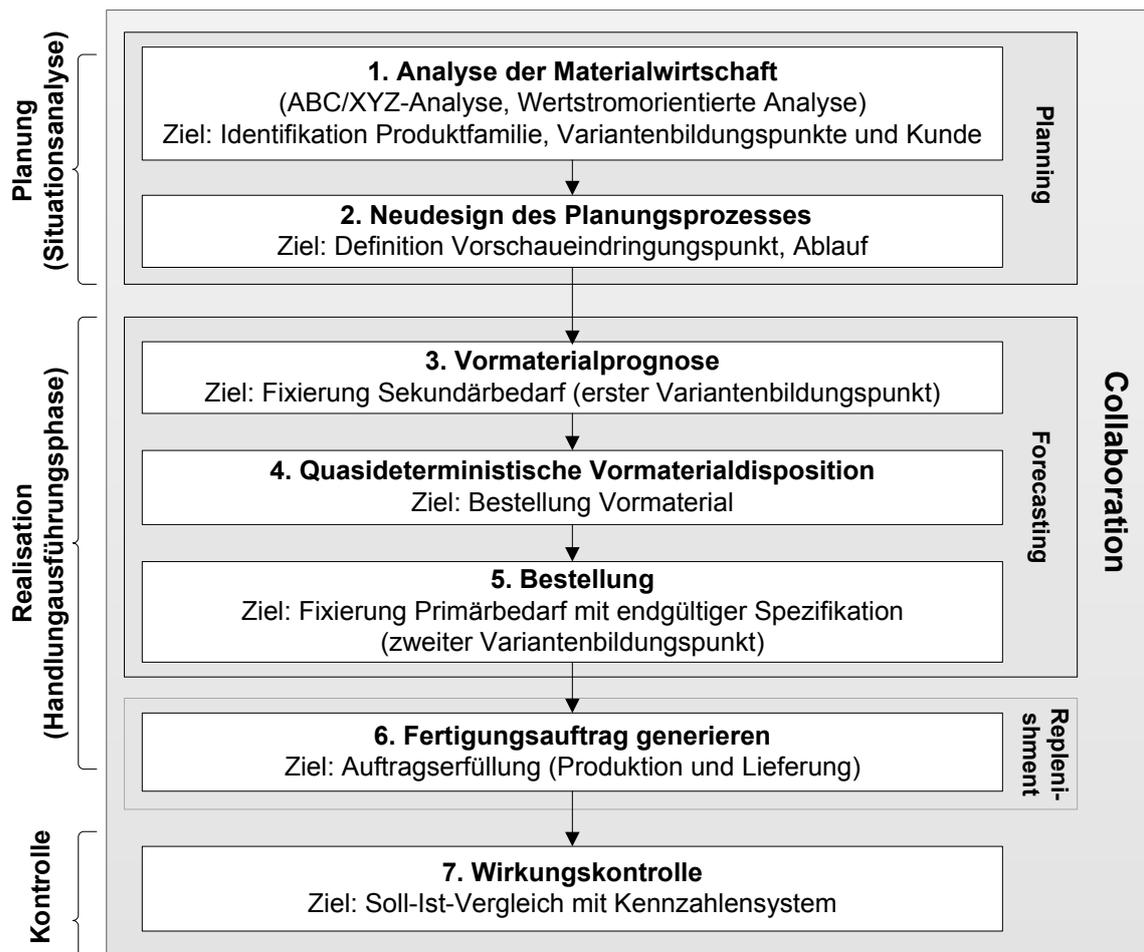


Abbildung 76: Vorgehensmodell für die kollaborative Materialbedarfsplanung (CMRP)

<sup>461</sup> Vgl. Busch/Dangelmaier (2004), S. 42

<sup>462</sup> Vgl. Völker/Neu (2008), S. 93

Die einzelnen Phasen des in Abbildung 76 dargestellten Vorgehenskonzeptes für die kollaborative Materialbedarfsplanung sind einem kybernetischen Regelungsprozess entsprechend grob gegliedert in eine Planungs-, Realisation- und Kontrollphase.<sup>463</sup> In der Planungsphase erfolgt in einem ersten Schritt eine Analyse der Materialwirtschaft auf Basis einer ABC/XYZ-Analyse, um potentielle Produktfamilien und Kunden zu identifizieren. Dies wurde anhand des Fallbeispiels in Abschnitt 6.2.2 ausführlich beschrieben. Ist ein Kunde mit einer Produktfamilie gefunden, sind die Variantenbildungspunkte zu erheben.

In einer Strukturansicht, wie in Abbildung 74, können zwar die wesentlichsten variantenbildenden Merkmale und die zugehörigen Anlagen als Variantenbildungspunkte übersichtlich dargestellt werden. Der zeitliche Verlauf ist aufgrund der vielen unterschiedlichen Arbeitsgangfolgen der Produkte für ein ganzes Produktionssystem, wie ein gesamtes Walzwerk, nicht vollständig darstellbar. Für den einen Hauptmaterialfluss einer ausgewählten Produktfamilie lassen sich die Variantenbildungspunkte und Produktmerkmale im einfachsten Fall wie in Abbildung 77 dargestellt in eine zeitliche Abfolge bringen.

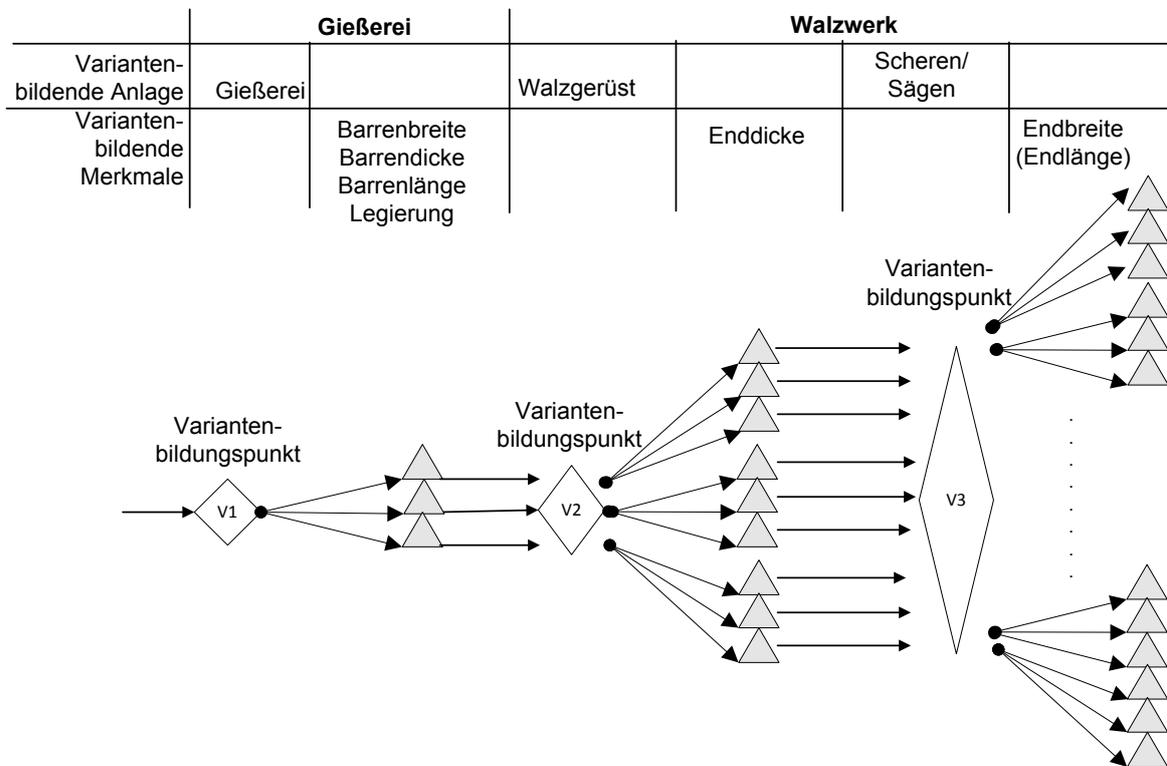


Abbildung 77: Variantenbildungspunkte einer Produktgruppe in zeitlicher Abfolge

Im nächsten Schritt erfolgte gemeinsam mit dem Kunden ein Neudesign des Planungsprozesses. Die Ergebnisse aus der Materialwirtschaftsanalyse können dabei genauso wie die in Abschnitt 6.1 erläuterte wertstromorientierte Analyse eine gute Diskussionsgrundlage bilden. Zur Verbesserung der Planungsgenauigkeit und Steigerung der Liefertreue muss der Kunde bereit sein, eine Vorschau für die benötigten Vormaterialien zum Zeitpunkt des ersten Variantenbildungspunktes auf Basis seiner Verbrauchsprognosen zu liefern. Der Punkt, ab dem zeitlich gesehen, diese Vorschau vorliegt wird in Anlehnung an den Auftragseindringungspunkt Vorschau-eindringungspunkt genannt. Der Planungshorizont der Vorschau muss dabei zumindest die Gesamtdurchlaufzeit betragen, damit sich der

<sup>463</sup> Vgl. Peters/Brühl (2005), S. 29

Vorschau-eindringungspunkt vor dem Variantenbildungspunkt verschiebt. In Abstimmung mit dem Vormateriallieferant, in unserem Fall die Gießerei, erfolgt so eine genaue Bedarfsprognose für die einzelnen Gießzyklen. Anstelle einer stochastischen Sekundärbedarfsermittlung erfolgt damit eine quasideterministische Ermittlung der Sekundärbedarfe. Die Kundenauftragsvorschau enthält dabei nicht die Mengen für das vollspezifizierte Endprodukt, sondern die aggregierte Menge für das benötigte Vormaterial. Für ein Walzwerk sind dies die Walzbarren auf Ebene der variantenbildenden Merkmale Legierung und Barrenbreite. Aufgrund der divergierenden Produktstruktur in der Prozessindustrie sollte dies auch für andere Unternehmen übertragbar sein. Die Fixierung der weiteren variantenbildenden Merkmale, wie beispielsweise Enddicke und -breite, ist erst zum Zeitpunkt der Bestellung notwendig. Erst mit der Bestellung wird der Primärbedarf mit der endgültigen Spezifikation fixiert. Zuvor existiert nur ein Sekundärbedarf für das Vormaterial. Da sich der Kunde zum Zeitpunkt der Vormaterialprognose (Walzbarrenvorschau) noch nicht auf die endgültige Enddicke und -breite festlegen muss, erhöht dies die Flexibilität in einem gewissen Korridor. Zusätzlich zu den aus dem klassischen CPFR-Modell abgeleiteten Schritten wird nach der Realisationsphase eine Wirkungskontrolle durchgeführt. Durch einen Soll-Ist Vergleich muss sichergestellt werden, dass der neue Planungsprozess zu den gewünschten Verbesserungen führt. Für die laufende Kontrolle ist dazu ein Kennzahlensystem zu implementieren, mit der die jeweilige logistische Zielgröße, wie Liefertreue, überwacht werden kann.

Zusammenfassend ist das Modell des Collaborative Material Requirement Planning in Abbildung 78 skizziert. Zur Validierung des entwickelten Vorgehenskonzeptes wurde das Verfahren für eine Produktfamilie und einem ausgewählten Kunden durchgeführt.

**Collaborative Material Requirement Planning:**

vorschaubezogene Disposition des kundenspezifischen Rohmaterials

Folge: niedrigere Bestände und hohe Liefertreue durch „richtige“ Bestände

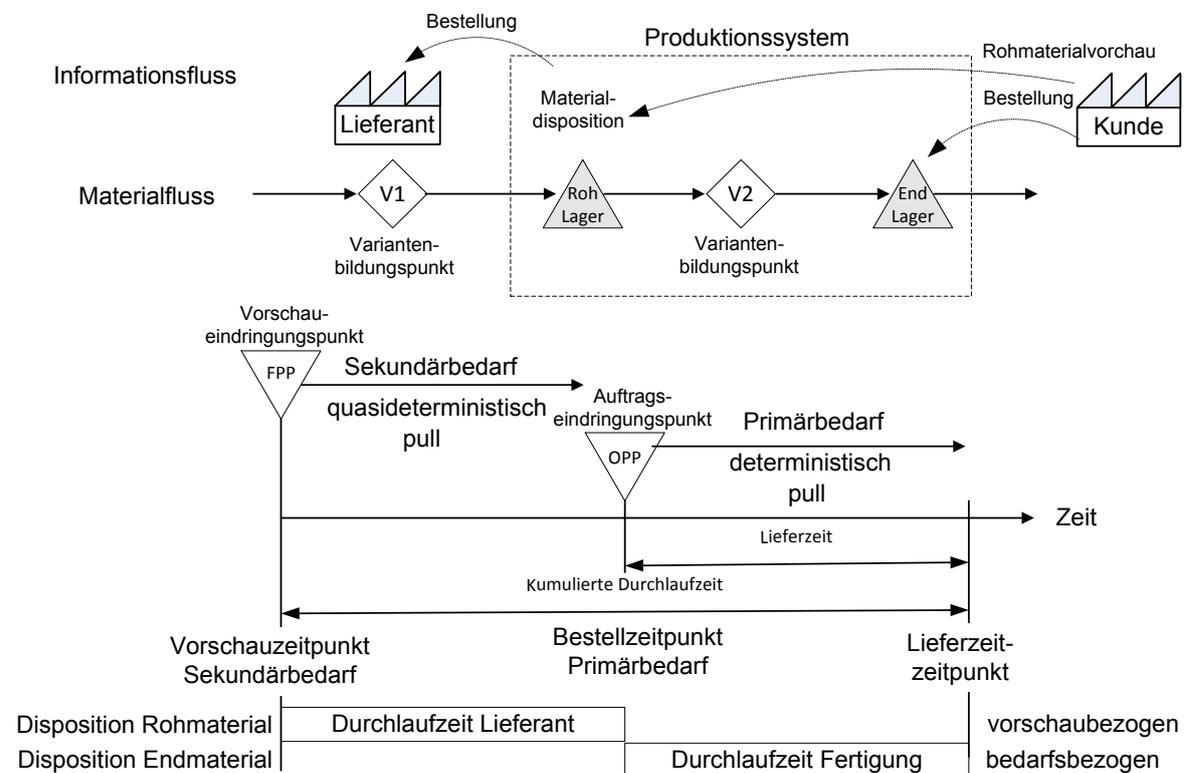


Abbildung 78: Collaborative Material Requirement Planning (CMRP)

### Vormaterialprognose

Die Struktur einer Vorschau für die Vormaterialien ist beispielhaft in Tabelle 26 dargestellt. Durch die quasideterministische Prognose konnten die bisherigen fehlerhaften Prognosen der Walzbarrenbedarfe aufgrund ungeeigneter Vergangenheitsdaten verbessert werden. Die Erhöhung der Treffsicherheit erspart zusätzliche Aufwände in der Gießerei, da bisher nötige Extrakampagnen entfallen, und reduziert zusätzlich den Barrenbestand.

Tabelle 26: Beispielhafte Walzbarrenvorschau

Vorschau Walzbarren Kunde XY Legierung A, B und C Gießstart DD.MM.YYYY				
Werkstoff	Barrenbreite	Endbreite	Gießzyklus Start	Bedarf bis KW ZZ (Fertigmenge)
A	1070	1000	DD.MM.YYYY	
		850	DD.MM.YYYY	
	910	900	DD.MM.YYYY	
B	1070	960	DD.MM.YYYY	
		1000	DD.MM.YYYY	
	1150	1050	DD.MM.YYYY	
		1680	1600	DD.MM.YYYY
C	1070	950	DD.MM.YYYY	
		1000	DD.MM.YYYY	

### Wirkungskontrolle

Die neue Walzbarrenplanung erfolgte erstmals in Kalenderwoche 2011/43 auf Basis der gelieferten Walzbarrenvorschau für die Lieferungen der nächsten 8-12 Wochen. Die Auswirkung auf die Liefertreue kann somit frühestens ab Ende 2011 bzw. Anfang 2012 gemessen werden. Die Liefertreue konnte dadurch von 79% im Jahr 2011 auf 86% im Jahr 2012 bis einschließlich Kalenderwoche 19 verbessert werden (siehe Abbildung 79 und Abbildung 80). Nach der Berechnung der Liefertreue auf Ebene Kalenderwoche (KW) wurden die Aufträge nach dem in Tabelle 27 aufgestelltem Klassifikationsschema klassifiziert.

Tabelle 27: Kategorisierung Liefertreue

Kategorie	Zuordnung
bis -1 KW	Istliefertermin eine Woche vor der bestätigten Lieferwoche
in KW	Istliefertermin in der bestätigten Lieferwoche (in time)
bis1 KW	Istliefertermin eine Woche nach der bestätigten Lieferwoche
bis 2 KW	Istliefertermin eine bis zwei Wochen nach der bestätigten Lieferwoche
> 2 KW	Istliefertermin mindestens zwei Wochen oder nach der bestätigten Lieferwoche

Die Liefertreue ergibt sich als Summe der Häufigkeiten aller Aufträge, die in der bestätigten Kalenderwoche geliefert wurden oder bereits früher. Auch die Streuung, als Maß für die Planungsgenauigkeit, war im Jahr 2012 bis zum Auswertungszeitraum deutlich geringer. Es wurden keine Aufträge zu früh geliefert und auch keine Aufträge mehr als 2 Wochen zu spät. Die Ausreißer sind auf die Startphase zurückzuführen. Nach subjektiver Einschätzung des Produktionsplaners liegt die Liefertreue nach der Einführung von CMRP bei 100 Prozent.

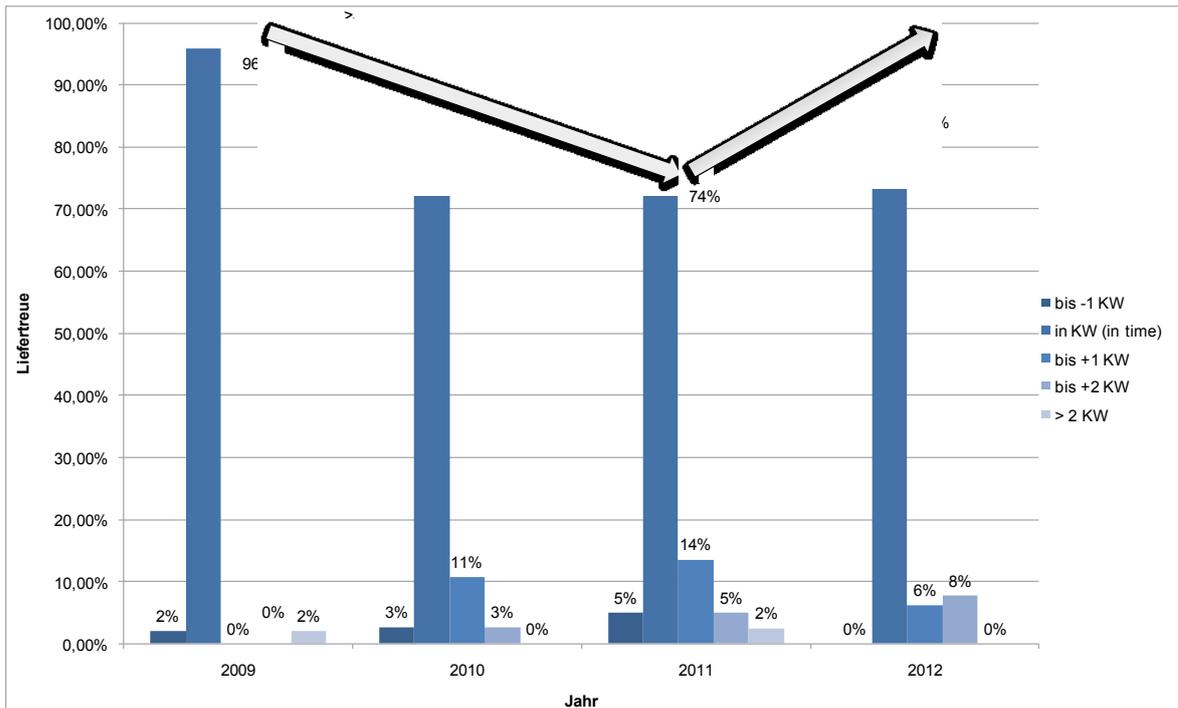


Abbildung 79: Zeitliche Entwicklung der Liefertreue nach der Einführung von CMRP

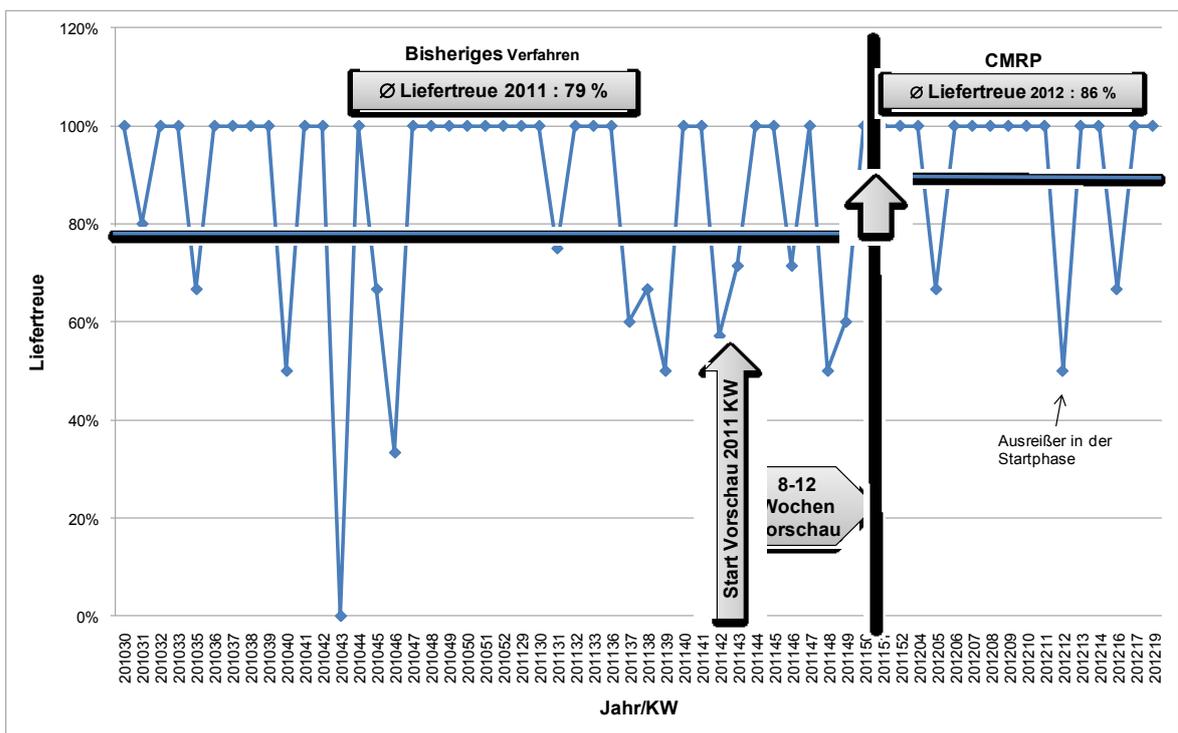


Abbildung 80: Verbesserung der Liefertreue nach Einführung des CMRP in KW

## 6.5 Zusammenfassung und Überleitung

In diesem Kapitel wurde ausgehend von den im Kapitel 5 detailliert ausgearbeiteten Charakteristika eines flexibilitätsorientierten Produktionssystems anhand eines flexibilitätsorientierten Walzwerkes bestehende klassische Methoden aus der Literatur zur Analyse und Verbesserung der operativen Produktionsplanung, insbesondere der Materialbedarfsplanung, erläutert und diskutiert. Der Anspruch bei der Auswahl der Methoden bestand jedoch nicht darin alle bestehenden Methoden anzuwenden, da dies den Rahmen der Arbeit übertrifft und nicht zielführend wäre. Das Ziel war nur diejenigen Modelle und Ansätze näher vorzustellen, welche für die Entwicklung eines neuen Vorgehensmodells erforderlich waren.

Mit dem vorgestellten Collaborative Material Requirement Planning wurde damit ein Ansatz zur Verbesserung der Materialbedarfsplanung durch Nutzung des in der Supply Chain vorhandenen Wissens vorgestellt. Dieses in der Supply Chain vorhandene Wissen kann aufgrund der divergierenden Produktstruktur unter den beschriebenen Rahmenbedingungen durch eine klassische MRP-Planung nicht weitergegeben werden. Durch die Einbeziehung des Kunden findet eine übergreifende Betrachtung der Supply-Chain statt. Der Ansatz deckt damit auch die nachfrageorientierte Planung des Produktionsprogramms ab und koppelt diese direkt mit der Materialbedarfsplanung. Das ganzheitlich orientierte CMRP kann damit gleichzeitig sowohl zur Verbesserung der Erzeugnisprogrammplanung als auch der Materialbedarfsplanung betrachtet werden. Die Anwendung anhand des Fallbeispiels brachte eine eindeutige Verbesserung der logistischen Zielgröße Liefertreue. Damit wurde in diesem Kapitel die folgende Forschungsfrage beantwortet:

*„Mit welchem Vorgehensmodell kann die Materialbedarfsplanung in der flexibilitätsorientierten Prozessindustrie unter Nutzung des in der Supply Chain vorliegenden Wissens verbessert werden?“*

Zurückgehend auf das in Abschnitt 3.5 dargestellte betrachtete Basismodell und die zu beantwortende Forschungsfrage bleibt damit noch die nähere Untersuchung der Produktionsablaufplanung und -steuerung, die im nächsten Kapitel behandelt wird. Wie im Abschnitt 4.5 erörtert wurde, sind klassische Ansätze zur Fertigungssteuerung im konkreten Anwendungsfall nicht umsetzbar. Die detaillierte Analyse der Planungsbesonderheiten in Kapitel 5 zeigte, dass die komplexen Anforderung und Problemstellungen, die sich durch die vielen technologisch bedingten Restriktionen und Abhängigkeiten ergeben, vor allem durch das dezentrale Wissen der Mitarbeiter in den unterschiedlichen Produktionsbereichen erfolgreich gelöst werden kann. Vor diesem Hintergrund beschäftigt sich das nächste Kapitel mit dem Beitrag von Data-Mining und einer damit verbundenen wissensbasierten Produktionsplanung.

## 7 Vorgehenskonzept zur Ableitung von Planungsregeln mit Data-Mining

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit der Beantwortung der folgenden Forschungsfrage:

*„Mit welchen prozessualen Vorgehen und Methoden lassen sich die in den PPS-Systemen vorliegenden Daten zur Ableitung von Planungsregeln und Verbesserung logistischer Zielgrößen nutzen, und wie muss ein PPS-System dafür aufgebaut sein?“*

In den vorigen Kapiteln wurde deutlich, dass es sich bei Produktionssystemen in der flexibilitätsorientierten Prozessindustrie um komplexe Systeme handelt, die eine hohe Kompetenz der Mitarbeiter erfordern. Als Befähiger für die Flexibilität wird neben dem einzigartigen Produktmix und modernen Produktionsanlagen vor allem die hohe Kompetenz der Mitarbeiter genannt.<sup>464</sup> Das Wissen der Mitarbeiter ist für eine schnelle Reaktionsfähigkeit in einem dynamischen Umfeld unerlässlich. Viele Entscheidungen in der Produktion und in der Fertigungssteuerung auftretende Probleme können nur durch die Erfahrung der Mitarbeiter auf Shop-Floor Ebene zufriedenstellend getroffen bzw. gelöst werden. Eine vollständige Automatisierung durch Algorithmen ist meist nicht möglich, da sich die vielfältigen unterschiedlichen Produktionssituationen weder vollständig formal beschreiben lassen noch würden Algorithmen in der notwendigen Zeit eine optimale Lösung ermitteln. Auf der anderen Seite finden sich die Ergebnisse der getroffenen Entscheidungen in den Datenbeständen der PPS-Systeme wieder, in denen heute Unmengen an Informationen zur Verfügung stehen. Daher stellt sich die Frage ob und wie sich das implizit in den Produktionsdaten vorhandene Wissen extrahieren lässt, um Verbesserungsmaßnahmen ableiten zu können.

Dazu werden im folgenden Abschnitt 7.1 zunächst die notwendigen Grundlagen zu Data-Mining, das sich in den letzten Jahren zur Entdeckung von nützlichen Informationen in großen Datenbeständen etabliert, erläutert. Im Anschluss daran werden im Abschnitt 7.2 die wesentlichen Data-Mining-Methoden aus der Statistik und dem maschinellen Lernen erläutert sowie zu Methodengruppen zusammengefasst und deren Einsatzbereiche aufgezeigt. Abschnitt 7.3 widmet sich dem prozessualen Vorgehen bei einem Data-Mining Vorhaben und in Abschnitt 7.4 werden Anwendungsmöglichkeiten in der Produktion untersucht. Das Kapitel schließt mit einem aus den beschriebenen Ansätzen abgeleiteten Vorgehenskonzept zur Ableitung von Planungsregeln und Verbesserung logistischer Zielgrößen sowie einem Modell eines wissensbasierten Produktionsplanungs- und Steuerungssystem, das auf den in Abschnitt 3.3 beschriebenen PPS-Systeme basiert.

### 7.1 Grundlagen zu Data-Mining

Den Begriff Data-Mining kann man übersetzen mit Datenabbau und Datengewinnung. In Analogie zum Bergbau, dessen Gegenstand die Gewinnung von Rohstoffen aus den Erdmassen darstellt, kann unter Data-Mining die Gewinnung von interessanten Daten aus den Datenbeständen. Im Bergbau durchlaufen die abgebauten Rohstoffe einen mehrstufigen Verarbeitungsprozess, um einen bestimmten Nutzen zu erzielen. Analog werden beim Data-

---

<sup>464</sup> Vgl. AMAG Austria Metall AG (2012), S. 26

Mining Daten selektiert, einem Datenverarbeitungsprozess unterzogen und analysiert, um Entscheidungsträger zielgerichtet und zweckorientiert mit Informationen zu versorgen.<sup>465</sup>

Tabelle 28: Begriffe für Datenanalyse und Mustererkennung<sup>466</sup>

<b>Umfrage: Mit welchem Begriff würden sie die Tätigkeiten der Datenanalyse und Mustererkennung umschreiben?</b>		
Begriff	Anzahl	Anteil
Data-Mining	94	54.7%
Predictive Analytics	25	14.5%
Statistics	15	8.7%
Business Analytics	12	7.0%
Knowledge Discovery	9	5.2%
Business Intelligence	5	2.9%
Data Science	4	2.3%
Other	8	2%

Die in Tabelle 28 dargestellten Ergebnisse einer Umfrage zeigen, dass die Tätigkeit der Datenanalyse und Mustererkennung am häufigsten mit dem Begriff Data-Mining umschrieben wird.<sup>467</sup> Daneben wurden noch einige andere Begriffe genannt, die mit Data-Mining in einem Zusammenhang stehen.

In der Literatur finden sich ebenfalls viele Termini, die etwas mit Data-Mining zu tun haben und oft synonym für den Begriff Data-Mining verwendet werden:<sup>468</sup> Data Warehouse, Datenbanktechniken, multivariate Analysen, Konnektionistische Systeme, Soft Computing, explizite und implizite Regeln, Maschinelles Lernen, Information und Wissen. All diese Begriffe beschreiben jeweils Teilaspekte des Data-Mining:

- Data Warehouse: Unter Data Warehouse ist ein Konzept zu verstehen, dass zur zentralen Verwaltung von Daten aus operativen Systemen und externen Quellen dient. Ein Data Warehouse ist somit in dieser Funktion eine notwendige Voraussetzung zur Analyse der Daten mittels Data-Mining, da auf diese Weise Daten in strukturierter Form vorliegen, um sie mit Data-Mining-Instrumenten zu bearbeiten.<sup>469</sup>
- Datenbanktechnik: Eine Data Warehouse basiert auf Datenbanktechniken.
- Multivariate Analyse: Die multivariaten Methoden der Datenanalyse aus der Statistik sind zu den Techniken des Data-Mining zu zählen.<sup>470</sup>
- Soft Computing: Unter Soft Computing werden neuere Techniken aus dem Gebiet der künstlichen Intelligenz bezeichnet, die im Data-Mining angewandt werden.
- Konnektionistische Systeme: Dazu zählen beispielsweise Konnektionistische Systeme (neuronale Netze), Fuzzy-Logik, genetische Algorithmen und Bayes'sche Netze.<sup>471</sup>

<sup>465</sup> Vgl. Petersohn (2005), S. 4

<sup>466</sup> Quelle: KDnuggets (2011a)

<sup>467</sup> Vgl. KDnuggets (2011a)

<sup>468</sup> Vgl. Otte et al. (2004), S. 16

<sup>469</sup> Vgl. Pfaff (2005), S. 81

<sup>470</sup> Vgl. Chamoni et al. (2005), S. 23

- Maschinelles Lernen: Diese Methoden werden auch unter dem Obergriff maschinelles Lernen zusammengefasst.
- Data-Mining: Die Anwendung dieser Methoden des maschinellen Lernens auf größere Datenbanken wird als Data-Mining bezeichnet.<sup>472</sup>

Allgemein kann Data-Mining definiert werden, als Prozess des Gewinnens von Wissen aus Daten sowie dessen Darstellung und Anwendung. Dabei werden meist Methoden der Statistik und Künstlichen Intelligenz bzw. angewandt, die sich mit vertretbarem Aufwand auf sehr große Datenmengen anwenden lassen.<sup>473</sup> Im nächsten Abschnitte werden zunächst die im Data-Mining verwendeten Methoden aus der Statistik sowie aus dem maschinellen Lernen erläutert.

## 7.2 Data-Mining Methoden

Die im Rahmen von Data-Mining eingesetzten Methoden aus der Statistik kommen vor allem aus der multivariaten Statistik, wobei vor allem die Verfahren der Clusteranalyse näher auf ihre Anwendbarkeit untersucht wurden. Grundlegende Kenntnisse über die wichtigsten Verfahren sind eine wesentliche Voraussetzung zur Anwendung von Data-Mining, da je nach konkretem Anwendungsfall und Ausgangssituation unterschiedliche Verfahren auszuwählen sind. Die folgenden Abschnitte sollen daher einen kurzen Überblick geben.

### 7.2.1 Multivariate Methoden der Statistik

Uni- und bivariate Datenanalysen, wie die Erstellung von Häufigkeitsverteilungen, die Berechnung von Maßzahlen, die Durchführung von Signifikanztests und die Berechnung von Korrelationskoeffizienten, reichen meist allein noch nicht zur Beantwortung der Kernfragen einer empirischen Studie. Sobald mehr als zwei Merkmale gleichzeitig untersucht werden sollen, sind Methoden der multivariaten Statistik anzuwenden. Die Analyse kann sich dabei primär auf die Merkmale oder auf die Objekte beziehen. Beispielsweise sind bei einer Untersuchung der Produktnachfrage im Rahmen eines Regressionsmodells die Einflussgrößen, d.h. die Merkmale, von Interesse. Dagegen würden bei einer Marktsegmentierung nach Kunden oder Regionen die Objekte im Vordergrund stehen. Bei primär merkmalsbezogenen Verfahren spricht man von einer R-Technik, während ein objektbezogenes Verfahren als Q-Technik bezeichnet wird.<sup>474</sup>

Eine weitere Klassifizierungsmöglichkeit ist die Unterscheidung zwischen dependenten und interdependenten Verfahren. Zur Dependenzanalyse gehören multivariate Methoden, die explizit eine Differenzierung zwischen abhängigen und unabhängigen Variablen vornehmen, wie die Regressionsanalyse, die Varianzanalyse, die Kovarianzanalyse und die Diskriminanzanalyse. Verfahren der Interdependenzanalyse unterscheiden nicht zwischen abhängigen und unabhängigen Variablen, sondern behandeln Variablen einheitlich, in dem Sinne, dass sich Aussagen und Analyseergebnisse stets auf alle diese Merkmale in gleicher Art und Weise erstrecken. Zu dieser Gruppe zählen die Faktorenanalyse, die Clusteranalyse und die Kanonische Korrelation.

---

<sup>471</sup> Zu Soft Computing und Data-Mining siehe Maimon (2008)

<sup>472</sup> Vgl. Alpaydin (2008), S. 2

<sup>473</sup> Vgl. Ertel (2009), S. 184

<sup>474</sup> Vgl. Eckey et al. (2002), S. 1

Bei der in Tabelle 29 dargestellten Systematisierung der multivariaten Verfahren ist zu beachten, dass es sich um keine starre Einteilung der verschiedenen multivariaten statistischen Verfahren handelt, da viele Methoden wahlweise als R- oder Q-Technik angewandt werden können.<sup>475</sup> Die Clusteranalyse ist beispielsweise eine Q-Technik für die Objekte, sie kann aber auch als R-Technik für die Merkmale eingesetzt werden. Solange das Interesse in der Bestimmung latenter Faktoren liegt, welche die Merkmale beschreiben, ist die Faktorenanalyse eine R-Technik für die Merkmale. Hingegen ist das sich anschließende Schätzen von Faktorenwerten eine Q-Technik, denn hier wird den Objekten je ein Datenvektor bezüglich der latenten Faktoren zugeordnet.

Tabelle 29: Systematisierung der multivariaten Verfahren<sup>476</sup>

Multivariate Verfahren		
Technik	Dependenzanalyse	Interdependenzanalyse
R-Technik (Variable bzw. Merkmal)	Regressionsanalyse	Faktorenanalyse
	Varianzanalyse	Kanonische Relation
	Kovarianzanalyse	
Q-Technik (Objekt)	Diskriminanzanalyse	Clusteranalyse

Ferner lässt sich, die multidimensionale Skalierung, die üblicherweise ein typisches multivariates Verfahren ist, nicht ohne weiteres in obiger Tabelle einordnen, da diese nicht auf einer klassischen multivariaten Datenmatrix basiert. Diese geht nämlich nicht von einer, wie sonst üblichen Datenmatrix aus, sondern von globalen Urteilen über die Ähnlichkeit der Untersuchungsobjekte und versucht daraus die passenden Merkmale zu ermitteln.<sup>477</sup> Aus der Vielzahl an multivariaten Verfahren spielt vor allem die Clusteranalyse häufig bei Data-Mining Projekten eingesetzt.<sup>478</sup>

### 7.2.2 Clusteranalyse

Bei der Clusteranalyse werden im Gegensatz zur Faktorenanalyse nicht die Variablen, sondern die Objekte gebündelt bzw. klassifiziert. Die Clusteranalyse zählt damit zu den Q-Techniken der multivariaten Statistik. Sie unterscheidet sich von der Diskriminanzanalyse insofern, da man in der Diskriminanzanalyse unter Klassifikation die Einordnung von (neuen) Untersuchungsobjekten in bereits existierende Gruppen versteht, während in der Clusteranalyse die Gruppen, die zunächst unbekannt sind, erst durch die Klassifikation erzeugt werden.<sup>479</sup> Mit der Clusteranalyse können somit, aufgrund mehrdimensionaler Daten oder aufgrund von Objektähnlichkeiten, Gruppen ähnlicher Objekte bestimmt werden. Sie teilt Objekte in Klassen ein, wobei die Objekte innerhalb einer Klasse möglichst homogen und die Klassen untereinander möglichst heterogen sind.<sup>480</sup>

<sup>475</sup> Vgl. Elpelt/Hartung (2007), S. 15

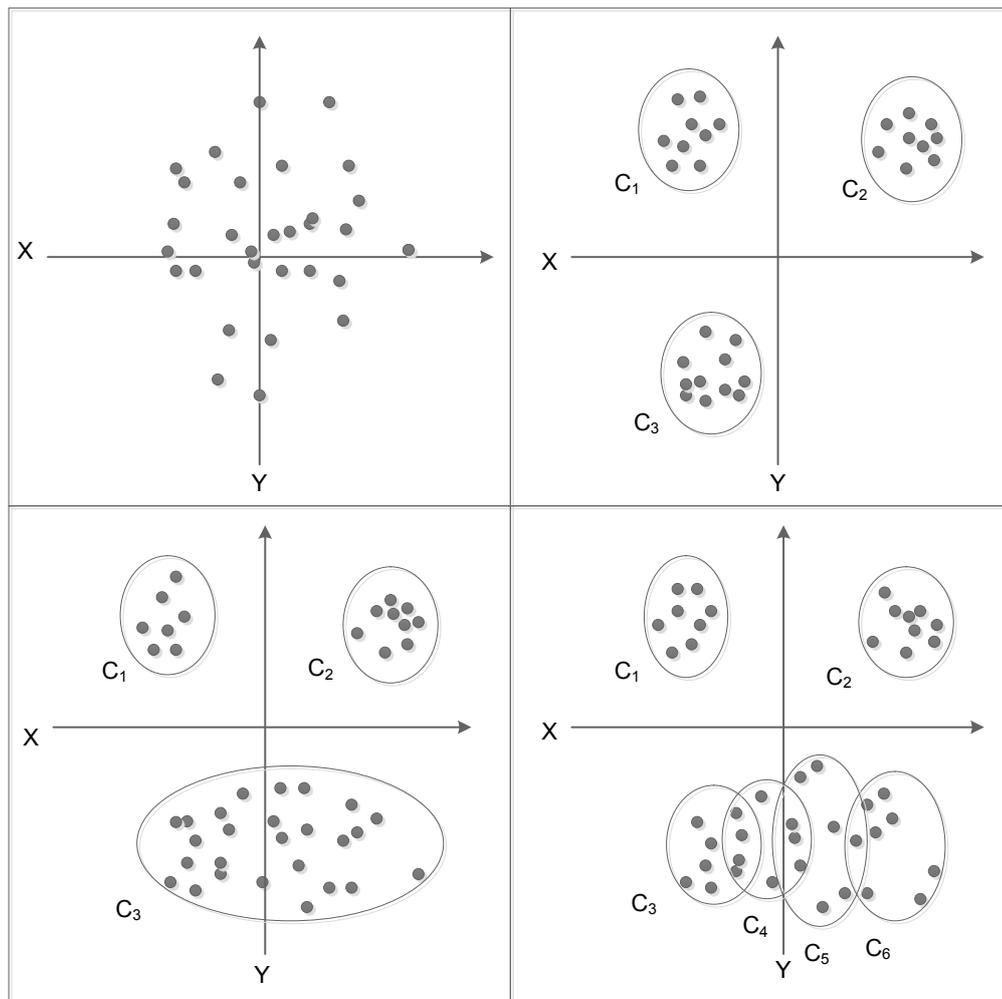
<sup>476</sup> Quelle: in Anlehnung an Eckey et al. (2002), S. 3

<sup>477</sup> Vgl. Bamberg et al. (2008), S. 231

<sup>478</sup> Siehe dazu die Top 10 Algorithmen im Data-Mining in Abschnitt 7.2.3

<sup>479</sup> Vgl. Eckey et al. (2002), S. 289f

<sup>480</sup> Vgl. Hartung et al. (2005), S. 860

Abbildung 81: Datenkonstellationen mit erkennbarer und nicht erkennbarer Clusterstruktur<sup>481</sup>

Die beiden Grundanforderungen Intracluster-Homogenität und Intercluster-Heterogenität sind Voraussetzung für die Anwendung einer Clusterung und sind in Abbildung 81 veranschaulicht, in der die untersuchten Klassifikationsobjekte mit zwei Variablen X und Y als Punkte abgebildet sind:<sup>482</sup>

- Links oben bilden die untersuchten Klassifikationseinheiten eine große Punktwolke ohne erkennbare Clusterstruktur. Eine Aussage der Art, dass den Daten Cluster zugrunde liegen ist nicht sinnvoll.
- Rechts oben sind drei homogene Cluster erkennbar, die voneinander gut getrennt sind.
- Links unten lassen sich zwar drei Cluster erkennen, die die Vorstellung der Heterogenität zwischen den Clustern erfüllt, der untere Cluster ist aber sehr langgestreckt und erfüllt die Homogenitätsbedingung innerhalb der Cluster nur in einem geringen Ausmaß.
- Rechts unten wurde das lang gestreckte Cluster in vier überlappende Teilcluster zerlegt. In Abhängigkeit der Prämissen bei der Clusterbildung, kann man sich also

<sup>481</sup> Quelle: in Anlehnung an Bacher et al. (2010), S. 17

<sup>482</sup> Vgl. Bacher et al. (2010), S. 16f

entweder für drei Cluster entscheiden oder aus dem langgestreckten Cluster mehrere überlappende Cluster bilden.

Zur Bildung von Clustern existieren in der Literatur viele Verfahren, für die unterschiedliche Einteilungen und Zusammenfassungen vorgeschlagen wurden. Bacher differenziert aufgrund der Zuordnung der Klassifikationsobjekte zu den Clustern drei große Verfahrensgruppen, die im Folgenden erläutert werden sollen: unvollständige Clusteranalyseverfahren, deterministische Clusteranalyseverfahren und probabilistische Clusteranalyseverfahren.<sup>483</sup>

### Unvollständige Clusteranalyseverfahren

Unvollständige Clusteranalyseverfahren werden auch als geometrische Methoden, als Repräsentations- oder Projektionsverfahren bezeichnet und führen nur zu einer Darstellung der Objekte in einem zwei- oder maximal dreidimensionalen Raum. Die Bildung von Clustern und die Zuordnung der Untersuchungsobjekte zu den Clustern muss vom Anwender bei der Interpretation der räumlichen Darstellung vorgenommen werden. Zu den unvollständigen Clusteranalyseverfahren zählen beispielsweise die multiple Korrespondenzanalyse<sup>484</sup> und die nichtmetrische mehrdimensionale Skalierung.<sup>485</sup>

### Deterministische Clusteranalyseverfahren

Die deterministische Clusteranalyseverfahren ordnen die Klassifikationsobjekte mit einer Wahrscheinlichkeit von Eins einem oder mehreren Clustern zu und lassen sich in hierarchische und partitionierende Verfahren unterscheiden. Bei den sogenannten hierarchisch-agglomerativen Verfahren erfolgt die Clusterbildung schrittweise indem aus  $n$  Objekten zunächst  $n$  Cluster gebildet werden, dann  $n-1$  Cluster, dann aus diesen wieder  $n-2$  Cluster usw. Genau umgekehrt wird bei den hierarchisch-divisiven Verfahren vorgegangen, bei denen zuerst alle  $n$  Objekte ein einziges großes Cluster bilden, das dann in zwei Cluster aufgespalten wird, und diese zwei dann wieder in drei usw. Tabelle 30 gibt einen Überblick über die wichtigsten hierarchischen Klassifikationsverfahren mit Angabe des erforderlichen Skalenniveaus und der Art der Clusterzusammenführung (Clusterfusionierung).

Tabelle 30: Hierarchische Klassifikationsverfahren<sup>486</sup>

Hierarchisches Klassifikationsverfahren	Erforderliches Skalenniveau	Clusterfusionierung
Single-Linkage-Verfahren	beliebig	Nächster Nachbar
Complete-Linkage-Verfahren	beliebig	Weitester Nachbar
Average-Linkage-Verfahren	beliebig	Durchschnittliche Distanz
Median-Verfahren	metrisch	Ungewogene Schwerpunktdistanz
Zentroid-Verfahren	metrisch	Gewogene Schwerpunktdistanz
Ward-Verfahren	metrisch	Intra-Klassenvarianz

Während bei den hierarchischen Verfahren die Clusteranzahl  $K$  berechnet wird, ist diese bei den partitionierenden Verfahren vorzugeben. Bei den partitionierenden Verfahren, werden die Objekte über ein bestimmtes Kriterium, das maximiert bzw. minimiert wird, den Clustern

<sup>483</sup> Vgl. Bacher et al. (2010), S. 18f

<sup>484</sup> Zur multiplen Korrespondenzanalyse siehe Blasius (2001), S. 157ff oder Bacher et al. (2010), S. 43ff

<sup>485</sup> Zur nichtmetrische mehrdimensionale Skalierung siehe Reiter (1991) oder Bacher et al. (2010), S. 77ff

<sup>486</sup> Vgl. Eckey et al. (2002), S. 230

zugeordnet. Das bekannteste davon, das K-means-Verfahren, ordnet die  $n$  Objekte den  $K$  Clustern so zu, dass die Varianzen in den Clustern minimiert wird.<sup>487</sup> Das K-means-Verfahren kann somit in die Gruppe der iterativen Minimal-Distanz-Verfahren eingeordnet werden. Dagegen erfolgt in den als optimierende Austauschverfahren (Hill-Climbing Methode) bezeichneten partitionierenden Verfahren, eine optimale Partition im Hinblick auf ein bestimmtes Kriterium durch Umgruppierung von Objekten. Obwohl die Anzahl der Cluster bei den partitionierenden Verfahren konstant bleibt, besitzen diese im Vergleich zu den hierarchischen Verfahren eine größere Flexibilität, da die Gruppenzugehörigkeit eines Objektes verändert werden kann. Damit kann während des Klassifikationsprozess eine Umgruppierung vorgenommen werden, wenn dies eine Verbesserung der Partition ergibt.<sup>488</sup>

### Probabilistische Clusteranalyseverfahren

Bei den probabilistischen oder fuzzy Clusteranalyseverfahren werden die Klassifikationsobjekte den Clustern nicht deterministisch mit einer Wahrscheinlichkeit von Eins oder Null, sondern mit einer dazwischen liegenden Wahrscheinlichkeit zugeordnet.<sup>489</sup> Anstelle von Distanzen werden Zuordnungswahrscheinlichkeiten verwendet, die sich mit Hilfe des Theorems von Bayes berechnen lassen.<sup>490</sup> Anstelle von Cluster wird in diesem Fall dann die Bezeichnung „latente Klasse“ verwendet.<sup>491</sup> Als probabilistische Verfahren sind beispielsweise der Latent-GOLD-Ansatz und die Latente Profilanalyse zu nennen.<sup>492</sup> Bei den probabilistischen und deterministischen Verfahren ist noch zu unterscheiden zwischen den überlappungsfreien bzw. disjunkten Clusteranalyseverfahren, bei denen ein Objekt genau einem Cluster zugeordnet werden kann, und den überlappenden Clusteranalyseverfahren, bei denen ein Objekt mehreren Clustern angehören kann.

### Vorgehensweise

Auch wenn die einzelnen Ablaufschritte zur Durchführung einer Clusteranalyse durch das jeweils gewählte Verfahren definiert werden, kann die allgemeine Vorgehensweise bei einer Klassifikation von Objekten prinzipiell in einige wenige Arbeitsschritte zerlegt werden.

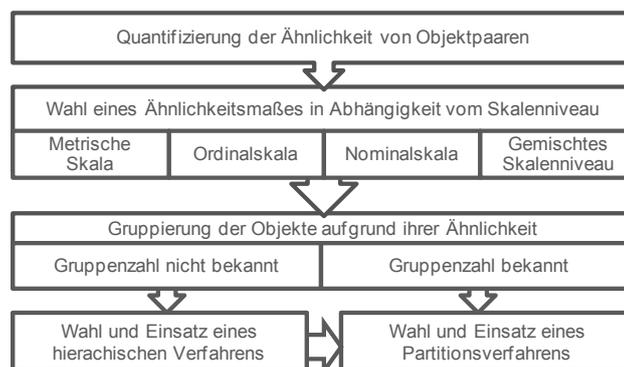


Abbildung 82: Klassifikation von Objekten<sup>493</sup>

<sup>487</sup> Vgl. Bacher et al. (2010), S. 19

<sup>488</sup> Vgl. Eckey et al. (2002), S. 255

<sup>489</sup> Eine ausführliche Behandlung der Methoden zur Fuzzy-Clusteranalyse findet sich bei Höppner (1999)

<sup>490</sup> Das nach dem englischen Mathematiker Thomas Bayes (1701-1761) benannte Theorem von Bayes beschreibt die Berechnung bedingter Wahrscheinlichkeiten. Zu Bayes-Statistik siehe Koch (2000) oder Bolstad (2007).

<sup>491</sup> Vgl. Reinecke/Tarnai (2000), S. 19

<sup>492</sup> Vgl. Bacher et al. (2010)

<sup>493</sup> Quelle: in Anlehnung an Eckey et al. (2002), S. 204

Dabei ist, wie in Abbildung 82 dargestellt, im ersten Arbeitsschritt in Abhängigkeit vom Skalenniveau der Klassifikationsmerkmale eine Quantifizierung der Ähnlichkeit der Objektpaare vorzunehmen. Danach kann in einem zweiten Schritt die Gruppierung der Objekte durch Auswahl erfolgen. Die Auswahl eines geeigneten Clusteranalyseverfahren ist dabei abhängig davon, ob die Anzahl der Cluster bekannt sind oder nicht. Ist die Clusteranzahl bekannt kann unmittelbar ein geeignetes Partitionsverfahren ausgewählt werden. Ansonsten ist ein geeignetes hierarchisches Verfahren auszuwählen, dass zuerst die Gruppenanzahl berechnet und dann die zugehörige Zuordnung vornimmt. Anschließend könnte man dieses Ergebnis durch Einsatz eines Partitionsverfahrens optimieren bzw. nochmals prüfen.<sup>494</sup>

### 7.2.3 Methoden aus dem Maschinellen Lernen

Data-Mining Algorithmen kommen entweder, wie gerade erläutert, aus der multivariaten Statistik oder aus dem Bereich des maschinellen Lernens. Das Forschungsgebiet des maschinellen Lernens beschäftigt sich mit der computergestützten Modellierung und Realisierung von Lernphänomenen. Ein wesentliches Element des maschinellen Lernens ist der induktive Schluss, bei dem vom Besonderen auf das Allgemeine geschlossen wird.<sup>495</sup>

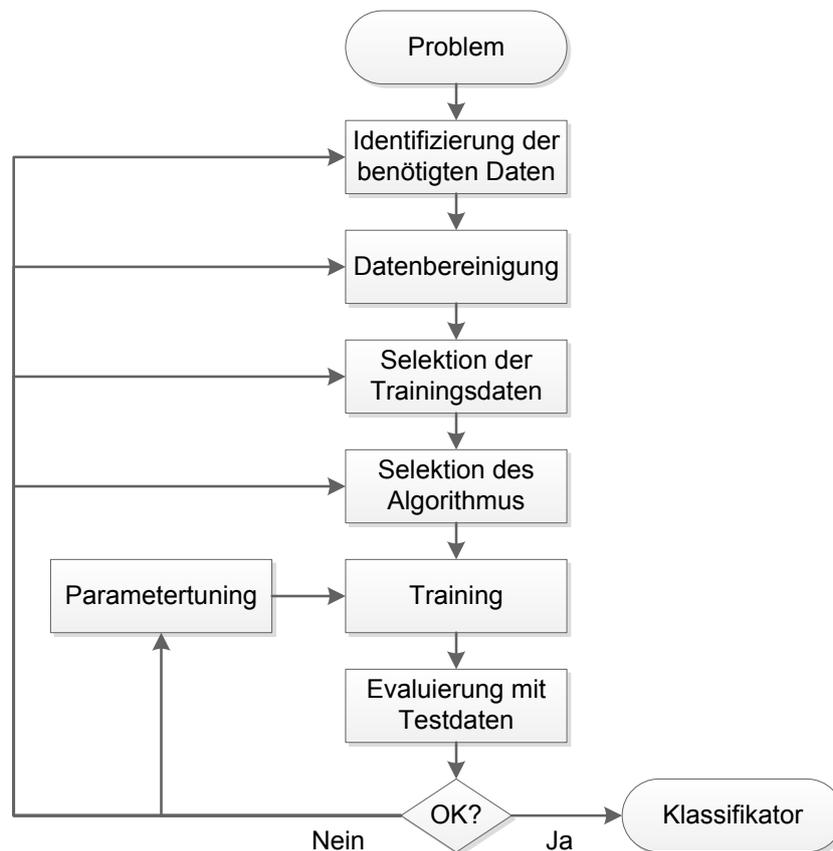


Abbildung 83: Prozess des überwachten maschinellen Lernens<sup>496</sup>

<sup>494</sup> Vgl. Eckey et al. (2002), S. 203f

<sup>495</sup> Vgl. Görz (2003), S. 518

<sup>496</sup> Quelle: in Anlehnung an Kotsiantis (2007), S. 250

Induktives maschinelles Lernen bezeichnet allgemein den Prozess, um aus einer gegebenen Menge von Datenobjekten (Trainingsdaten) eine Menge an Regeln zu erlernen, die zur Klassifizierung von neuen Datenobjekten herangezogen werden können. Die Anwendung dieser Form des überwachten Lernens für eine reale Problemstellung veranschaulicht Abbildung 83.

Der erste Schritt besteht in der Identifizierung der benötigten Daten. Falls dabei ein Experte vorhanden ist, kann dieser die relevanten Variablen bzw. Merkmale vorschlagen, die wahrscheinlich die gewünschten Informationen beinhalten. Falls kein Experte zur Hand ist, kann im einfachsten Fall die Brute-Force Methode angewandt werden, bei der alle möglichen Daten erhoben werden, in der Hoffnung, dass die richtigen relevanten Informationen in einem späteren Schritt isoliert werden können. In diesem Fall erfordert der zweite Schritt der Datenaufbereitung und –bereinigung allerdings einen sehr hohen Zeitaufwand. Als nächster Schritt sind die Trainingsdaten für den Algorithmus und ein für die Problemstellung geeigneter Klassifizierungsalgorithmus auszuwählen.<sup>497</sup>

Klassifizierungsalgorithmen zählen zu den am weitesten verbreiteten Werkzeugen im Bereich des Data-Mining. Als Input benötigen diese eine Menge an Ausgangsobjekten, wobei jedes Objekt durch die Werte von fix vorgegebenen Attributen beschrieben wird und genau einer Klasse zugeordnet wird. Als Output liefert ein Klassifizierungsalgorithmus einen Klassifikator, der die Zuordnung eines neuen Objekts zu einer Klasse genau vorhersagt. Eine Möglichkeit zur Klassifizierung bietet die Bildung von Entscheidungsbäumen. Dazu wurden zahlreiche Algorithmen entwickelt.<sup>498</sup>

Da im Rahmen dieser Arbeit nicht alle Algorithmen aus dem maschinellen Lernen behandelt werden können, musste eine Auswahl getroffen werden. Dazu werden die relevanten aus den unten aufgelisteten Top 10 Algorithmen im Data-Mining, die aus Sicht der Science Community anlässlich der IEEE International Conference on Data-Mining (ICDM) 2006 identifiziert wurden, im Folgenden genauer erläutert.<sup>499</sup>

- (1) C4.5: Klassifizierung durch Bildung eines Entscheidungsbaums
- (2) k-Means: Clusteranalyse durch Bildung von Cluster mit der Anzahl k
- (3) SVM (Support Vector Machine): Klassifikation und Regression
- (4) Apriori: Verfahren zur Assoziationsanalyse
- (5) EM (Expectation Maximization): Clusteranalyse
- (6) PageRank: Bewertung von Webseiten für Suchmaschinen
- (7) AdaBoost: Klassifikator zur Mustererkennung
- (8) kNN (k-nearest neighbour): Nächste-Nachbarn-Klassifikation
- (9) Naive Bayes: auf dem Bayestheorem basierender Klassifikator zur Clusteranalyse
- (10) CART (Classification and Regression Tree): binärer Entscheidungsbaum

### **CART**

CART (Classification And Regression Tree) ist ein Algorithmus, der zur Bildung von binären Entscheidungsbäumen dient. Die Erzeugung des Entscheidungsbaumes läuft dabei in zwei

---

<sup>497</sup> Vgl. Kotsiantis (2007), S. 250

<sup>498</sup> Siehe beispielsweise Kotsiantis (2007), S. 252

<sup>499</sup> Vgl. Wu et al. (2007), S. 1; der k-Means Algorithmus wurde bereits bei den multivariaten Verfahren der Statistik erläutert. Zu den Data-Mining-Verfahren siehe Petersohn (2005), Gabriel et al. (2009), Larose (2006)

Stufen ab. In der Wachstumsphase (Growing Phase) wird der Baum zuerst aufgebaut, und dann in der anschließenden Pruning-Phase wieder zurückgestutzt. In einem iterativen Prozess wird so lange nach dem besten Split gesucht, bis die Stop-Regeln erreicht sind. Die Beurteilung eines Splits erfolgt dabei nach dem Gini-Kriterium.<sup>500</sup>

Der CART-Algorithmus ist verglichen zur klassischen linearen Regression sehr robust und führt nur mit sehr geringer Wahrscheinlichkeit zu einer falschen Klassifikation von Objekten mit fehlenden Attributwerten. Durch die begrenzte Anzahl an Blättern sind die Wertebereiche für eine Prognose ziemlich eingeschränkt, was dazu führt, dass Werte, die nicht in den Trainingsdaten vorhanden waren, nicht vorausgesagt werden können. Ein weiterer Nachteil ergibt sich durch die Bildung eines binären Baumes, der sehr viele mögliche Aufspaltungen aufweisen kann, wodurch der Baum sehr tief und komplex werden kann. Für den Anwender entstehen dadurch Bäume, die schlechter zum Handhaben und schwerer zu verstehen sind als flacherer Bäume.<sup>501</sup>

### C4.5

Der C4.5 Algorithmus wurde von Quinlan als Nachfolger des ID3 Algorithmus entwickelt und zählt zu den bekanntesten Algorithmen zur Erzeugung von Entscheidungsbäumen.<sup>502</sup> Der ID3 Algorithmus (Iterative-Dichotomizing-3rd-Algorithmus) basiert wiederum auf dem CLS (Concept-Learning-System). CLS wurde Ende der 50er Jahre zur Erzeugung von Entscheidungsbäumen entwickelt, die nicht nur klassifizieren, sondern auch Komplexitäts- und Fehlklassifikationen berücksichtigen. Zur Auswahl des Attributs verwenden Entscheidungsbaumverfahren meist das Entropiemaß, das ein Kriterium liefert, nach dem an jedem Knoten die Attributselektion erfolgen kann. Dabei wird jeweils das Attribut selektiert, das für die Klassifikation den größten Informationszuwachs verspricht. Bei der Auswahl des Attributs gilt es auch zu beachten, dass möglichst kleine Bäume gebildet werden.<sup>503</sup>

Beim ID3 wird der Gewinn an Information über die Objekte durch die jeweiligen Attribute analog zum CLS ebenfalls mit einem Gain-Kriterium ermittelt. Die durch ID3 generierten Bäume sind für den Anwender relativ leicht verständlich und können aufgrund der gut nachvollziehbaren Repräsentation einfach nachbearbeitet werden. Der Algorithmus erzeugt innerhalb weniger Iterationsschritte aus großen Datenmengen Bäume, da er speziell auf eine schnelle Klassifikation ausgerichtet ist. Trotzdem wird die Genauigkeit der Klassifikation in der Literatur als hoch eingestuft.<sup>504</sup>

Bei verrauschten Daten führt dies jedoch dazu, dass der ID3 sehr sensibel reagiert und bei der geringsten Änderung der Attributwerte in den Trainingsdaten eine Anpassung der Klassifikation bewirkt. Im Extremfall ergibt sich dadurch eine falsche oder ungenaue Klassifikation. Um dies zu verhindern sollten zwei Voraussetzungen bei der Anwendung des ID3 berücksichtigt werden:<sup>505</sup>

- (1) Die Daten müssen fehlerfrei und unverrauscht sein.

---

<sup>500</sup> Vgl. Steinlein (2004), S. 96

<sup>501</sup> Vgl. Petersohn (2005), S. 187

<sup>502</sup> Vgl. Quinlan (1993)

<sup>503</sup> Vgl. Petersohn (2005), S. 141

<sup>504</sup> Vgl. Petersohn (2005), S. 143,146

<sup>505</sup> Vgl. Petersohn (2005), S. 147

- (2) Die Attributwerte müssen in diskrete Form vorliegen. Kontinuierliche Werte sind mit einer zu definierenden Schranke im aktuellen Knoten aufzuteilen. Der dadurch entstehende Intervallbereich wird dann als ein einziger Attributwert behandelt.

Der C4.5 enthält neben der Klassifikationsfunktion durch die Bildung eines Entscheidungsbaums auch ein regelgenerierendes Modul, mit dem einzelne Regeln aus dem Entscheidungsbaum extrahiert werden können. Zur Verbesserung der Vorhersagegenauigkeit verwendet der C4.5 die sogenannte Windowing-Technik. Dabei erfolgt eine zufällige Zerteilung der Trainingsdaten in zwei Gruppen bzw. Windows. Die eine Gruppe dient zur Erstellung des Entscheidungsbaums, während die zweite Gruppe zur Verifizierung verwendet wird. Bei einer falschen Klassifikation wird das Objekt dem anderen Window hinzugefügt und ein neuer Entscheidungsbaum generiert. Diese Schritte werden solange iterativ durchgeführt bis entweder ein vollständig korrekter Entscheidungsbaum erstellt wurde, oder das vorher festgelegte Maß für die Vorhersagegenauigkeit erzielt wird.<sup>506</sup>

### Support Vector Machine (SVM)

SVM (Support Vector Machine) bezeichnet eine Methode des maschinellen Lernens, bei der nichtlineare Funktionen durch den sogenannten Kernel-Trick in eine höhere dimensionale Hyperebene abgebildet werden, in der sie als lineares Problem weiter bearbeitet werden können.<sup>507</sup> Ausgangsbasis für den SVM-Algorithmus ist eine Menge von Testdatenobjekten, die durch einen Vektor in einem Vektorraum ausgedrückt werden. In diesem Vektorraum wird dann eine mehrdimensionale Hyperebene eingefügt, die die einzelnen Vektoren so in zwei Klassen teilt, dass der Abstand der Vektoren, die der Hyperebene am nächsten liegen, maximiert wird. Diese Vektoren helfen dabei, dass die erzeugten Klassen mit einer maximalen Wahrscheinlichkeit voneinander unterschieden werden können, und werden daher als Supportvektoren bzw. Stützvektoren bezeichnet.<sup>508</sup>

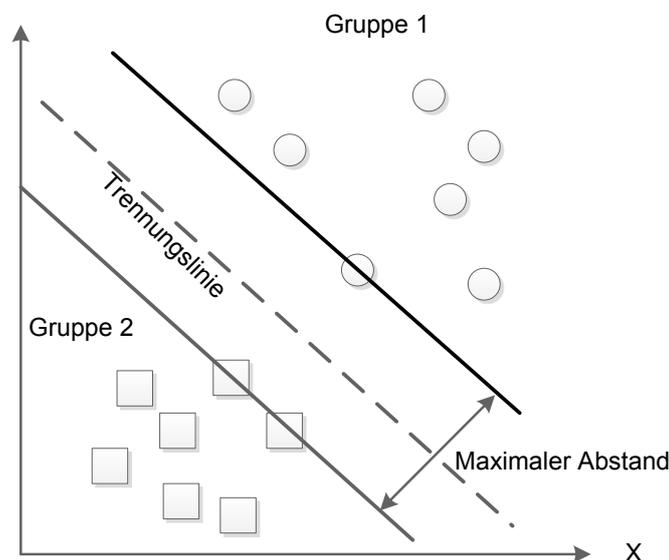


Abbildung 84: Klassifizierung mittels Support Vector Machine (SVM)-Algorithmus<sup>509</sup>

<sup>506</sup> Vgl. Petersohn (2005), S. 156

<sup>507</sup> Vgl. Petra/Volker (2009), S. 303f

<sup>508</sup> Vgl. Holland (2011), S. 235f

<sup>509</sup> Quelle: in Anlehnung an Wang (2005), S. 12

Ein einfaches Beispiel im zweidimensionalen Raum illustriert diese Bildung einer Hyperebene zur Trennung von zwei Gruppen in Abbildung 84. In diesem Fall ist die Hyperebene nur eine Linie.

### Naive Bayes Klassifikation

Naive bayessche Netze sind sehr einfache bayessche Netze, die aus einem gerichteten azyklischen Graphen mit einem Elternknoten und mehreren Kinderknoten zusammengesetzt sind, wobei eine strenge Unabhängigkeit zwischen den Knoten angenommen wird. Da die Annahme der Unabhängigkeit oft nicht erfüllt ist, sollten die Ergebnisse des naiven Bayes Klassifizierers normalerweise weniger genau im Vergleich zu anspruchsvolleren Algorithmen, wie beispielsweise künstliche neuronale Netze, sein. Untersuchungen zeigten jedoch, dass der naive Bayes Algorithmus im Vergleich zu den State-of-the-Art Algorithmen zur Bildung von Entscheidungsbäumen auch bei Daten mit erheblichen Abhängigen teilweise sogar bessere Ergebnisse erzielt. Der wesentliche Vorteil besteht in der geringen Rechenzeit, die für das Training mit Testdaten benötigt wird.<sup>510</sup>

Diese Effizienz, d.h. Geschwindigkeit bei Training und Klassifikation, auf der einen Seite aber auch die Effektivität, d.h. die hohe Genauigkeit auf der anderen Seite, bedeutet für den Anwender, dass er auch ohne viel statistisches Spezialwissen, relativ schnell zu guten Ergebnissen kommt. Für den generalisierbaren Fall zur Analyse von Objekten aus der Produktion, wie beispielsweise Fertigungsaufträge, sieht die Funktionsweise für einen binären Klassifikator folgendermaßen aus.<sup>511</sup> Für jedes Objekt  $o$  muss die Wahrscheinlichkeit berechnet werden, dass es zur Klasse  $k$  oder zu einer Alternativklasse  $k^*$  gehört. Heruntergebrochen auf die Ebene der einzelnen Merkmale, beispielsweise die einzelnen Spezifikationen des Auftrags bzw. der Produktdaten, lautet dann die Frage: Wie wahrscheinlich gehört Objekt  $o$  zur Klasse  $c$ , wenn das Merkmal mit dem Wert  $w$  vorkommt. Mit Hilfe des Theorems von Bayes kann diese Frage für jede Merkmals-Objekt-Kombination wie folgt beantwortet werden:

$$P(c|w) \propto P(c)P(w|c)$$

$P(c|w)$  ist dabei die bedingte Wahrscheinlichkeit für Klasse  $c$ , gegeben Merkmalswert  $w$ . Die Prioritätswahrscheinlichkeit der Klasse  $c$  wird als  $P(c)$  bezeichnet und lässt sich aus der relativen Häufigkeit der Klasse in den Trainingsdaten herleiten. Die relative Häufigkeit lässt sich bei einer Anzahl von Trainingsdaten  $N$  und der Anzahl der darin vorkommenden Klassen  $N_c$  einfach durch  $N_c / N$  ermitteln. Die Wahrscheinlichkeit, dass Merkmal  $w$  in den Objekten der Klasse  $c$  vorkommt ist dann  $P(w|c)$ . Diese ergibt sich ebenfalls aus den relativen Häufigkeiten in den Trainingsdaten. Nun muss man nur noch die Wahrscheinlichkeiten pro Merkmalswert  $w$  mit der Gesamtmenge an Merkmalswerten  $N_o$  im jeweiligen Objekt verknüpfen:

$$P(c|o) \propto P(c) \prod_{k=1}^{N_o} P(w_k|c)$$

<sup>510</sup> Vgl. Kotsiantis (2007), S. 257

<sup>511</sup> Vgl. Scharkow (2012), S. 91f

Aus der Priorwahrscheinlichkeit und dem Produkt der bedingten Wahrscheinlichkeiten, dass jeden enthaltenen Merkmalswert  $w$  in Objekten der Klasse vorkommt, lässt sich die Wahrscheinlichkeit  $P(c|o)$ , dass ein Objekt  $o$  zur Klasse  $c$  gehört ermitteln. Aus der obigen Formel ist ersichtlich, dass sie bei der Berechnung der bedingten Wahrscheinlichkeiten von einer Unabhängigkeit der Merkmalswerte ausgeht. Deshalb gilt diese Art der Klassifikation als naiv und wird als naive Bayes Algorithmus bzw. naive Bayes Klassifikation bezeichnet. Die Annahme der Unabhängigkeit führt zu einer sehr hohen Effizienz und wider die Erwartungen wie bereits erwähnt zu einer hohen Effektivität. Die hohe Geschwindigkeit ergibt sich durch diese Annahmen, da beim Training mit neuen Objekten nur die einzelnen Wahrscheinlichkeiten für die vorkommenden Merkmalswerte  $P(w|c)$  aktualisiert werden müssen. Im Vergleich zu hochdimensionalen Matrizenrechnungen, wie beispielsweise im Fall der logistischen Regression, ergibt sich dadurch insbesondere bei einer sehr großen Anzahl an Objekten ein erheblicher Performancevorteil.

### Apriori Algorithmus

Der Apriori-Algorithmus zählt zu den populärsten Ansätzen, um häufig zusammen vorkommende Merkmale in Datensätzen aus einer großen Menge von Transaktionsdaten zu finden. Die Anwendung eines Apriori-Algorithmus kommt damit dann in Frage, wenn als Ziel die Ableitung von Assoziationsregeln verfolgt wird. Die Suche von häufig vorkommenden Merkmalen in Datensätzen und die Ermittlung von möglichen Beziehungen zwischen diesen ist vor allem aufgrund der kombinatorischen Explosion der theoretisch möglichen Merkmalskombinationen ein nicht trivialer Prozess.<sup>512</sup>

Assoziationsregeln werden vor allem im Rahmen einer Warenkorbanalyse eingesetzt. Ausgangsbasis bei einer Warenkorbanalyse bildet eine Datenbank mit Warenkörben, die für bestimmte Kundentransaktionen stehen. Ein Warenkorb repräsentiert eine Menge von zusammen gekauften Produkten eines Unternehmens. Das Haupteinsatzgebiet der Warenkorbanalyse besteht vor allem im Marketing im Einzelhandel, wo das Wissen um derartige Zusammenhänge für effizientere Cross-Marketing Aktivitäten verwendet wird, aber auch zur Neustrukturierung des Geschäftslayouts und zur Kundensegmentierung eingesetzt werden kann.<sup>513</sup>

Mit seinen einfachen Assoziationsregeln bildet der Apriori-Algorithmus, der ursprünglich von Agrawal und Srikant entwickelt wurde,<sup>514</sup> die Grundlage für die Weiterentwicklung komplexerer Assoziationsregeln, wie beispielsweise hierarchische oder quantitative Assoziationsregeln. Eine ausführliche Darstellung zur Assoziationsanalyse im Data-Mining findet sich bei Hagemann.<sup>515</sup>

### 7.2.4 Zusammenfassung der Data-Mining Methoden

Eine vollständige Auflistung oder eindeutige Einteilung aller im Rahmen des Data-Mining angewandten Verfahren ist schwer möglich. Eine Studie belegt, dass mit den in den vorigen Abschnitten ausgewählten Methoden, zumindest die in Wissenschaft und Praxis am meisten verwendeten Data-Mining-Methoden betrachtet wurden.

---

<sup>512</sup> Vgl. Wu et al. (2007), S. 12f

<sup>513</sup> Vgl. Ester/Sander (2000), S. 159

<sup>514</sup> Agrawal/Srikant (1994)

<sup>515</sup> Siehe Hagemann (2008)

Aus Sicht der Anwender aus Industrie und Forschung sind die am häufigsten eingesetzten Methoden zur Datenanalyse laut einer Umfrage aus dem Jahr 2011 in Tabelle 31 dargestellt. Auf die Frage welche Methoden bzw. Algorithmen sie zur Datenanalyse anwenden, wurde von den 311 Teilnehmern an erster Stelle das Entscheidungsbaumverfahren fast gleichauf mit Regression gefolgt von Clusteranalyse genannt. Diese drei Verfahren werden sowohl in der Industrie, als auch im akademischen Umfeld am häufigsten eingesetzt.<sup>516</sup>

Tabelle 31: Einsatz von Methoden/Algorithmen in der Datenanalyse<sup>517</sup>

<b>Umfrage zum Einsatz von Methoden/Algorithmen in der Datenanalyse 2011</b>		
<b>Methoden/Algorithmen</b>	<b>Anzahl</b>	<b>Anteil</b>
Entscheidungsbäume	186	59.8 %
Regression	180	57.9 %
Clusterung	163	52.4 %
Statistik (deskriptive)	149	47.9 %
Visualisierung	119	38.3 %
Zeitreihenanalyse	92	29.6 %
Support Vector Machine (SVM)	89	28.6 %
Assoziationsanalyse	89	28.6 %
Ensemble Methods	88	28.3 %
Text Mining	86	27.7 %
Künstliche Neuronale Netze	84	27.0 %
Boosting	73	23.5 %
Bayessche Netze	68	21.9 %
Bagging	63	20.3 %
Faktoranalyse	58	18.7 %
Anomaly Detection	51	16.4 %
Soziale Netzwerkanalyse	44	14.2 %
Überlebens-/Verweildaueranalyse	29	9.32 %
Genetische Algorithmen	29	9.32 %
Uplift modelling	15	4.82 %

Differenziert man die Ergebnisse dieser Studie nach Teilnehmern aus der Industrie und dem Forschungsbereich, zeigt sich in Tabelle 32, dass die Industrie im Vergleich zu den Forschern im akademischen Bereich meistens auf andere Methoden zugreift.

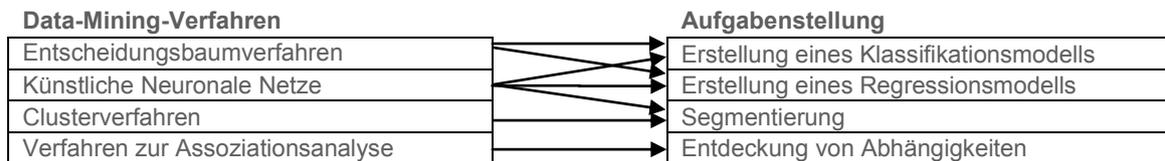
Tabelle 32: Eingesetzte Data-Mining Methoden in Industrie und Forschung<sup>518</sup>

<b>Rangfolge (Einsatzhäufigkeit)</b>	<b>Industrie</b>	<b>Forschung</b>
<b>1</b>	Uplift modelling (Prognosetechnik)	Genetische Algorithmen
<b>2</b>	Survival Analysis (Überlebensdaueranalyse)	Support Vector Machine (SVM)
<b>3</b>	Regression	Assoziationsregeln
<b>4</b>	Visualisierung	Bayes'sche Netze
<b>5</b>	Statistik	Soziale Netzwerkanalyse

<sup>516</sup> Vgl. KDnuggets (2011b)<sup>517</sup> Quelle: KDnuggets (2011b)<sup>518</sup> Quelle: KDnuggets (2011b)

Aus der Vielzahl an entwickelten Methoden haben sich in der Literatur vier Methodengruppen als klassische bzw. originäre Verfahren des Data-Mining herauskristallisiert (siehe Tabelle 33):<sup>519</sup> Künstliche Neuronale Netze, Entscheidungsbaumverfahren, Clusterverfahren und Assoziationsmethode. Die Aufgabenstellungen für Data-Mining-Anwendungen lassen sich in der Literatur im Wesentlichen in die vier Einsatzbereiche Segmentierung, Klassifizierung, Assoziation und Vorhersage einteilen.<sup>520</sup>

Tabelle 33: Zuordnung der Verfahren des Data-Mining<sup>521</sup>



### Segmentierung

Mit der Segmentierung sollen Gemeinsamkeiten und Ähnlichkeiten, aber auch Unterschiede der Daten verschiedener Datenobjekte aufgespürt werden, sowie eine schrittweise Einteilung in nicht vordefinierte Klassen und Gruppen ermöglicht werden. Für das Bilden von solchen Clustern werden auch die Begriffe Clusterung oder Klassifizierung verwendet. Typische Anwendung finden sich im Marketing etwa beim Auffinden neuer Kundengruppen, um individuelle Produkte bzw. Dienstleistungen den gefundenen homogenen Zielgruppen zuordnen zu können. Zur Anwendung kommen beispielsweise multivariate Methoden aus der Statistik, wie die Clusteranalyse, und neuronale Netze.<sup>522</sup>

### Klassifizierung

Im Unterschied zur Segmentierung, sind bei einer Klassifizierung die Gruppen und Klassen, denen die zu untersuchenden Objekte zugeordnet werden sollen, bereits vorgegeben. Die Klassenzugehörigkeit ergibt sich anhand gegebener Merkmale. Zur Klassifizierung werden beispielsweise Entscheidungsbäume, künstliche neuronale Netze oder die Diskriminanzanalyse verwendet.<sup>523</sup> Bei der Assoziation besteht die Aufgabe darin, Muster und kausale Abhängigkeiten zwischen einzelnen Objekten des Datenbestandes mit Hilfe von Regeln zu verstehen. Dabei sollen nicht wie bei der Regression Abhängigkeiten a priori angenommen werden, sondern diese selbstständig aufgefunden werden. Beispielsweise sollen bei einer Warenkorbanalyse Regeln gefunden werden, welche die Beziehungen zwischen Artikel in einem Kaufhaus oder Eigenschaften von Käufern bestimmter Produkte beschreiben.<sup>524</sup>

### Prognose

Durch eine Prognose sollen funktionale Beziehungen geschätzt werden, mit denen zukünftige Werte einer abhängigen quantitativen Variable vorhergesagt werden können. Zum Einsatz kommen hier insbesondere die Regressionsanalyse, künstliche neuronale Netze oder Entscheidungsbäume.<sup>525</sup>

<sup>519</sup> Gabriel et al. (2009), S. 144

<sup>520</sup> Vgl. Gabriel et al. (2009), S. 15

<sup>521</sup> Quelle: in Anlehnung an Beekmann/Chamoni (2006), S. 267

<sup>522</sup> Vgl. Gabriel et al. (2009), S. 15

<sup>523</sup> Vgl. Beekmann/Chamoni (2006), S. 264f

<sup>524</sup> Vgl. Beekmann/Chamoni (2006), S. 266

<sup>525</sup> Vgl. Gabriel et al. (2009), S. 16

## 7.3 Der Data-Mining Prozess

Entgegen der verbreiteten Meinung, dass Data-Mining eine Technologie ist, die auf Knopfdruck funktioniert, ist Data-Mining ein komplexer Prozess. Für den Erfolg eines Data-Mining Projektes ist einerseits der Einsatz entsprechender Instrumente und gut ausgebildeter Analysten erforderlich, andererseits aber auch eine gewisse Methode und ein effektives Projektmanagement unerlässlich. Ein Vorgehensmodell kann helfen die einzelnen Schritte und Interaktionen bei diesem komplexen Vorhaben zu verstehen und zu managen.<sup>526</sup> Wie aus Tabelle 34 ersichtlich, sind laut einer Umfrage aus dem Jahr 2007 die bekanntesten Vorgehensmodelle der KDD-Prozess, SEMMA und CRISP-DM, die im Folgenden näher erläutert werden.

Tabelle 34: Einsatz von Data-Mining Methoden<sup>527</sup>

<b>Umfrage: Welche Methoden verwenden sie beim Data-Mining?</b>		
Vorgehensmethode	Anzahl	Anteil
CRISP-DM	63	42%
Eigene Methode	29	19%
SEMMA	19	13%
KDD Prozess	11	7%
Unternehmensspezifische Methode	8	5%
Fachspezifische Methode	7	5%
Andere nicht fachspezifische Methode	6	4%
Keine	7	5%

### 7.3.1 KDD-Prozess

Knowledge Discovery in Databases (KDD) ist ein Ansatz der Datenanalyse, der darauf abzielt in umfangreichen Datenbeständen implizit vorhandenes Wissen zu entdecken und explizit zu machen.<sup>528</sup> Der Begriff KDD geht zurück auf einen Workshop der 11th Conference on Artificial Intelligence im Jahre 1989. Während die Datenanalyse ursprünglich nur als Prozess der Mustererkennung verstanden wurde, steht beim Knowledge Discovery in Databases immer mehr der Aspekt der Entdeckung von Wissen im Vordergrund.<sup>529</sup> Durch den KDD-Prozess sollen nach Fayyad et al. Beziehungsmuster, wie z.B. Regelmäßigkeiten oder Auffälligkeiten die für einen großen Anteil der Daten gelten, und bislang unbekannte, potenziell nützliche und leicht verständliche Zusammenhänge identifiziert werden.<sup>530</sup>

In der Literatur wird für den gesamten KDD-Prozess auch oft synonym der Begriff Data-Mining verwendet, der ursprünglich aber nur den Schritt der eigentlichen Datenanalyse innerhalb dieses Prozesses bezeichnet. Ein wesentliches Merkmal des KDD-Prozesses ist die Interaktivität mit den Anwendern, die anhand der Ergebnisse einzelnen Phasen oder des gesamten Prozesses den weiteren Ablauf bestimmen. Die zentrale Bedeutung der Anwender zeigt, dass eine vollständige Automatisierung der Wissensentdeckung nicht möglich ist. Der

<sup>526</sup> Vgl. Wirth/Hipp (2000), S. 30

<sup>527</sup> Quelle: in Anlehnung an KDnuggets (2007)

<sup>528</sup> Vgl. Davies (1989)

<sup>529</sup> Vgl. Düsing (2006), S. 242

<sup>530</sup> Vgl. Fayyad et al. (1996)

gesamte iterative und interaktive Prozessablauf des KDD ist in Abbildung 85 dargestellt und gliedert sich in fünf Phasen: Auswahl, Aufbereitung, Festlegung, Analyse (Data-Mining im engeren Sinn) und Interpretation.<sup>531</sup>

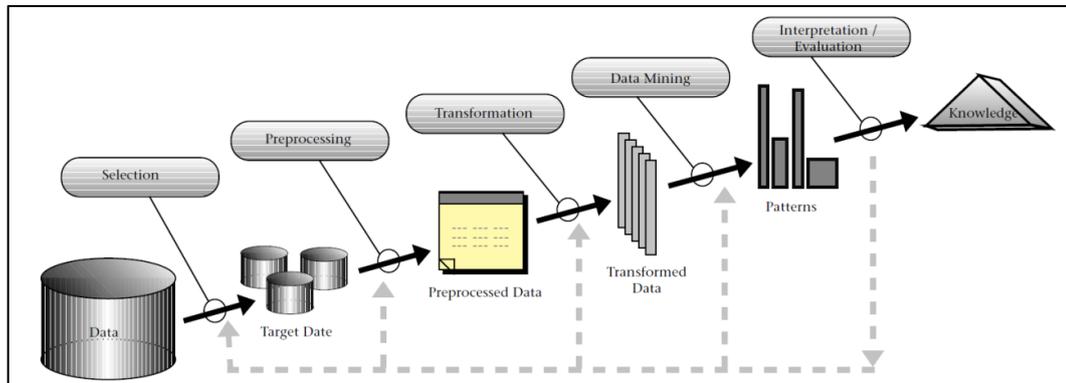


Abbildung 85: Die Schritte des KDD Prozesses<sup>532</sup>

### Auswahl

In der Auswahlphase, die auch als Fokussierungsphase bezeichnet wird, soll ein Verständnis der Anwendung und des bereits bekannten Anwendungswissens gewonnen werden.<sup>533</sup> Mit Auswahl der Aufgabenstellung wird eine für das Knowledge Discovery in Databases geeignete Aufgabe bestimmt. Ein typisches Merkmal einer geeigneten Aufgabenstellung ist die Entdeckung implizit vorhandenen Wissens oder die Entdeckung und Explikation potenziell nützlichen Wissens, das auch anwendbar und bezüglich seiner Anwendung wirtschaftlich sein soll. In dieser Phase wird auch der für die Aufgabenstellung relevante Datenbestand bestimmt, wobei auch zu prüfen ist, ob die Verfügbarkeit der Daten nicht nur technisch gegeben ist, sondern auch rechtlich und organisatorisch möglich ist.<sup>534</sup>

### Aufbereitung

Ziel der Aufbereitungsphase ist eine Verbesserung der Qualität der ausgewählten Datenbestände durch Prüfung auf Vollständigkeit und Sicherstellung der Konsistenz der Daten. Dazu gehören Integration, Bereinigung, Anreicherung und Reduktion des Datenbestands. Die Integration umfasst die Überführung der oft auf mehreren Datenquellen verteilten Primärdaten auf eine einheitliche Datenbasis. Fehlende und fehlerhafte Ausprägungen von Merkmalen der Daten, aufgrund von technischen oder menschlichen Eingabefehlern in der Datenerhebung und Datenverarbeitung, sind durch Überarbeitung zu bereinigen. Merkmale, die noch nicht in den Ausgangsdaten vorhanden sind, aber für die Aufgabenstellung relevant sind, können durch Anreicherung aus einer externen Datenquelle angereichert werden. Andererseits können nicht benötigte Merkmale entfernt werden, was zu einer Reduzierung der Analysekomplexität führt.<sup>535</sup> Diese auch als Vorverarbeitung bezeichneten Tätigkeiten betragen in vielen KDD-Projekten oft einen großen Teil des Gesamtaufwands. Wenn man hier bereits auf ein Data Warehouse zurückgreifen kann, in dem

<sup>531</sup> Vgl. Düsing (2006), S. 246

<sup>532</sup> Quelle: Fayyad et al. (1996), S. 41

<sup>533</sup> Vgl. Ester/Sander (2000), S. 2

<sup>534</sup> Vgl. Düsing (2006), S. 247

<sup>535</sup> Vgl. Düsing (2006), S. 248f

die benötigten Daten bereits integriert und in konsistenter Form vorliegen, kann sich der Aufwand für die Aufbereitung stark reduzieren.<sup>536</sup>

### **Festlegung**

In der Festlegungsphase ist die Zielsetzung und ein dafür geeignetes Analyseverfahrens sowie Umfang und Darstellung der zu analysierenden Daten festzulegen. Düsing gliedert die Zielsetzung des Knowledge Discovery in Databases in die die Bildung von Gruppen, Erklärung von Gruppen, Erklärung von Zusammenhängen und Beschreibung von Zusammenhängen.<sup>537</sup> Da die vorverarbeiteten Daten in diesem Schritt auch in eine für das Ziel des KDD geeignete Repräsentation transformiert werden, wird diese Phase auch als Transformationsphase bezeichnet.<sup>538</sup>

### **Analyse**

Die Tätigkeiten in der Analysephase werden auch unter dem Begriff Data-Mining zusammengefasst und zielen darauf ab, anhand eines oder mehrerer Analyseverfahren Beziehungsmuster im Datenbestand zu ermitteln und durch logische oder mathematische Beschreibungen abzubilden.<sup>539</sup> Die zahlreichen Verfahren des Data-Mining können nach unterschiedlichen Kriterien eingeteilt werden und wurden in den vorigen Abschnitten bereits näher betrachtet.

### **Interpretation**

In der Interpretationsphase wird durch Überprüfung und Auswertung der Analyseergebnisse aus den ermittelten Beziehungsmuster explizites Wissen abgeleitet. Die Güte der Beziehungsmuster kann durch unterschiedliche Merkmale wie beispielsweise Genauigkeit, Signifikanz oder Generalisierungsfähigkeit bewertet werden.<sup>540</sup> Das in dieser Phase abgeleitete explizite Wissen kann als Entscheidungsgrundlage für weitere Maßnahmen in einem Unternehmen dienen und nachhaltig zur jeweiligen Zielerreichung beitragen.

### **7.3.2 CRISP-DM-Prozess**

Mit dem CRISP-DM Modell wurde im Jahr 2000 von einem Konsortium aus Daimler Chrysler, SPSS und NCR ein einheitlicher Standard für den Data-Mining Prozess geschaffen, der heute, wie das Ergebnis einer Umfrage in Tabelle 34 zeigt, zu den bekanntesten und am häufigsten angewendeten Vorgehensmodellen zählt.<sup>541</sup> CRISP-DM steht für Cross-Industry Standard Process for Data-Mining und unterstützt als vollständig dokumentiertes, branchen- und plattformunabhängiges Modell den gesamten Data-Mining Prozess mit dem Ziel bessere und schnellere Ergebnisse mit Data-Mining zu generieren.<sup>542</sup>

---

<sup>536</sup> Vgl. Ester/Sander (2000), S. 3

<sup>537</sup> Vgl. Düsing (2006), S. 249f

<sup>538</sup> Vgl. Ester/Sander (2000), S. 3

<sup>539</sup> Vgl. Düsing (2006), S. 252

<sup>540</sup> Vgl. Düsing (2006), S. 254

<sup>541</sup> Vgl. Hannemann (2010), S. 26

<sup>542</sup> Vgl. Shearer (2000), S. 13

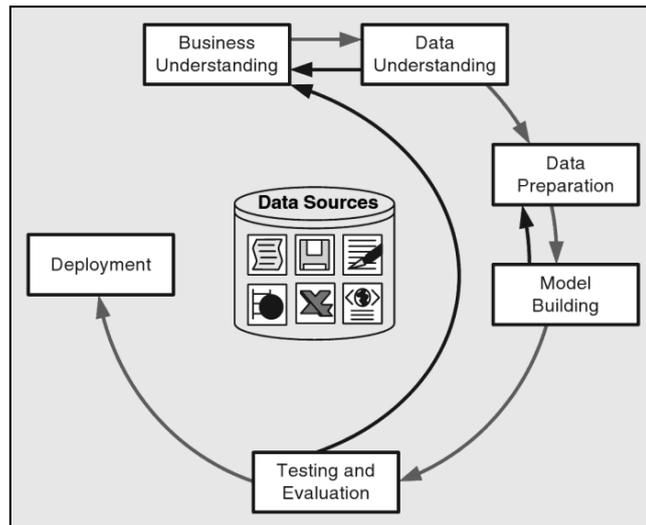


Abbildung 86: CRISP-DM Prozess<sup>543</sup>

Der gesamte Prozess ist zyklisch aufgebaut und besteht aus sechs Phasen, die in Abbildung 86 dargestellt sind:<sup>544</sup>

- (1) Business Understanding - Geschäftsverständnis
- (2) Data Understanding – Auswahl und Sichtung der Daten
- (3) Data Preparation - Datenaufbereitung
- (4) Model Building – Anwendung der Data-Mining-Verfahren
- (5) Testing and Evaluation – Testen und Evaluation
- (6) Deployment - Verteilung

In der ersten Phase soll ein umfassendes Geschäftsverständnis geschaffen werden, indem eine Bewertung der aktuellen Ausgangslage erfolgt, die aus den Unternehmenszielen abgeleiteten Data-Mining-Ziele definiert werden und ein Projektplan entwickelt wird.

In der Phase Data Understanding erfolgt die Datensammlung, -beschreibung und -exploration zusammen mit einer Verifikation der Datenqualität. In dieser Phase können auch schon Methoden der deskriptiven Statistik und Visualisierungstechniken angewandt werden, um erste Muster in Daten zu erkennen. In dieser Phase soll bereits ein Verständnis für die Daten erwachsen, und gegebenenfalls ist es notwendig weitere Daten aus externen oder internen Quellen zusätzlich zu beschaffen.

Wenn die Datenquellen identifiziert sind, können die Daten im Schritt Data Preparation selektiert, bereinigt und in für die weitere Analyse notwendige Formate transformiert werden. Diese Datenaufbereitungsphase ist von hoher Relevanz für die nachfolgenden Analyseschritte und bindet in der Praxis die meisten Ressourcen.<sup>545</sup>

Im Schritt Model Building sind geeignete Data-Mining-Methoden auszuwählen und mit passenden Parametern zu erstellen. Dazu gehört auch die Einteilung der Daten in Trainings- und Testdaten und die Erstellung eines Testplans.

<sup>543</sup> Quelle: Olson/Delen (2008), S. 10

<sup>544</sup> Vgl. Olson/Delen (2008), S. 9f

<sup>545</sup> Vgl. Gabriel et al. (2009), S. 128

Nachdem ein Data-Mining-Modell oder mehrere mit den Trainingsdaten erstellt wurden, kann die Güte des angestrebten Modells, insbesondere die Vorhersageleistung, durch mehrere Testläufe mit den Testdaten evaluiert werden.

In der abschließenden Phase Deployment muss das entdeckte Wissen so organisiert und präsentiert werden, das es für den Anwender nützlich verwendet werden kann. Je nach Anforderung kann dieser Schritt nur die Erstellung eines einfachen Berichts oder die komplexe Implementierung eines wiederholbaren KDD-Prozesses sein.<sup>546</sup>

### 7.3.3 SEMMA-Prozess

SEMMA steht für Sample, Explore, Modify, Model, Assess und beschreibt die fünf im folgenden beschriebenen Prozessschritte für die Durchführung eines Data-Mining Projektes und wurde vom SAS Institut entwickelt:<sup>547</sup>

- (1) **Sample:** Zu Beginn sind repräsentative Beispieldaten auszuwählen, die groß genug sind, dass sie relevante Informationen enthalten, jedoch klein genug, um die Daten schnell zu bearbeiten.
- (2) **Explore:** In dieser Phase werden die Beispieldaten mit Hilfe statistischer Verfahren auf unerwartete Trends und Anomalien untersucht, damit ein besseres Verständnis über die Daten erlangt werden kann.
- (3) **Modify:** Basierend auf den Erkenntnissen der vorigen Phasen werden die Daten angepasst, indem neue Variablen aufgenommen oder transformiert werden.
- (4) **Model:** In der Modellierungsphase werden die entsprechenden Data-Mining Verfahren mit Unterstützung einer Software angewandt und Data-Mining Modelle erstellt, um die gewünschten Ergebnisse, wie Vorhersagen oder Muster, zu bekommen.
- (5) **Assess:** Zum Abschluss werden die Ergebnisse evaluiert und die Modelle mit weiteren Testdaten validiert.

Das SEMMA Modell ist vollständig kompatibel mit dem CRISP-Modell und kann genauso wie dieses als Implementierung des ursprünglichen KDD Prozesses von Fayyad et al. gesehen werden.<sup>548</sup> Zum Vergleich der drei vorgestellten Verfahren sind diese in Tabelle 35 gegenübergestellt.

Tabelle 35: Vergleich zwischen KDD, SEMMA und CRISP-DM<sup>549</sup>

KDD	SEMMA	CRISP-DM
Pre KDD	----	Business Understanding
Selection	Sample	
Preprocessing	Explore	Data Understanding
Transformation	Modify	Data Preparation
Data-Mining	Model	Modeling
Interpretation	Assessment	Evaluation
Post KDD	----	Deployment

<sup>546</sup> Vgl. Cios et al. (2007), S. 13f

<sup>547</sup> Vgl. Olson/Delen (2008), S. 19ff/Azevedo/Santos (2008), S. 182

<sup>548</sup> Vgl. Azevedo/Santos (2008), S. 185

<sup>549</sup> Quelle: Azevedo/Santos (2008), S. 185

## 7.4 Data-Mining in der Produktion

In diesem Abschnitt wird der Einsatz von Data-Mining als Methode zur Analyse und Verbesserung der Produktionsplanung und –steuerung näher beleuchtet.

### Methoden zur Geschäftsprozessoptimierung

Ein Blick auf die gängigen Methoden zur Optimierung von Geschäftsprozessen bestätigt den aufgezeigten Forschungsbedarf, dass Data-Mining bis dato noch kaum zur Analyse von Produktionssystemen und zur Verbesserung logistischer Zielgrößen verwendet wird.

Tabelle 36: Methoden zur Analyse und Verbesserung von Produktionssystemen<sup>550</sup>

Nr.	Methodenname	Nr.	Methodenname
1	5-A-Methode	38	Personaleinsatzplanung
2	5-Warums	39	Personalentwicklung
3	8D-Methode	40	Poka Yoke
4	ABC-Analyse	41	Portfolio-Analyse
5	Anwesenheitsverbesserungsprogramm	42	Produktdatenmanagement
6	Arbeitsplan	43	Produktionscontrolling
7	Arbeitsstrukturierung	44	Produktionsplanung und -steuerung
8	Arbeitsunterweisung	45	Produktlebenszyklusmanagement
9	Audits	46	Projektmanagement
10	Autonation	47	Prozessmanagement
11	Balanced Scorecard	48	Prüfmittelüberwachung
12	Baukastenprinzip	49	PTCA-Zyklus
13	Benchmarking	50	Pull Prinzip
14	Beschwerdemanagement	51	Quality Function Deployment
15	Brainstorming	52	Quality Gates
16	Change-Management	53	REFA-Planungssystematik
17	Customer Relationship Management	54	REFA-Zeitaufnahme
18	Delphi-Methode	55	Rüstzeitminimierung
19	Design for Assembly	56	Selbstaufschreibung
20	Digitale Fabrik	57	Simultaneous Engineering
21	Durchlaufzeitanalyse	58	Six Sigma
22	Feedback	59	Standard-Arbeitsblatt
23	Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse	60	Standardisierung
24	Fertigungsinsel	61	Supply Chain Management
25	Fließfertigung	62	SWOT-Analyse
26	Ganzheitliche Fabrikplanung	63	Szenariotechnik
27	Gruppenarbeit	64	Taktfertigung
28	Heijunka	65	Target-Costing
29	Informationsmanagement	66	Teamentwicklung
30	Kontinuierliche Verbesserung	67	Total Productive Maintenance
31	Kundenorientierung	68	Total Quality Management
32	Materialflussplanung	69	Verschwendung Vermeiden
33	Methode 635	70	Visuelles Management
34	Mitarbeiterinformation	71	Vorschlagswesen
35	MTM-System	72	Wertanalyse
36	Multimomentaufnahme	73	Zielvereinbarung
37	Nutzwertanalyse		

<sup>550</sup> Quelle: Ullmann (2009), S. 5

Basierend auf einschlägiger Erhebungen und Befragungen von Unternehmensvertretern wurden beispielsweise vom Institut für angewandte Arbeitswissenschaften (IfaA) eine Liste von 50 häufig angewandten Methoden zur Geschäftsprozessoptimierung erstellt.<sup>551</sup> In weiterer Folge wurden diese Methoden um zusätzliche rund 50 Methoden zum Arbeitsschutz, zur Wirtschaftlichkeitsrechnung und zu Kreativitätstechniken erweitert, wobei alle der 97 ermittelten Methoden den Produktionsprozess unterstützen sollen.<sup>552</sup>

Aus der Vielzahl zur Verfügung stehender Methoden versuchte Ullmann einen Überblick über vorhandene Methoden aus dem Umfeld Ganzheitlicher Produktionssysteme zu geben und die für ein Produktionssystem relevanten Methoden auszuwählen. Bei der Auswahl wurden neben wissenschaftlicher Literatur, wie von Baszenski, auch Quellen von der Industrie, wie das von Clarke beschriebene Mercedes-Benz Produktionssystem, verwendet. Dabei identifizierte er 82 Methoden, mit denen die Effizienz der betrieblichen Unternehmensabläufe systematisch analysiert und verbessert werden können. Nach Zusammenfassung von ähnlichen oder sogar identischen Methoden, wie beispielsweise Rüstzeitminimierung und Single Minute Exchange of Die (SMED), reduzierte sich die Anzahl auf 73 Methoden, die in Tabelle 36 dargestellt sind.

Aus der Aufstellung ist ersichtlich, dass aus dem Data-Mining bekannte Methoden, noch nicht zu den üblichen Optimierungsansätzen zur Analyse und Verbesserung von Produktionssystemen gezählt werden. Im folgenden Abschnitt werden daher die bestehenden Publikationen zu den Einsatzmöglichkeiten von Data-Mining in der Produktion näher untersucht.

### **Literaturrecherche zu Data-Mining in der Produktion**

Die vielversprechenden potentiellen wirtschaftlichen Erfolge, die Data-Warehouse-Projekte bringen, führten dazu, dass viele Unternehmen in den letzten Jahren solche Projekte gestartet haben. Studien zeigten, dass viele Unternehmen durch die Einführungen von Data Warehouse Komponenten das 10 bis 70-fache der Investitionssumme erwirtschafteten.<sup>553</sup> In der Fertigung wird Data-Mining bereits häufig zur Steuerung des technologischen Fertigungsprozesses eingesetzt. So konnte beispielsweise LTV Steel Corporation, der drittgrößte Stahlproduzent in den USA, die Anzahl der defekte um 99 Prozent reduzieren, nachdem sie Data-Mining verwendeten, um mögliche Ursachen von Qualitätsprobleme zu entdecken.<sup>554</sup> Data-Mining hat sich damit als wichtiges Instrument zur Gewinnung von Wissen aus Produktionsdatenbeständen erwiesen und in letzter Zeit beschäftigte sich die Forschung auch vermehrt mit der Wissensentdeckung in Zusammenhang mit Data-Mining in der Produktion.<sup>555</sup> Durch diese Verfahren lassen sich nützliche zuvor unbekannte Muster in den Produktionsdaten entdecken, allerdings gab es bisher im Vergleich zu anderen Forschungsbereichen viel weniger Publikationen im Bereich des Produktionsmanagements. Als mögliche Gründe finden sich bei Wang vor allem folgende Gründe:<sup>556</sup>

- Der Großteil der Forscher im Gebiet des Produktionsmanagements kennt sich mit Data-Mining Algorithmen und Werkzeugen nicht aus.

---

<sup>551</sup> Vgl. Baszenski (2003), S. 8

<sup>552</sup> Vgl. Baszenski (2008), S. 6, 34

<sup>553</sup> Vgl. Chen et al. (2000), S. 5

<sup>554</sup> Vgl. Chen et al. (2000), S. 3

<sup>555</sup> Vgl. Choudhary et al. (2008), S. 501

<sup>556</sup> Vgl. Wang (2007), S. 489

- Ein Großteil der theoretischen Data-Mining Forscher kennt sich nicht mit der komplexen Materie des Produktionsmanagements aus.
- Die wenigen Forscher, die sowohl mit Data-Mining Algorithmen als auch mit dem Produktionsmanagement vertraut sind, haben keinen Zugang zu meist proprietären und sensiblen Produktionsdaten von Unternehmen.
- Die Effektivität und die Vorteile von Data-Mining im Produktionsmanagement lassen sich nur schwer bewerten.

Aus den bisherigen Forschungsergebnissen gelten bestimmte Vorteile, die durch Data-Mining erzielt werden können, als allgemein anerkannt:<sup>557</sup>

- Bessere Informationsversorgung, um Wettbewerbsvorteile zu erzielen: Aufgrund der mächtigen analytischen Fähigkeiten Informationen zu erzeugen, damit Unternehmen sich selber, ihre Kunden und Märkte, ist diese der am häufigsten genannte Grund für die Beschäftigung mit DM.
- Wertsteigerung eines bestehenden Data Warehouse
- Lösung zur Schließung einer bestehenden Forschungslücke: Gerade in den Sozial- und Wirtschaftswissenschaften ist die Durchführung realer Experimente oft schwer möglich. Durch DM bieten sich neue Möglichkeiten, um neue Arbeitshypothesen aus großen unstrukturierten Daten für weitere Forschungsarbeiten zu generieren.
- Steigerung der operativen Effizienz: Durch die Möglichkeit einer schnellen Organisation und Analyse großer Datenbestände, reduziert sich der Aufwand zur Erstellung komplexer Analyse im Vergleich zu herkömmlichen Methoden von vormals Wochen auf wenige Minuten.
- Steigerung der Flexibilität in der Datenverwendung: Anstelle des Push-Prinzip, bei dem die IT-System Daten in Form von standardisierten vordefinierten Berichten liefern, können Anwender nach dem Pull-Prinzip beliebige Datenabfragen, -manipulationen und -analysen direkt selber vornehmen.
- Senkung der Betriebskosten: Die heutige zur Verfügung stehende Hard- und Software ermöglicht eine deutliche Reduktion der Betriebskosten für die Datenanalyse. Beispielsweise konnte die Bank of America die Kosten pro Abfrage von 2.430\$ auf nur mehr 24\$ durch die Einführung von State-of-the-Art Data-Mining Technologien senken.
- Ready-to-use: Im Vergleich zu traditionellen Datenanalysemethoden, können auch gemischte, d.h. numerische, kategoriale und Datums-Daten, fehlende sowie verrauschte Daten verarbeitet werden, ohne dass aufwändiges statistisches Expertenwissen erforderlich wäre.

Auch wenn Data-Mining eine Reihe von Vorteilen verspricht, zeigen die Ergebnisse aus der Praxis, dass Unternehmen dabei mit gewissen Problemen konfrontiert werden. Die Kenntnisse dieser potentiellen Stolpersteine können dazu beitragen, dass Unternehmen einerseits realistische Erwartungen und Einschätzungen über den Erfolg eines DM-Projektes

---

<sup>557</sup> Vgl. Chen et al. (2000), S. 5

vornehmen, andererseits können diese bereits in den Projektzielen und in der Projektplanung entsprechend berücksichtigt werden:<sup>558</sup>

- Keine definitive Antwort: Mit Data-Mining erhält man zwar nützliche Einblicke in die Datenzusammenhänge und Hinweise, aber keine definitive Antwort.
- Hohe Kosten: Die Implementierungskosten von DM sind sehr hoch. Daher ist DM nicht für alle Unternehmen unbedingt geeignet.
- Komplexe und lange Projekte: Die Erfahrungen von Systementwickler zeigen, dass es oft sehr lange dauern kann, bis die gewünschten Projektergebnisse erzielt werden. Daher macht es Sinn sich zuerst auf einen kleineren Bereich zu fokussieren und schrittweise mit der Entwicklung zu beginnen.
- Geheimhaltung: Die Verwendung von persönlichen Daten oder Unternehmensdaten obliegt meist der Geheimhaltung und auch dem Datenschutzgesetz.
- Hohe Fachkenntnisse notwendig: Auch wenn die Benutzerschnittstellen und die Bedienung der Systeme immer einfacher werden, sind gewisse Kenntnisse über Statistik, Operations Research und Wirtschaftswissenschaften von Vorteil.
- Zu große Datenbestände mit unnötigen und nicht mehr managbaren Datenbanken.
- Falsche Informationen durch fehlerhafte Daten: Viele Daten werden nicht automatisiert sondern durch Personen erfasst, was unweigerlich zu menschlich bedingten Fehleingaben führt.

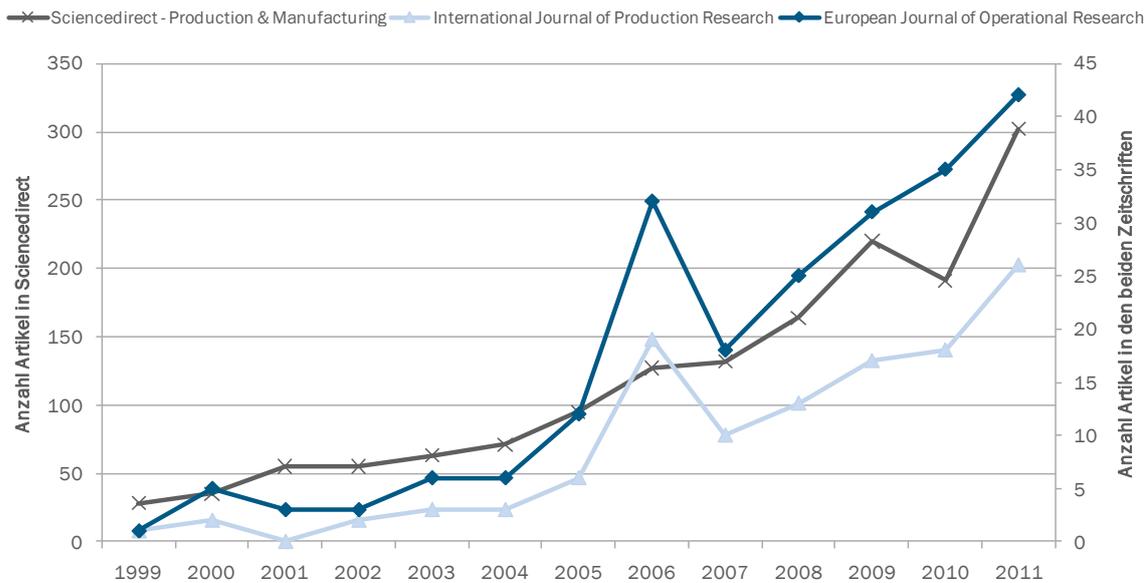
Um einen Einblick in die Anwendung von Data-Mining im Rahmen des Produktionsmanagements zu bekommen, wurde eine quantitative Analyse der in den Literaturdatenbanken vorhandenen Publikationen vorgenommen. Um nur relevante Literatur für den Bereich Produktionsmanagement (PM) zu bekommen, wurde die Suche auf bekannte Top-PM-Journale eingeschränkt, da eine Suche mit den Stichworten „Manufacturing“ oder „Production“ auch viele nicht relevante Treffer ergeben würde. In einer nächsten Einschränkung wurde innerhalb dieser Zeitschriften alle Veröffentlichungen mit dem Stichwort „Data-Mining“ selektiert. Diese wurden nach Prüfung auf Relevanz weiter bereinigt.

In Summe wurden 349 Artikel zum Thema Data-Mining in der Produktion identifiziert. Im Vergleich der Zeitschriften fällt vor allem die hohe Konzentration mit 75% der Veröffentlichung in drei Zeitschriften auf. Zu den Top-Journals mit Data-Mining Publikationen zählen das „International Journal of Production Research“, das „European Journal of Operational Research“ und das „International Journal of Production Economics“ zu nennen.

Zur Darstellung der zeitlichen Entwicklung wurden die Ergebnisse der zwei Top-Zeitschriften zusammen mit den gesamten Ergebnissen aus der Literaturdatenbank Science-Direct zu den Selektionskriterien „Data-Mining“, „Production“ und „Manufacturing“ in Abbildung 87 gegenübergestellt. Für die anderen Journale scheint eine zeitliche Verlaufsdarstellung aufgrund der geringen Anzahl der Ergebnisse als nicht sehr aussagekräftig.

---

<sup>558</sup> Vgl. Chen et al. (2000), S. 6

Abbildung 87: Zeitlicher Verlauf von Data-Mining Publikationen<sup>559</sup>

Deutlich zu erkennen ist einerseits der kontinuierliche Trend stetig steigender Veröffentlichungen zum Data-Mining, aber auch ein Peak im Jahr 2006, der auf eine Konferenz mit vielen resultierenden Konferenzbeiträgen zurückzuführen ist. Auf ein Abflachen des steigenden Trends kann daher nicht geschlossen werden. Im Folgenden soll die Entwicklung und Anwendung von Data-Mining im Produktionsmanagement im Allgemeinen und anhand ausgewählter Artikel vorgestellt werden. Für ein detailliertes Review zum Data-Mining im Manufacturing sei an dieser Stelle auf die Review-Literatur verwiesen.<sup>560</sup>

Mit dem Aufkommen von Data-Mining begannen Forscher und Unternehmen diese Technologie in unterschiedlichen Gebieten anzuwenden, wie im Bank- und Finanzwesen, im Retailsektor, im Marketing, bei Versicherungen, in den Naturwissenschaften, in der Konstruktion und in zahlreichen anderen Bereichen, um bisher versteckte Beziehungen und Muster zu entdecken. Im Produktionsmanagement hielt Data-Mining in den 1990er Jahren Einzug. In den Jahren 1987 bis 2005 gab es einen signifikanten Anstieg der Publikationen zum Thema Data-Mining im Produktionsmanagement, wie im Gebiet der Prozesssteuerung, der Instandhaltung, der Qualitätssicherung, der Produktentwicklung und allgemein bei Decision-Support-Systemen.<sup>561</sup>

Im Vergleich zu diesen Bereichen wurde der Einsatz von DM im Bereich der Fertigungssteuerung auf Shop-Floor Ebene von der Science-Community weniger betrachtet. In den letzten Jahren wurden viele Studien durchgeführt, die untersuchten wie man Unternehmensdaten am besten mit DM analysieren kann, um nützliche Modelle und Wissen zu generieren, mit denen die Geschäftsprozesse effizienter und effektiver gestaltet werden können. Eine umfassende Übersicht über die durchgeführten Studien über Enterprise Data-Mining findet sich bei Liao.<sup>562</sup> Choudhary et al. haben bereits festgestellt, dass die Anwendung von Data-Mining im Kontext mit Produktionsprozessen in Unternehmen rapide angestiegen

<sup>559</sup> Datenquelle: www.sciencedirect.com, Abfrage am 25.11.2011

<sup>560</sup> Vgl. Choudhary et al. (2008); Harding et al. (2006); Köksal et al. (2011); Windt et al. (2011)

<sup>561</sup> Vgl. Harding et al. (2006), S. 969

<sup>562</sup> Vgl. Liao (2008)

ist.<sup>563</sup> Die meisten Arbeiten behandeln dabei Qualitätsthemenstellungen, um beispielsweise basierend auf erfassten Prozessmerkmalen qualitätsbezogene Produktmerkmale zu prognostizieren.<sup>564</sup> Anwendungen der DM-Methoden zur Analyse und Verbesserung der in Abschnitt 3.4 erläuterten logistischen Zielgrößen sind hingegen in geringerer Zahl publiziert.

In diesem Zusammenhang untersuchten Windt et al. die Ursachen für eine schlechte Liefertreue in einem komplexen Produktionssystem, indem sie Data-Mining Methoden mit Methoden der Genanalyse aus der Bioinformatik kombinierten.<sup>565</sup> Dadurch konnten intrinsische Abhängigkeiten zwischen den Auftragsparametern und den Prozessparametern identifiziert werden. Durch das Modell konnten die Prognosegenauigkeit von Lieferverspätungen verbessert werden. In einem Unternehmen der Stahlindustrie untersuchten Windt et al. die Termintreue mittels einer Clusteranalyse.<sup>566</sup> Die Abfolge der vorgegebenen Prozessschritte in der betrachteten Stahlproduktion hängt vor allem vom jeweiligen Produkttyp sowie von der technologischen Prozessspezifikation ab, wie beispielsweise Warmband vor Kaltband. Die einzelnen Fertigungsaufträge können auf unterschiedliche Routen durch das Produktionssysteme durchlaufen. Als Inputparameter wurden die Auftrags- und Prozessdaten auf Ursachen für unzureichende Termintreue analysiert. Mittels des k-Means Algorithmus konnten Cluster mit einer schlechten Termintreue identifiziert werden. Eine Untersuchung der Merkmale dieser Cluster gab Hinweise auf die möglichen Ursachen. Im konkreten Anwendungsfall zeigte sich beispielsweise, dass es sich bei den identifizierten Aufträgen, um Ausschussware anderer Aufträge handelte, für die die geringere Oberflächengüte noch ausreichte. Da diese Abwertungsaufträge nicht regulär geplant werden können, da die anfallenden Ausschussmengen nicht vorhersagbar sind, war eine genaue Terminierung schwierig. Mit der Clusteranalyse konnten somit plausible Ergebnisse erzielt werden, mit denen bisher unentdeckte Ursachen für Terminabweichungen entdeckt werden konnten, die bisher nicht beachtet wurden. Neue Planungsregeln zur Verbesserung der Produktionsplanung und -steuerung wurden allerdings nicht abgeleitet.

### 7.5 Vorgehensmodell zur Ableitung und Wirkungskontrolle von Planungsregeln

Basierend auf den obigen Ausführungen wird ein Vorgehenskonzept vorgestellt, das allgemein zur Verbesserung der Produktionsplanung angewandt werden kann. Mithilfe von Methoden des Data-Mining wird gezeigt wie neuartiges, potenziell nützliches Wissen aus den Daten der PPS-Systeme entdeckt werden kann, das zur Ableitung von Verbesserungsmaßnahmen der Produktionslogistik dienen kann. Das konkrete Ziel ist die Ableitung von Planungsregeln und Kennzahlen, die zur Unterstützung der Planer in einem PPS-System implementiert werden können. Durch die Externalisierung von implizit vorhandenem Wissen ist dies ein Schritt in Richtung eines wissensbasierten Produktionsplanungssystems.<sup>567</sup>

---

<sup>563</sup> Vgl. Choudhary et al. (2008), S. 501

<sup>564</sup> Vgl. Konrad et al. (2013); Peters et al. (2012); Morik et al. (2010)

<sup>565</sup> Vgl. Windt/Hütt (2011)

<sup>566</sup> Vgl. Windt et al. (2011), S. 234ff

<sup>567</sup> Zur Externalisierung von implizitem Wissen in explizites Wissen und dem damit verbundenem Modell der Wissensspirale siehe Nonaka/Takeuchi (1995). Die grundlegenden Modelle aus dem Wissensmanagement können im Rahmen dieser Arbeit nicht umfangreich behandelt werden.

## Wissensbasierte Systeme

Rumois unterscheidet zwischen eigentlichen wissensbasierten und wissensorientierten Systemen.<sup>568</sup> Während erstere auf einer expliziten Wissensbasis aus Problemlösungsregeln aufbauen, sind zweitere selbstlernende Systeme, die nicht programmiert sondern mit Technologien aus der Künstlichen Intelligenz trainiert werden. Aus technischer Sicht definiert Kurbel ein wissensbasiertes System, als ein Softwaresystem, welches das Fachwissen über ein Anwendungsgebiet explizit und unabhängig vom allgemeinen Problemlösungswissen darstellt.<sup>569</sup> Wissensbasierte Verfahren zeichnen sich durch Verwendung von heuristischem Erfahrungswissen aus, das zur Milderung des Komplexitätsproblems verwendet wird. Für die Ablaufplanung bedeutet dies, möglichst gute Pläne in möglichst kurzer Zeit unter Ausnutzung anwendungsspezifischen Wissens zu generieren. Ein intelligentes Produktionsplanungssystem zur Bestimmung akzeptabler Ablaufpläne verwendet sowohl Anwendungswissen als auch Wissen aus der zugehörigen Theorie der Ablaufplanung. Die in der betrieblichen Praxis auftretenden Probleme haben spezifische Charakteristika und Anforderungen, die durch anwendungsspezifisches Wissen entsprechend zu berücksichtigen sind.<sup>570</sup>

Unter dem Begriff Expertensysteme werden wissensbasierte Systeme bezeichnet, die aus einer Wissensbasis und einer Inferenzmaschine bestehen. Das formalisierte Wissen menschlicher Experten wird in der Wissensbasis in Form von Regeln, Prozeduren und Heuristiken gespeichert. Dabei werden drei wesentliche Arten von Wissen unterschieden:<sup>571</sup>

- (1) Prozedurales Wissen: problemspezifisches Problemlösungswissen
- (2) Deklaratives Wissen: liefert Eingabedaten zur Beschreibung des Problemgebiets
- (3) Metawissen Wissen: dient zur Entscheidung, wie das prozedurale und deklarative Wissen zur Lösung eines konkreten Problems verwendet werden kann

Die Inferenzmaschine arbeitet mit dieser Wissensbasis, indem sie eine Strategie zur Lösung konkreter Probleme selektiert. Der Nachteil bei solchen wissensbasierten Systemen liegt darin, dass es schwierig ist, das existierende Wissen der mit den Produktionssteuerungsaufgaben betrauten Personen zu formalisieren. Gerade im Fall von komplexen Produktionssystemen ist das Wissen häufig auf eine Vielzahl von Entscheidungsträgern verteilt. Dadurch eignen sich Expertensysteme weniger zur Produktionssteuerung komplexer Systeme.

Ziel der Arbeit ist daher nicht ein Expertensystem zu entwickeln, das in der Lage ist selbständig Produktionsentscheidungen zu treffen. Vielmehr soll ein Prozessmodell entwickelt werden, mit dem durch Anwendung von Data-Mining Planungsregeln für die Fertigungssteuerung abgeleitet werden können. Das Modell einer wissensbasierten Produktionsplanung in diesem Sinne ist in Abbildung 88 skizziert, das die einzelnen Ebenen und Systeme der Produktionsplanung in Anlehnung an die VDI 5600 enthält. Zusätzliche wurde eine Business Intelligence (BI) Ebene eingeführt, in der einerseits die benötigten Daten in der erforderlichen Form aufbereitet werden und andererseits auch Auswertungen für ein Produktionscontrolling zur Verfügung stellen. Neben einem Data Warehouse müssen in einem BI-System auch die notwendigen Data-Mining Verfahren implementiert sein. Durch die

---

<sup>568</sup> Vgl. Rumois (2007), S. 93

<sup>569</sup> Vgl. Kurbel (1992), S. 18

<sup>570</sup> Vgl. Schmidt/Schmidt (2002), S. 155f

<sup>571</sup> Vgl. Mönch (2006), S. 30

Anwendung des KDD-Prozesses sollen Planungsregeln abgeleitet werden, die auf der Fertigungsleitebene in einem MES implementiert werden können.

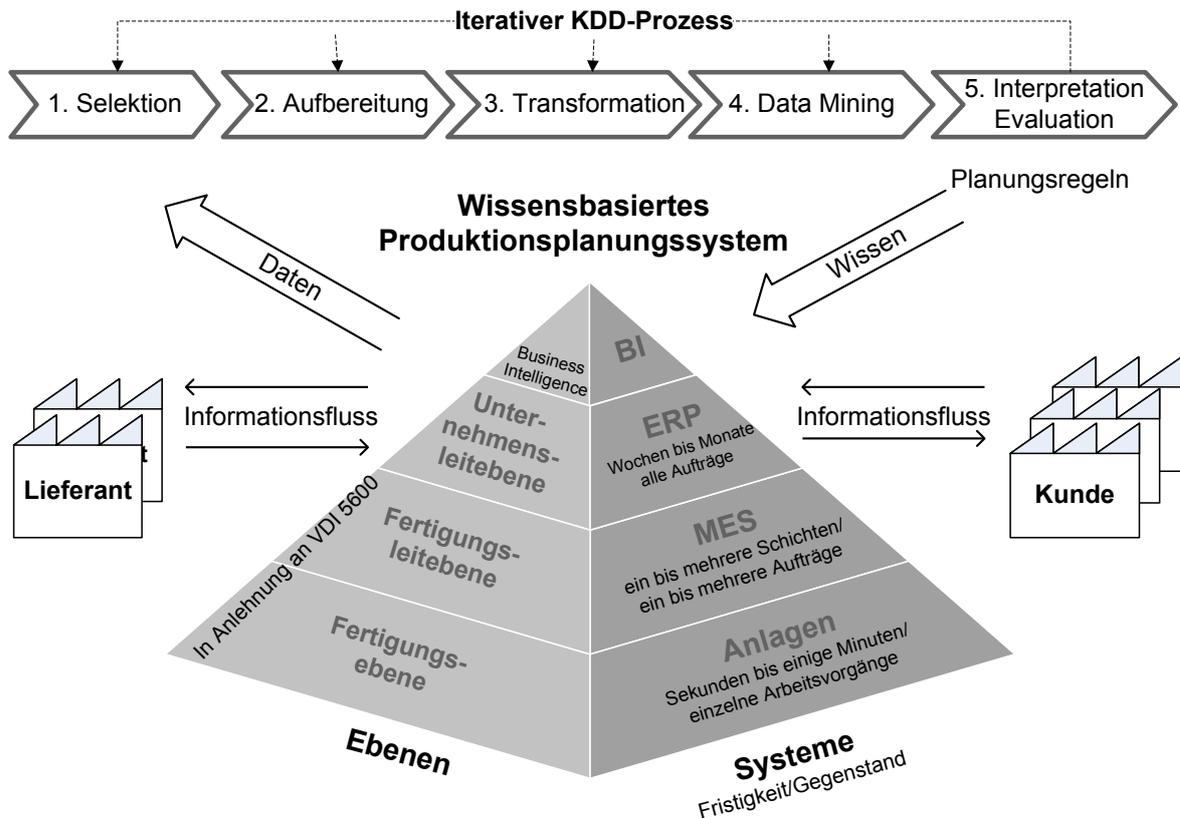


Abbildung 88: Wissensbasiertes Produktionsplanungssystem<sup>572</sup>

### Planungsregeln in der Produktionsplanung

Planungsregeln dienen im Allgemeinen zur Koordination. Die arbeitsteiligen Leistungen auf den Arbeitsplätzen und Maschinen sind im Hinblick auf die zu erstellende Gesamtleistung zu koordinieren. In der Produktion können dabei folgende Koordinationsmöglichkeiten unterschieden werden:<sup>573</sup>

- Vorgabe von Regeln: Den Stellen werden Verfahrensregeln vorgegeben, deren Einhaltung die Koordination sicherstellt (Programmierung und Standardisierung).
- Planung: In periodisch zu erstellenden Plänen werden die Koordinationsprobleme prospektiv erstellt.
- Hierarchische Anweisungen: Die Vorgesetzten lösen Koordinationsprobleme ad hoc und geben die Lösung in Form von Anweisungen an die betroffenen Stellen weiter.
- Selbstabstimmung: Die betroffenen Stellen tauschen untereinander Informationen aus, die der Koordination dienen.

Beim Übergang von einer Fließfertigung mit vorwiegend manuellen Verrichtungen zu einer stärker mechanisierten und automatisierten Fertigung wird die menschliche Arbeit in der Fertigung, die sich von einer Arbeit am Produkt zu einer Arbeit an Maschinen und Automaten

<sup>572</sup> Quelle: Rainer (2012), S. 358

<sup>573</sup> Vgl. Kieser/Kurbel (1996), S. 588

wandelt, variabler und komplexer. In diesem Fall kann sie durch Planung und Vorgabe von Regeln in immer geringerem Maße koordiniert werden.<sup>574</sup> Daher haben sich dezentrale Fertigungssteuerungsansätze mit lokaler Autonomie in den einzelnen Fertigungsbereichen in für flexibilitätsorientierte Produktionssysteme etabliert.<sup>575</sup>

Planungsregeln kommen dabei vor allem in der Feinplanung im Rahmen der Maschinenbelegungs- und Reihenfolgeplanung zum Einsatz. Die Maschinenbelegungs- und Reihenfolgeplanung wird zwar in der Werkstattsteuerung auch oft als Steuerungsaufgabe angesehen und daher der Fertigungssteuerung zugeordnet, ist aber begrifflich der Produktionsplanung zuzuordnen.<sup>576</sup> Daher wird im folgendem von allgemeingültigeren Planungsregeln in der Produktionsplanung gesprochen, auch wenn es sich dabei um Regeln für die Fertigungssteuerung handelt. Unter Planungsregeln sind in der Fertigung vor allem einfache Prioritätsregeln zur Feinterminierung der Arbeitsvorgänge der Fertigungsaufträge bekannt.

### **Prioritätsregeln**

Bei der Festlegung der genauen Starttermine der Fertigungsaufträge und Beginn- und Endzeitpunkte der Arbeitsgänge sind unter Berücksichtigung von kurzfristigen Terminänderungen und Kapazitätsstörungen die vorgegebenen logistischen Ziele zu erfüllen. Im Mehr-Maschinen-Fall müssen  $n$  Aufträge  $m$  Maschinen zugeordnet und somit  $(n!)^m$  mögliche Reihenfolgen analysiert werden, um eine zieladäquate Maschinenbelegung zu finden. Bei in der Praxis anzufindenden realistischen Größenordnungen von  $n$  und  $m$  ist es allerdings kein Verfahren der kombinatorischen Optimierung in der Lage sein, die numerische Optimallösung zu finden.<sup>577</sup> Daher werden für die Maschinenbelegungsplanung meist einfache Prioritätsregeln angewandt, bei der jeder Auftrag, der vor einem Arbeitsplatz zur Bearbeitung ansteht, eine Prioritätsziffer bekommt. Die Aufträge werden dann in der Reihenfolge dieser Prioritätszahlen abgearbeitet, die nach den folgenden elementaren Regeln ermittelt werden können:<sup>578</sup>

- FIFO-Regel (First In – First Out): Die Aufträge werden in der Reihenfolge der Ankunft am Arbeitssystem abgearbeitet.
- KOZ-Regel (Kürzeste Operationszeit): Der Auftrag mit dem geringsten Arbeitsinhalt wird zuerst bearbeitet.
- LOZ-Regel (Längste Operationszeit): Aufträge mit dem größten Arbeitsinhalt werden zuerst abgearbeitet.
- Schlupfzeit-Regel: Die Schlupfzeit-Regel priorisiert Aufträge, deren Rest-Schlupf, definiert als verbleibende Zeit bis zum planmäßigen Fertigstellungstermin des Auftrags laut Durchlaufterminierung, am niedrigsten ist. Damit werden automatisch Aufträge mit Terminverzug und negativem Rest-Schlupf vorrangig bearbeitet.
- Rüstoptimale Reihenfolgen: Die Auftragsreihenfolge wird so vorgenommen, dass der Umstellungsaufwand innerhalb des Planungszeitraums minimiert wird. Einzelne Aufträge können dadurch vorgezogen werden oder auch hinten angestellt werden.

---

<sup>574</sup> Vgl. Nieß (1996), S. 590

<sup>575</sup> Vgl. Scherer et al. (1996); Windt (2008)

<sup>576</sup> Siehe dazu auch Abschnitt 3.2.2

<sup>577</sup> Vgl. Hansmann (2006), S. 354

<sup>578</sup> Vgl. Wiendahl (2010), S. 325

Die Prioritätsregeln sind heuristisch aus den jeweiligen logistischen Zielgrößen abgeleitet und erfüllen demnach die übrigen Ziele unterschiedlich gut. Die Auswirkungen auf die Zielerreichung der Produktionssteuerung wurden auf Basis zahlreicher Simulationsstudien untersucht. Dabei ist zu berücksichtigen, dass diese Ergebnisse nicht verallgemeinert werden dürfen. Die Ergebnisse von Simulationsstudien gelten nur unter den jeweiligen Voraussetzungen, die für das Produktionssystem und den Auftragsbestand angenommen wurde. Man kann insofern aber von einer tendenziellen Zielwirksamkeit für die einzelnen Prioritätsregeln ausgehen, die in Abbildung 89 dargestellt sind.<sup>579</sup>

	Zielgröße	Lei- stung	Be- stand	Mittlerwert der Durch- laufzeit	Streuung der Durch- laufzeit	Termin- treue
<b>Prioritätsregel</b>	First In – First Out (FIFO)	o	o	o	+	o (+)
	Kürzeste Operationszeit (KOZ)	o	o	+	-	-
	Längste Operationszeit (LOZ)	o	o	-	-	-
	Geringster Restschlupf	o	o	o	-	+
	Rüstooptimale Reihenfolge	+	o (+)	o	-	-
Wirkungsrichtung:			o neutral	+	positive	- negativ

Abbildung 89: Auswirkung von Prioritätsregeln<sup>580</sup>

Die beschriebenen elementaren Prioritätsregeln lassen sich noch additiv, multiplikativ oder alternativ beliebig kombinieren, um gleichzeitig mehrere Ziele der Reihenfolgeplanung zu realisieren.<sup>581</sup> Eine Marktanalyse hat ergeben, dass in 111 untersuchten ERP-Systemen primär einfache und eher selten kombinierte Regeln zur Anwendung kommen.<sup>582</sup> Die wesentlichen Vorteile von Prioritätsregeln können wie folgt zusammengefasst werden:<sup>583</sup>

- Reihenfolgeentscheidungen müssen erst zu dem Zeitpunkt getroffen werden, zu dem ein Auftrag zur Bearbeitung ansteht und die Maschine frei wird. Dadurch kann die aktuelle Situation des Produktionssystems zeitnah berücksichtigt werden.
- Auf jeder Maschine können, je nach Situation und Zielsetzung, unterschiedliche Prioritätsregeln eingesetzt werden.

Während sich die oben beschriebenen Prioritätsregeln zur Reihenfolgebildung bewährt haben, lässt sich der in Abschnitt 4.5 bereits erläuterte Fehlerkreis der Fertigungssteuerung durch unterschiedliche Verfahren zur Auftragsfreigabe beheben. Diese Anweisungen können auch als Planungsregeln interpretiert werden.

Eine weitere Art von Planungsregeln ist in der Sequenzbildung in der Automobilindustrie anzutreffen. Durch sogenannte Ho:No Reihenfolgeregeln soll bei der Sequenzbildung eine Überlastung von einzelnen Stationen verhindert bzw. minimiert werden. Dabei wird die Häufigkeit einer arbeitsintensiven Option o auf maximal Ho von No Fahrzeugmodellen auf

<sup>579</sup> Vgl. Buzacott et al. (2009), S. 110

<sup>580</sup> Quelle: in Anlehnung an Wiendahl (2010), S. 326

<sup>581</sup> Vgl. Zäpfel (2001), S. 218

<sup>582</sup> Vgl. Fandel/Gubitz (2008), S. 309ff

<sup>583</sup> Vgl. Buzacott et al. (2009), S. 110

einer Fertigungslinie begrenzt.<sup>584</sup> Für den Fall der flexibilitätsorientierten Prozessindustrie ergibt sich Anstelle einer arbeitsintensiven Option o ein bestimmtes Produktmerkmal  $X_j$  mit optimalen Mengen für die einzelnen Ausprägungen  $X_{1j}$  bis  $X_{nj}$  aufgrund meist technologisch bedingter Restriktionen. Die Definition von produktmixabhängigen Bestandsgrenzen ermöglicht die Einrichtung von bestandsorientierten Regelkreisen zwischen den dezentralen Fertigungsbereichen. Die von Lödding entwickelte dezentrale bestandsorientierte Fertigungssteuerung wäre dabei durch Planungsregeln zu erweitern, welche die optimalen Mengen für die jeweiligen identifizierten Merkmale berücksichtigen.<sup>585</sup>

### **Data-Mining**

Die Ermittlung der relevanten Produktmerkmale, die aufgrund beispielsweise bestimmter technologischer Abhängigkeiten eine Überlastung an einer Anlage verursachen und somit für die Fertigungssteuerung entscheidend sind, kann durch die Anwendung eines Data-Mining-Verfahrens erfolgen. Je nach Aufgabenstellung und in Abhängigkeit von der zur Verfügung stehenden IT-Infrastruktur sind die jeweils passenden Verfahren, die in Abschnitt 7.2 beschrieben wurden, auszuwählen. Die Ergebnisse des Data-Mining-Verfahrens sind allerdings noch keine konkreten Planungsregeln, sondern zeigen bestimmte Muster auf und visualisieren bisher noch nicht bekannte Zusammenhänge. Diese sind in einem nächsten Schritt mit den Mitarbeitern der Produktion zu validieren und zu interpretieren. Mit ihrem Expertenwissen sollen sie in der Lage sein mit Hilfe von unterstützenden Kreativitätstechniken, wie beispielsweise Ishikawa-Diagramm, 5W, etc... die tiefergehenden Ursachen und Folgen ihrer eigenen Entscheidungen zu verstehen. In diesem Zusammenhang spielt auch die Unternehmenskultur wie das im Unternehmen vorhandene Verständnis von KAIZEN bzw. KVP eine wichtige Rolle. Eine Verankerung von KAIZEN im Unternehmen bietet hier sicher Vorteile, da ansonsten noch Aufbauarbeit in diese Richtung, fast als Basisvoraussetzung, geschaffen werden muss. Wichtig ist in dieser kreativen Phase auch eine transparente Darstellung der Data-Mining Ergebnisse, damit die Mitarbeiter bestimmte Planungsregeln ableiten können, die sie in Zukunft in der Planung unterstützen sollen, um die vorgegebenen Ziel zu erreichen.

### **Implementierung von Planungsregeln**

Zur Unterstützung der Onlineplanung muss die Implementierung der Planungsregeln auf Ebene der Fertigungssteuerung im Manufacturing Execution System erfolgen. Das MES erlaubt den Einsatz von Advanced Planning and Scheduling Verfahren (APS), die eine simultane Material- und Kapazitätsplanung unter Berücksichtigung von Rahmenbedingungen, d.h. Constraints wie Material- und Ressourcenverfügbarkeit, gestatten. Constraint-Basierte Planung bedeutet, dass einfache Randbedingungen mit deren wechselseitigen Beziehungen, die bei der Planung zu berücksichtigen sind, formuliert werden können. Durch eine einfache Darstellung und Änderbarkeit der Randbedingungen können Simulationen durchgeführt und What-if-Analysen durchgeführt werden. Die Erstellung von Planungsszenarien wird durch eine hohe Planungsgeschwindigkeit unterstützt, die auch die Berücksichtigung kurzfristiger Ereignisse wie Anlagenausfälle ermöglicht. Zur Maximierung der in der Feinplanung erforderlichen Verarbeitungsgeschwindigkeit werden die benötigten Daten komplett in den Hauptspeicher des Planungsrechners geladen. Die Constraints erlauben auch die Realisierung

---

<sup>584</sup> Vgl. Boysen et al. (2011)

<sup>585</sup> Zur dezentralen bestandsorientierten Fertigung siehe Lödding et al. (2003)

einer multidirektionalen Planung, bei der die Auswirkungen der Planungsergebnisse direkt in ihren Auswirkungen auf die vorliegenden Randbedingungen weitergegeben werden.<sup>586</sup>

Die Constraints werden in den APS-Systemen in sogenannten Wissenstabellen gespeichert. Erkennt das System Planungsvorgaben, die aufgrund der vorliegenden Constraints nicht realisierbar sind, erfolgt sofort ein Feedback an den Planer, der seine Planungsvorgaben ändern kann oder muss damit die Constraints wieder erfüllt sind. In den Wissenstabellen kann dazu hinterlegt werden, ob die Randbedingung unbedingt erfüllt werden muss oder ob nur eine Warn- bzw. Informationsmeldung ausgegeben wird. Im ersten Fall muss der Planer seine Planung überarbeiten, wie beispielsweise bei der Einhaltung bestimmter technologisch bedingter Mindest- oder Maximalliegezeiten. Im zweiten Fall obliegt die Entscheidung beim Planer, ob er die Planung variiert oder so belässt.

Als weitere Vorteile bieten APS-Systeme Optimierung von Lösungen, die alle Randbedingungen erfüllen. Damit das System eine optimale Lösung berechnen kann, muss der Planer allerdings Optimierungsziele wie Auslastung, Durchlaufzeit oder Liefertreue vorgeben. Die Ermittlung erfolgt dann meist durch Optimierungsmethoden aus dem Operations Research sowie durch genetische Algorithmen.<sup>587</sup> Ein Gesamtoptimum aus den konfliktären logistischen Zielgrößen zu ermitteln ist jedoch automatisch nicht möglich. Die einzelnen Zielgrößen können zwar mit unterschiedlichen Gewichten versehen und priorisiert werden, die Vorgabe eines optimalen Betriebspunkt im Sinne der Kennlinientheorie obliegt jedoch beim Anwender.

### Zielformulierung

Als untersuchende Zielgröße eignen sich grundsätzlich alle der in Abschnitt 3.4 aus den Zielen der Produktion abgeleiteten Kennzahlen. Die Berechnung der wichtigsten Kennzahlen wurde ausführlich beschrieben. Die Auswahl der primären Zielgröße erfolgt je nach Projektziel.

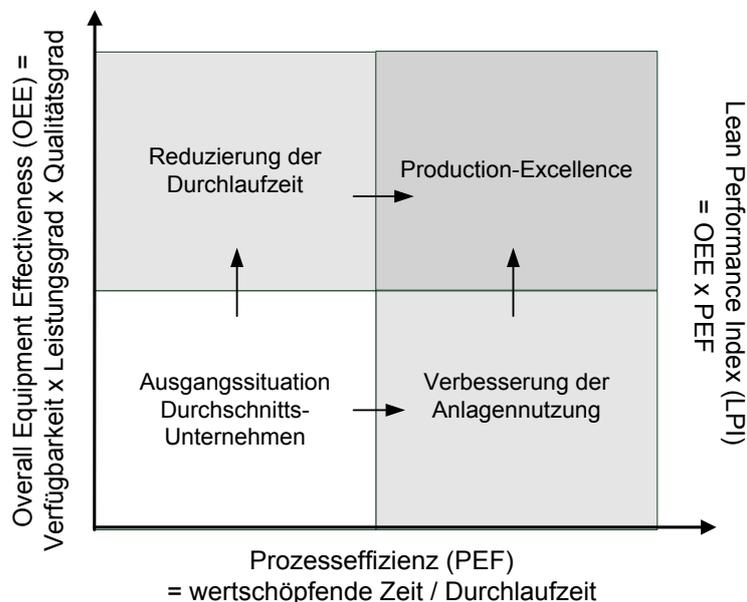


Abbildung 90: Production-Excellence gemessen mit dem Lean-Performance-Index<sup>588</sup>

<sup>586</sup> Vgl. Beckmann (2012), S. 478ff

<sup>587</sup> Vgl. Beckmann (2012), S. 480

<sup>588</sup> Quelle: in Anlehnung an Kletti/Deisenroth (2012), S. 16

Prinzipiell können bei Verbesserungsprojekten zwei typische Richtungen am Weg zur Production-Excellence eingeschlagen werden, die sich anhand des in Abbildung 90 abgebildeten Portfolios darstellen lassen.

Als Maß zur Bewertung der Ausgangssituation kann der Lean Performance Index (LPI) herangezogen werden, der sich aus dem Prozesswirkungsgrad bzw. der Prozesseffizienz (PEF) und dem OEE-Index zusammensetzt:<sup>589</sup>

$$LPI = OEE \times PEF$$

Die Handlungsoption besteht darin entweder zuerst die Ressourceneffizienz zu erhöhen und danach die Durchlaufzeiten oder umgekehrt. In der Prozessindustrie steht üblicherweise die Verbesserung der Anlageneffizienz im Vordergrund. Konzepte zur Steigerung der Anlageneffizienz aus der Anlagenwirtschaft wie Total Productive Maintenance sind daher in vielen Unternehmen schon etabliert. Eine weitere Verbesserung in Richtung Production-Excellence ist in diesen Fällen durch Reduzierung der Durchlaufzeit zu erzielen. Dabei sind die Wechselwirkungen zwischen diesen Zielgrößen zu berücksichtigen, die durch Produktionskennlinien veranschaulicht werden können.

### **Datenstruktur**

Eine wesentliche Voraussetzung für die Anwendung von Data-Mining besteht nach der Definition der Ziele in der Analyse und Erhebung der vorliegenden Datenstruktur für die weitere Analyse. Dazu sind zum einen die notwendigen Daten für die benötigten Kennzahlen aber auch die zu untersuchenden Einflussgrößen als Merkmale zu definieren und aus den jeweiligen Datenquellen zu selektieren sowie entsprechend aufzubereiten. Die Bereitstellung und Verarbeitung der anfallenden Datenmengen kann am besten in einem Data Warehouse erfolgen, das die Daten aus den unterschiedlichen Produktionssysteme (ERP, MES, BDE,...) zu einer Datenbasis zusammenführt. Die aus unterschiedlichen Datenquellen extrahierten Daten sind in ein einheitliches Format zu konvertieren und so zusammenfassen, dass eine Bearbeitung mit der jeweiligen Data-Mining-Software möglich ist. Ein Data Warehouse mit Data-Mining-Funktionalität wird auch unter dem Begriff Business Intelligence zusammengefasst.<sup>590</sup> Die so ermittelten Kennzahlen dienen damit einerseits als Ausgangsbasis zur Formulierung der Zielvorgaben, als auch zur Wirkungskontrolle nach Implementierung der mittels Data-Mining abgeleiteten Verbesserungsmaßnahmen.

Für jede Kennzahl ist eine eindeutige Berechnungsformel zu definieren, die aus den Basisgrößen und Bezugspunkten aus den operativen Systemen ableitbar ist. Dabei ist zu gewährleisten, dass ein einheitliches Verständnis der betriebswirtschaftlichen Bedeutung der verwendeten Kennzahl vorliegt. Durch eine einheitliche unternehmensweite Interpretation der abstrakten Zahlengröße, können sich ständig wiederholende Diskussionen über die Bedeutung einzelner Zahlengrößen vermieden werden. Damit wird die Akzeptanz der vom Data Warehouse erzeugten Berichte erhöht, in denen sich die zu Kennzahlensystemen gruppierten Kennzahlen wiederfinden. Neben einem Kennzahlensystem gehört zu einer Berichtsdefinition auch ein Bezugsobjekt, denn ohne Bezugsobjekt ergibt eine Kennzahl keinen Sinn. Beispielsweise sagen Kennzahlen wie die Durchlaufzeit erst etwas aus, wenn klar ist von welchem Auftrag, Produkt oder Produktgruppe die Durchlaufzeit betrachtet wird. Dieser Konnex zwischen Kennzahl und Bezugsobjekt wird im Rahmen von Data Warehouse als

---

<sup>589</sup> Vgl. Kletti/Deisenroth (2012), S. 16; zu OEE und PEF siehe Abschnitt 3.4

<sup>590</sup> Vgl. Amberg (2004), S. 52

Faktum bezeichnet und definiert damit den Informationstyp. Berichte enthalten folglich immer eine Menge an Fakten, d.h. Verbindungen von Kennzahlen und Bezugsobjekten.<sup>591</sup>

### Strukturanalyse

Die Definition von Bezugsobjekten erfolgt im Rahmen eines Data-Mining Vorhabens in der ersten Phase im Rahmen der Systemabgrenzung und Strukturanalyse. Zur Darstellung der Systemabgrenzung eignen sich die eingangs im Abschnitt 3.1.1 erläuterten Darstellungen aus der Systemtheorie. Die Bezugsobjekte für die Kennzahlen unterscheiden sich je nach Betrachtungsebene und sind entsprechend zu definieren. Nach der Systemtheorie können die einzelnen Bereiche eines Produktionssystems, wie in Abbildung 91 dargestellt, hierarchisch in die Ebenen Fabrik bzw. Werk, Segment, Linie und Arbeitsplatz eingeteilt werden.

Jede dieser Ebenen angefangen vom Gesamtsystem bis zu den darunterliegenden Subsystemen umfasst dabei eine bestimmte Gruppe von Systemobjekten, die durch grundlegende, gemeinsame, ebenspezifische Merkmale charakterisiert sind.<sup>592</sup>

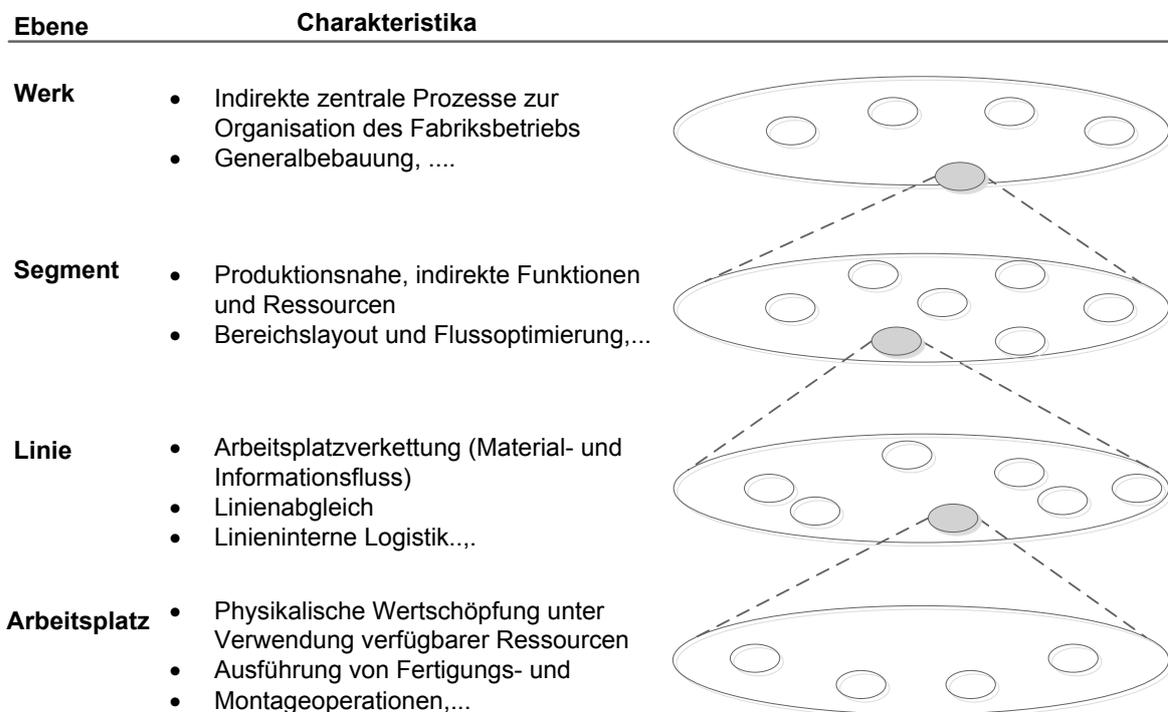


Abbildung 91: Betrachtungsebenen von Produktionssystemen<sup>593</sup>

### Prozessmodell für Lean-Data-Mining

Zusammenfassend lassen sich die erläuterten Schritte in Abbildung 92 in einem Prozessmodell darstellen. Die einzelnen Phasen basieren dabei auf den Phasen des in 7.3 beschriebenen KDD-Prozesses und sind einem kybernetischen Regelungsprozess entsprechend grob gegliedert in eine Planung-, Realisation- und Kontrollphase.<sup>594</sup> Das Prozessmodell kann auch als allgemeines Vorgehenskonzept zur Verbesserung logistischer Zielgrößen durch Anwendung von Data-Mining eingesetzt werden.

<sup>591</sup> Vgl. Schütte et al. (2001), S. 18f

<sup>592</sup> Vgl. Rogalski (2009), S. 21f

<sup>593</sup> Quelle: in Anlehnung an Rogalski (2009), S. 22

<sup>594</sup> Vgl. Peters/Brühl (2005), S. 29

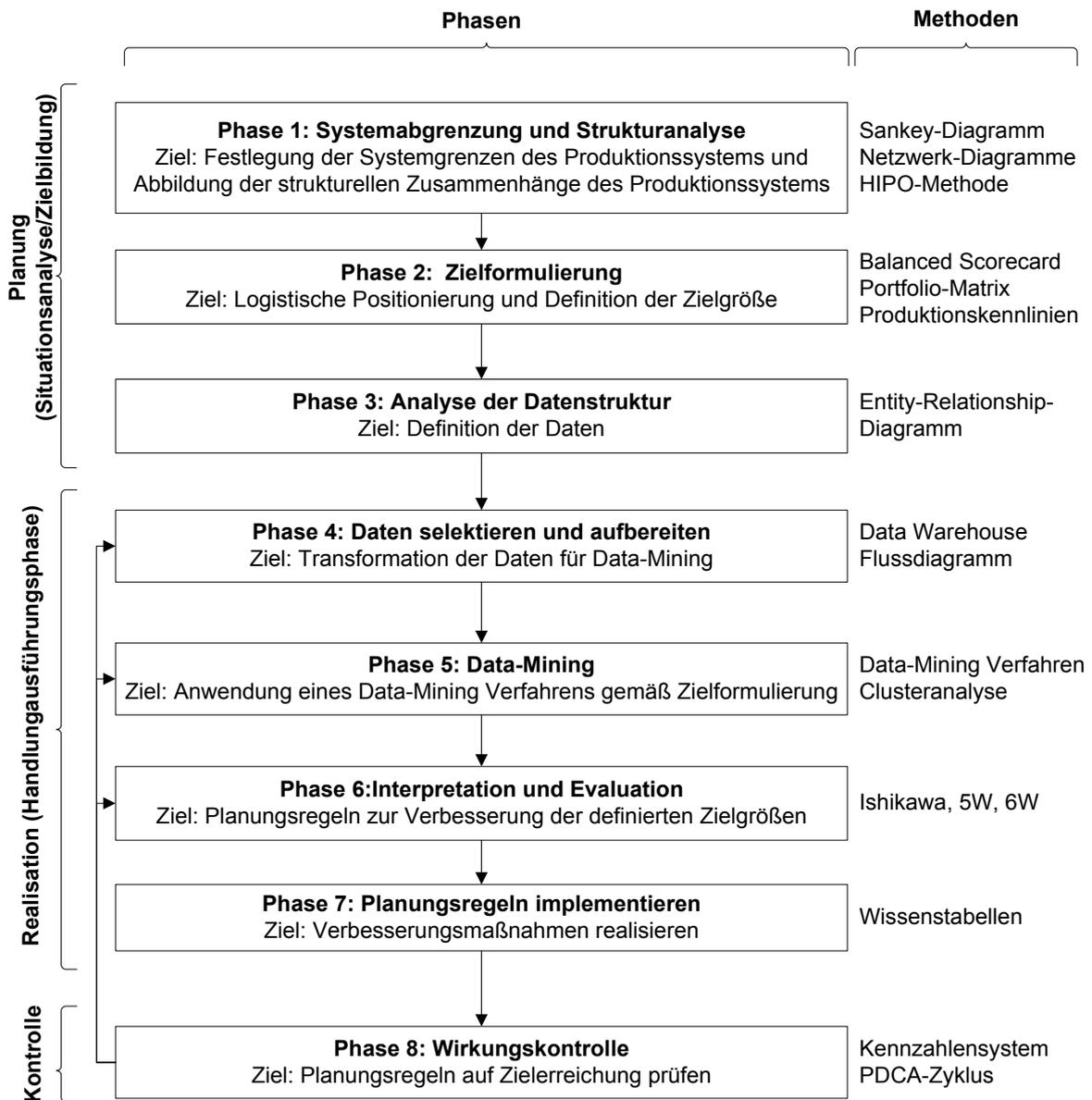


Abbildung 92: Lean-Data-Mining Prozessmodell zur Verbesserung logistischer Zielgrößen

Zu Beginn jedes Verbesserungsprojektes ist in der ersten Phase eine Systemabgrenzung vorzunehmen, um das Untersuchungsfeld einzugrenzen. Dabei sind einerseits die Systemgrenzen des zu betrachteten Produktionssystems festzulegen als auch die strukturellen Zusammenhänge innerhalb des Systems aufzunehmen. Als Methoden haben sich hierzu Netzwerk-Diagramme sowie ein Sankey-Diagramm bewährt, mit dem die Materialflüsse auf unterschiedlichen Detaillierungsebenen auch quantitativ dargestellt werden können. Zur Abbildung der Detaillierungsebenen und der hierarchische Struktur eines Produktionssystems eignet sich die HIPO-Methode, die als Designhilfe und Dokumentationstechnik für die Abwicklung von IT-Projekten entwickelt wurde. Mit der HIPO-Methode (Hierarchie + Input-Process-Output) wird das zu analysierende Produktionssystem als hierarchische Struktur von Teilsystemen (Werk, Segment, Linie, Anlage) grafisch abgebildet. Die Materialflüsse werden dabei nach dem Schema Eingabe (Input), Verarbeitung (Process) und Ausgabe (Output) verbunden. Als Ergebnis erhält man drei Arten von Diagrammen: eine visuelle

Inhaltsübersicht durch ein Hierarchiediagramm, ein Überblicksdiagramm und Detaildiagramme.<sup>595</sup>

Nach der Systemabgrenzung und Strukturanalyse sind die Projektziele zu definieren. Dabei ist zu beachten, dass eine Minimierung der Gesamtkosten als Projektziel nicht ausreicht, sondern eine logistische Positionierung zu erfolgen hat. Anstatt einer schwer nachvollziehbaren Optimierung lässt sich eine logistische Positionierung mithilfe von Produktionskennlinien aus einer logistischen Gesamtstrategie ableiten.<sup>596</sup> Dabei wird der angestrebte Betriebszustand festgelegt sowie die logistischen Zielgrößen auf Konsistenz geprüft. Als weitere Hilfsmittel zur Formulierung und Visualisierung der logistischen Ziele dienen die Balanced-Scorecard sowie die Portfolio-Matrix mit dem Lean-Performance-Index. Eine monetäre Bewertung kann prinzipiell auf Basis der in Abschnitt 3.4.6 erläuterten Wirkungszusammenhänge erfolgen, ist jedoch nicht Kern dieser Arbeit. Wichtig ist, dass die Ziele klar definiert werden, damit sie auch gemessen werden können. Zur Messung der Ziele sind in dieser Phase auch einige Definitionen zur Berechnung der Kennzahlen notwendig. Die wichtigsten Kennzahlen in diesem Zusammenhang wurden daher in Abschnitt 3.4 ausführlich erläutert.

Nach der Zielformulierung gehört auch noch die Analyse der Datenstruktur als dritte Phase zur Projektplanung. Ein wesentlicher Erfolgsfaktor ist die zur Verfügung stehende Datenmenge und vor allem auch Datenqualität. Dabei sind die Datenquellen und Beziehungen der zu analysierenden Zielgrößen (Durchlaufzeit, Auslastung,...) und der damit verbundenen Objekte (Fertigungsaufträge, Anlage, Material,...) zu erheben. Als Hilfsmittel zur Visualisierung der Objektbeziehungen eignen sich hier EER (Entity-Relationship)-Diagramme. Je nach vorliegender Datenstruktur sind in dieser Phase die standardmäßigen Kennzahlen-Definitionen aus der Literatur unternehmensspezifisch noch zu adaptieren.

Nach diesen drei Phasen kann ein Projektplan für die weitere Realisierungsphase erstellt werden. Entsprechend der Business-Understanding Phase im CRISP-DM-Prozess geht es in der Planungsphase darum, ein umfassendes Geschäftsverständnis zu schaffen, indem eine Bewertung der aktuellen Ausgangslage erfolgt, die aus den Unternehmenszielen abgeleiteten Data-Mining-Ziele definiert werden und ein Projektplan entwickelt wird. In diesem Sinne diente Kapitel 5 auch dazu das erforderliche Geschäftsverständnis für das Fallbeispiel mit den Besonderheiten aus der Aluminiumindustrie zu vermitteln.

Die Realisierungsphase beginnt mit der Selektion und Aufbereitung der Daten, die dazu am besten in einem Data Warehouse oder in einer Datenbank gesammelt werden. Das Ziel dieser Phase ist die Transformation der Daten in ein Format, das für die Data-Mining Analyse benötigt wird. Die eingesetzte Data-Mining Methode muss daher spätestens in dieser Phase festgelegt werden. Da meist noch nicht klar ist, welches Verfahren die besten Ergebnisse bringt, kann diese Phase nach Vorliegen der Auswertungen der nächsten Phase auch mehrmals iterativ durchlaufen werden.

In der fünften Phase wird das geplante bzw. die geplanten Data-Mining Verfahren angewandt. Hier ist je nach Anwendungsfall und Zielsetzung einer der in Abschnitt 7.2 beschriebenen Algorithmen auszuwählen. In dem Fallbeispiel hat sich eine Clusteranalyse bewährt. Bei der Auswahl eines Data-Mining Verfahrens sind auch noch solche Faktoren zu berücksichtigen, die auch üblicherweise bei der Implementierung einer Software eine Rolle spielen. Meist

---

<sup>595</sup> Zur HIPO-Methode siehe Dworatschek (1989), S. 379

<sup>596</sup> Vgl. Wiendahl (2010), S. 270

erfolgt die Softwareauswahl durch den Einsatz einer Nutzwertanalyse auf Basis individuell definierter Kriterien, die in einem Anforderungskatalog zusammengestellt werden. Da zur Spezifikation von Software bereits Standards, wie die vom IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) unter ANSI/IEEE Std 830 veröffentlichten Software Requirements Specification (SRS), existieren, soll eine Abhandlung zur Softwareauswahl nicht Gegenstand dieser Arbeit sein. Hier soll auf die weiterführende Literatur verwiesen werden.<sup>597</sup>

Die Ergebnisse des Data-Mining im engeren Sinne sind neue Muster, Beziehung und Abhängigkeiten, die im Anschluss zuerst validiert und auch interpretiert werden müssen. Zur Unterstützung kann die ganze Palette an Kreativitätstechniken herangezogen werden, wie beispielsweise die 5W-Methode oder ein Ishikawa-Diagramm. Als nächster Schritt kann auch eine nochmalige Datenselektion mit neuen Merkmalen oder die Anwendung eines anderen Data-Mining Verfahrens erforderlich sein. Sind die Ursachen und Einflussfaktoren, welche auf die gewählte Zielgröße wirken, identifiziert, können Planungsregeln und Maßnahmen zur Verbesserung definiert werden.

Nach der Definition von Planungsregeln können diese in einem MES oder APS-System programmtechnisch implementiert werden. Um den Controlling-Regelkreis von Planung und Kontrolle zu schließen, erfolgt in der letzten Phase der Wirkungskontrolle ein Soll-Ist-Vergleich. Dem PDCA-Zyklus entsprechend wird nach der Realisierungsphase (Do) in dieser Check-Phase geprüft, ob die Maßnahmen die gewünschten Verbesserungen bringen. Ist dies der Fall können die neuen Planungsregeln als Standard freigegeben werden und gegebenenfalls für andere Bereiche übernommen werden. Durch die Änderung der Systemgrenzen kann dabei ein neuerlicher Durchlauf der einzelnen Phasen erforderlich sein.

### 7.6 Zusammenfassung und Überleitung

Nachdem nun der Aufbau eines wissensbasierten PPS-Systems und ein Vorgehensmodell zur Ableitung von Planungsregeln aus bestehenden Methoden der Literatur abgeleitet wurde, wurde die folgende Forschungsfrage beantwortet:

*„Mit welchen prozessualen Vorgehen und Methoden lassen sich die in den PPS-Systemen vorliegenden Daten zur Ableitung von Planungsregeln und Verbesserung logistischer Zielgrößen nutzen, und wie muss ein PPS-System dafür aufgebaut sein?“*

Ziel dieses Kapitels war vor allem die Ableitung der einzelnen Schritte mit den verwendeten Methoden aus der Literatur nachvollziehbar darzustellen, sowie grob zu beschreiben. Eine ausführlichere Beschreibung der einzelnen Schritte erfolgt in Kapitel 8 anhand des in Kapitel 5 geschilderten Fallbeispiels. Neben der Konkretisierung widmet sich das folgende Kapitel damit auch der Validierung des Vorgehenskonzeptes.

---

<sup>597</sup> Zum Requirements-Engineering siehe Partsch (2010); zur ökonomischer Beurteilung von Entwicklungsvorhaben im Umfeld des Data Warehousing siehe beispielsweise Jung/Winter (2001)

## 8 Konkretisierung und Validierung des Vorgehenskonzeptes anhand des Fallbeispiels

Zur Validierung des im vorigen Kapitel erläuterten Vorgehenskonzeptes wird dieses anhand einer Problemstellung aus dem in Kapitel 5 beschriebenen Fallbeispiel konkretisiert. Die folgenden Abschnitte sind entsprechend der im Prozessmodell vorgestellten Phasen strukturiert.

### 8.1 Phase 1: Systemabgrenzung und Strukturanalyse

Eine erste Systemabgrenzung erfolgt auf Werksebene durch eine Materialflussübersicht mittels eines Sankey-Diagramms, das für das betrachtete Fallbeispiel eines integrierten Aluminiumwalzwerks bereits ausführlich in 5.2 erläutert wurde. Auf der obersten Stufe ist organisatorisch die zentrale Produktionsplanung angesiedelt, deren Hauptaufgabe in der Grobplanung der Kapazitäten und Grobterminierung der Fertigungsaufträge sowie im allgemeinen Auftragsmanagement besteht. Eine Stufe darunter befinden sich die Fertigungsbereiche nach denen die Fertigung segmentiert bzw. modularisiert ist.

#### 8.1.1 Fertigungsebenen

Mit der Segmentierung der Fertigung wird einerseits die Komplexität der Produktionsplanung und –steuerung reduziert und andererseits die Flexibilität erhöht, indem dadurch eine leichtere Anpassung an veränderte Rahmenbedingungen möglich ist. Zusammen mit einer Verbesserung der Übersichtlichkeit der Abläufe wird durch die Modularisierung der Fertigung die Voraussetzung für den Einsatz von PPS-Systemen geschaffen.<sup>598</sup> Die Segmentierung des Produktionssystems kann prinzipiell verfahrens- bzw. fertigungsvorgangsorientiert, produkt- bzw. prozessorientiert oder teilprozessorientiert vorgenommen werden:<sup>599</sup>

- (1) Bei der verfahrensorientierten Strukturierung werden ähnliche Ressourcentypen bzw. Arbeitsplatzarten zu Segmenten aggregiert. Als Ähnlichkeitsmerkmale für die Aggregation können Bedienungsqualifikation, Mechanisierungs- bzw. Automatisierungsgrad, Größe oder andere Merkmale herangezogen werden.
- (2) Bei einer produktorientierten Strukturierung werden die Fertigungssegmente nach Produkt- und Kundengruppen gebildet. Die Anlagen bzw. Arbeitsplätze werden so zusammengefasst, dass Produkte mit ähnlichen Prozessen möglichst vollständig bearbeitet werden können. Im Extremfall wird in jedem Fertigungssegment autonom eine Produktgruppe bzw. Teilefamilie hergestellt.
- (3) Eine teilprozessorientierte Strukturierung vereint die Vorteile der verfahrens- und der produktorientierten Strukturierung. Die Fertigungsplätze werden so segmentiert, dass in einem Segment bestimmte Teilprozesse bzw. Arbeitsgangfolgen durchgeführt werden können und ein gerichteter Werkstückfluss über die Segmente entsteht. Damit ist die Autonomie im Vergleich zu verfahrensspezialisierten Fertigungsbereichen wesentlich höher, während der Ähnlichkeitsgrad deutlich geringer ist.

---

<sup>598</sup> Vgl. Kistner/Steven (2001), S. 242

<sup>599</sup> Vgl. Schenk et al. (2004), S. 190f

Im Fallbeispiel erfolgt die Strukturierung der in Abbildung 93 dargestellten Fertigungssegmente mehrstufig. Während der Warmwalzbereich aufgrund der Verkettung der Anlagen zunächst verfahrensorientiert strukturiert ist, erfolgt danach eine grobe produktorientierte Zweiteilung in abhängig von der Dicke des Walzproduktes. Produkte ab einer gewissen Dicke, deren Grenzwert von der Legierung abhängt, werden als Platten im Plattenbereich weiterbearbeitet. Dünnere Produkte gehen als Bänder zunächst weiter in den Kaltwalzbereich. Die Fertigungsstruktur entspricht damit einer teilprozessorientierten Segmentierung, die eine erhöhte Flexibilität aber aufgrund der bestehenden Abhängigkeiten keine vollständige Autonomie der dezentralen Verantwortungsbereichen ermöglicht. Die Wechselbeziehungen sind durch die Materialflüsse zwischen den Fertigungsbereichen skizziert. Diese Ebene bildet die Basis für die dezentrale Feinplanung bzw. Fertigungssteuerung und kann in der nächsten Stufe 3 weiter in einzelne Linien bzw. Anlagengruppen untergliedert werden. Die Zusammenfassung erfolgt dabei meist aufgrund ähnlicher Anlagen. Diese Ebene bildet die Basis für die Grobkapazitätsplanung. Auf der untersten Stufe 4 befinden sich die einzelnen Anlagen oder sonstigen Arbeitsplätze. Diese Ebene bildet die Basis für die Feinplanung der Fertigungssteuerung. Neben den Anlagen sind in dieser Stufe auch externe Arbeitsvorgänge, wie beispielsweise externe Qualitätsprüfungen, und auch Lagerplätze aufzunehmen, damit die Materialflüsse mit den Vorgänger- und Nachfolgerbeziehungen vollständig dargestellt werden können. Diese unterste Ebene bildet die Ausgangsbasis für die folgenden Analysen der anlagenbezogenen bzw. vorgangsbezogenen Durchlaufzeiten und Produktionskennlinien. Im nächsten Schritt wurde das Mikrosystem, d.h. die Vor- und Nachfolgerbeziehungen, einer auszuwählenden fokalen Anlage untersucht.

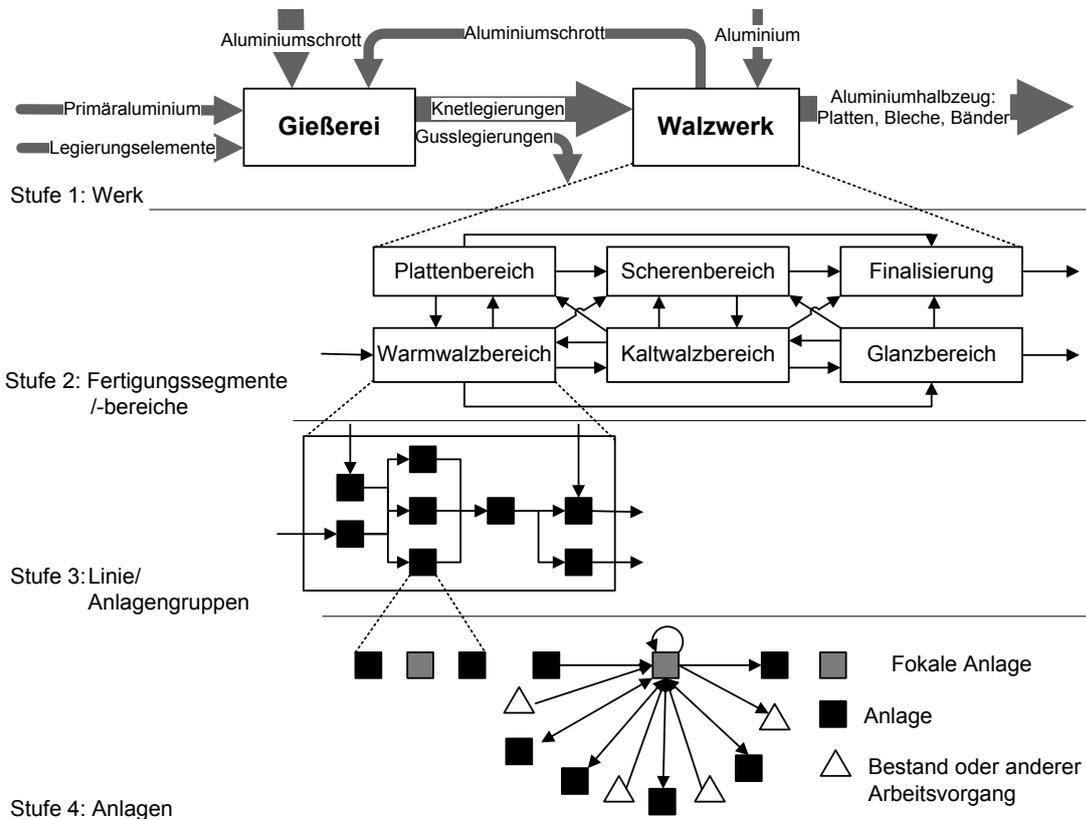


Abbildung 93: Ebenen des Produktionssystems<sup>600</sup>

<sup>600</sup> Quelle: in Anlehnung an Rainer (2013), S. 208

### 8.1.2 Abgrenzung des anlagenbezogenen Mikrosystems

Zu Beginn wurde auf Anlagenebene der Stufe 4 ein Kaltwalzgerüst im Kaltwalzbereich ausgewählt, das sich oft als Engpass im gesamten System herausgestellt hat. Das Mikrosystem der betrachteten kurz mit KQ bezeichneten Anlage ist anhand eines gerichteten Graphen in Abbildung 94 dargestellt. Diese Sicht enthält eine qualitative Übersicht aller Zugänge zu allen Stichen, mit den jeweiligen Vorgänger-Schritten und Zwischenschritten bis zum letzten Stich. Die rechteckigen Knoten stellen dabei Anlagen mit ihren Kurzbezeichnungen dar, die jedoch zunächst nicht näher beschrieben werden sollen. Die dreieckigen Knoten symbolisieren andere Vorgänge, wie beispielsweise Prüfungen, oder Bestände, wie beispielsweise ein Zwischenlager. Die Kanten stellen die Materialflüsse und die Pfeile die Richtungen des Materialflusses dar.

Durch diese Visualisierung können die involvierten Vorgängeranlagen bzw. –vorgänge und Nachfolgeranlagen bzw. –vorgänge identifiziert werden, um einen ersten groben Überblick über die Komplexität der Materialflüsse und über die möglichen Wechselbeziehungen zu bekommen. Die Kreise bei den Anlagen deuten auf intraanlagenbezogene zyklische Materialflüsse innerhalb einer Anlage hin. Beispielsweise sind auf dem Walzgerüst mehrere Stiche hintereinander möglich. Darüber hinaus sind auch interanlagenbezogene zyklische Materialflüsse zwischen den Anlagen ersichtlich, wie beispielsweise von KQ-BB-KQ und retour oder KQ-BDZ-KQ. Die Positionierung der Knoten erfolgt nach dem Harel-Koren Fast Multiscale Algorithmus auf Basis der qualitativen Beziehungen zwischen den einzelnen Anlagen, d.h. der Anzahl der Ein- und Ausgangskanten.<sup>601</sup>

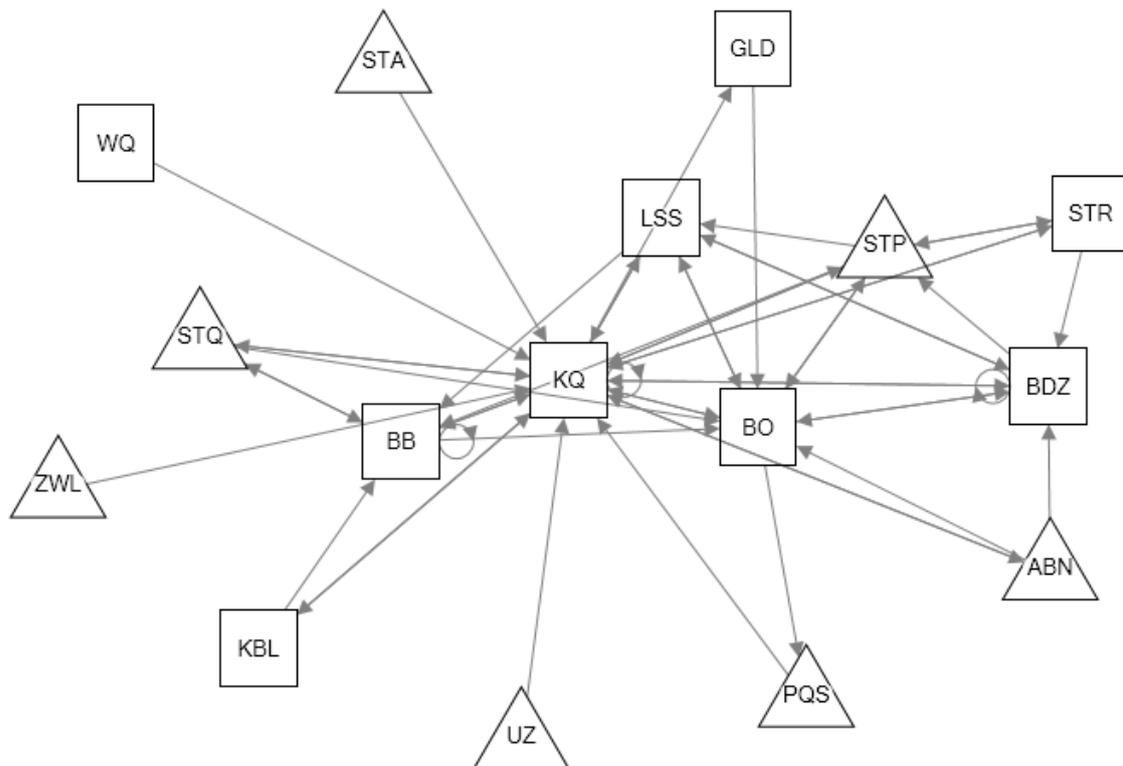


Abbildung 94: Mikrosystem KQ – Zugänge mit allen Zwischenschritten

<sup>601</sup> Die Erstellung der Graphen erfolgte mit dem Excel AddInn Microsoft Node XL, siehe <http://nodexl.codeplex.com/>. Zum Harel-Koren Fast Multiscale Algorithmus siehe Harel/Koren (2004)

Zur weiteren Analyse des intraanlagenbezogenen Zyklus bei der betrachteten Anlage KQ, wurden diese vorgangsbezogen nach den einzelnen Stichen weiter in KQ1 bis KQ8 untergliedert. KQ1 steht für den ersten Stich eines Fertigungsauftrags. Der Graph ist wieder nach dem Harel-Koren Fast Multiscale Algorithmus in Abbildung 95 dargestellt. Dabei ist ersichtlich, dass es sich beim Knoten KQ1 um den ersten Stich handelt, da dieser Knoten durch sehr viele eingehende singuläre Beziehungen, wie von ZU, ZWL, STA, WQ, gekennzeichnet ist. Dies würde einer Fließfertigung entsprechen, danach ist jedoch eine für die Werkstattfertigung typische Zunahme der Materialflusskomplexität deutlich zu erkennen. Beispielsweise kann es nach dem ersten Stich von KQ1 weiter gehen mit dem zweiten Stich KQ2 oder zuerst zu BO oder BB und dann zu KQ2. Nachdem zweiten Stich KQ2 kann es beispielsweise wiederum weiter zu BB gehen oder weiter zum dritten Stich KQ3 und so weiter. Aus der Abbildung des Mikrosystems einer einzigen Anlage auf der untersten Ebene des Produktionssystems ist ersichtlich, dass es sich bei den betrachteten Gesamtsystem auf der Ebene 1 um ein komplexes System handelt. Eine Gesamtdarstellung aller möglichen Materialflüsse ist für das gesamte Walzwerk schwer möglich bzw. nicht mehr sehr transparent. Daher wird zunächst nur eine Anlage betrachtet.

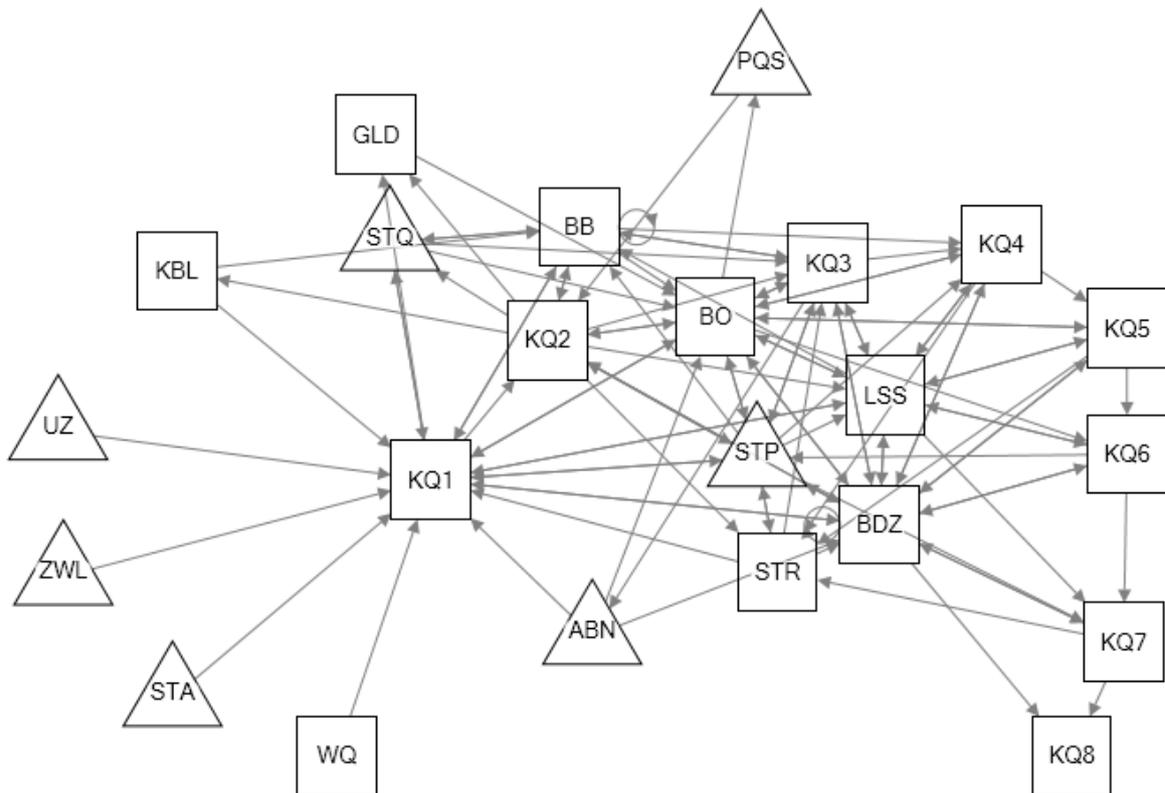


Abbildung 95: Mikrosystem KQ – Zugänge mit allen Zwischenschritten je Stich

Nachdem nun eine Systemabgrenzung vorgenommen wurde und die Beziehungen zu den Vorgängeranlagen bzw. -vorgängen für eine Anlage qualitativ ermittelt wurden, stellt sich einerseits die Frage nach einer quantitativen Bewertung dieser Beziehungen als auch die Frage in welche Richtung die weitere Analyse gehen soll. Die Beantwortung der ersten Frage kann einfach durch Erhebung der jeweiligen Mengenflüsse erfolgen und ist in Abbildung 96 und Abbildung 97 dargestellt, wobei sich die Dicken der Kanten aus dem Mengenfluss ergibt. Mit der zweiten Frage beschäftigt sich die nächste Phase der Zielformulierung.

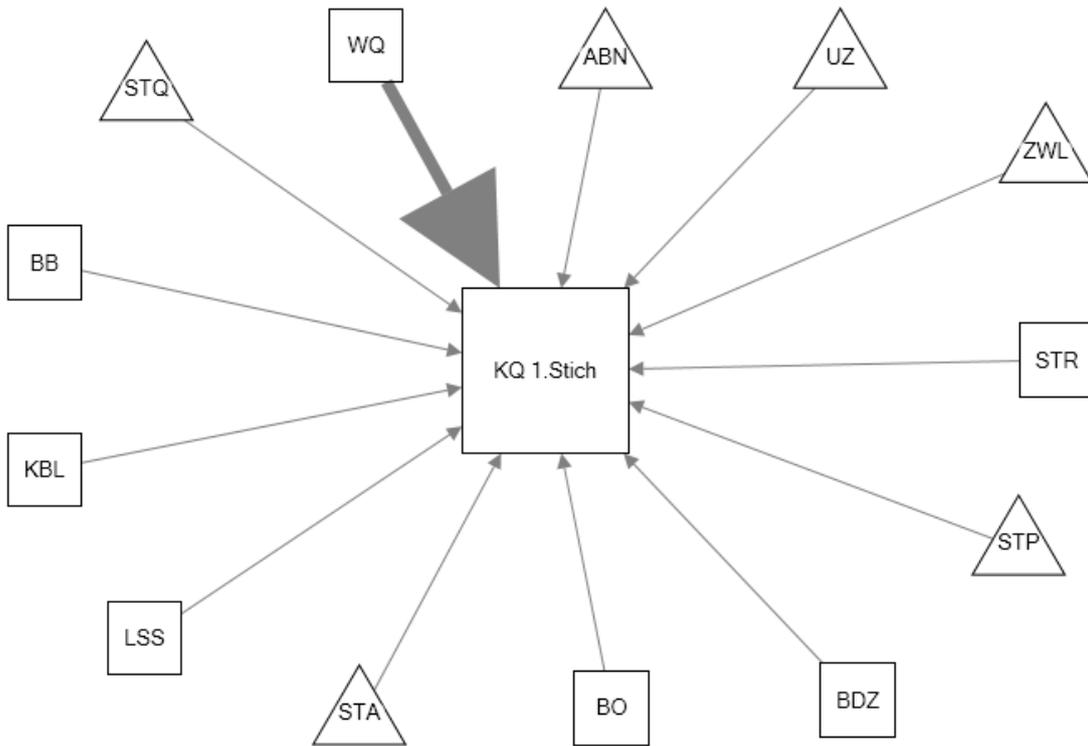


Abbildung 96: Zugänge mit Vorgänger vor erstem Bearbeitungsvorgang auf der fokalen Anlage KQ

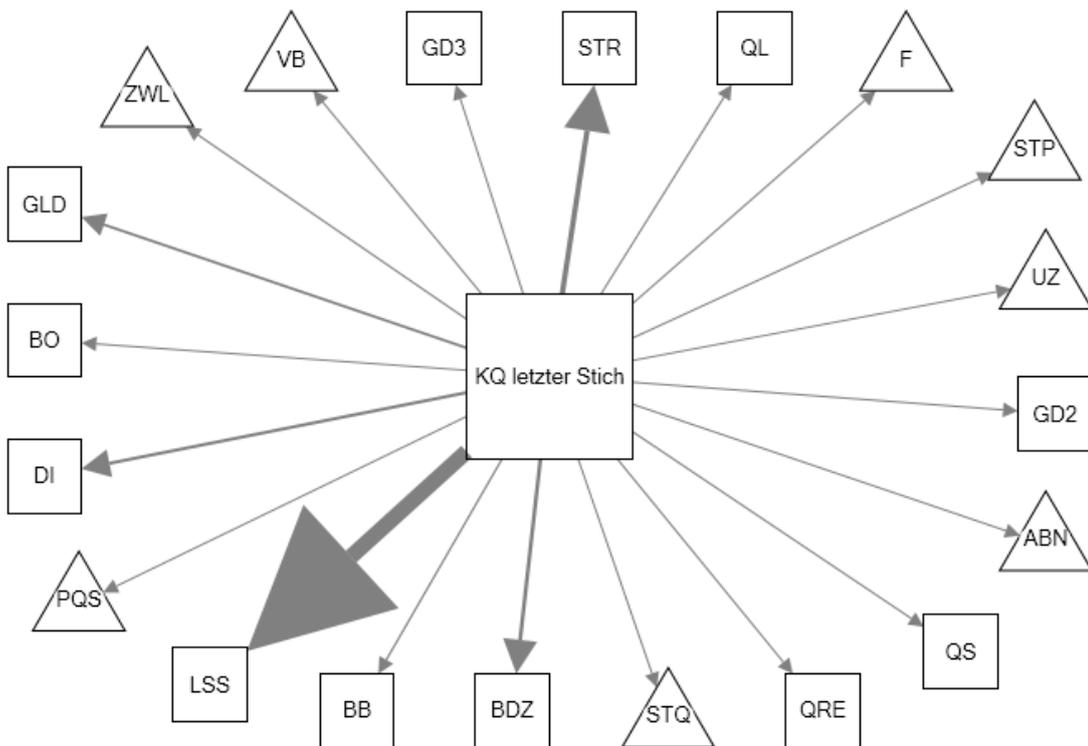


Abbildung 97: Abgänge mit Nachfolger nach letztem Bearbeitungsvorgang auf der fokalen Anlage KQ



verbundenen hohen Durchlaufzeiten, da hohe Durchlaufzeiten zu einer höheren Streuung und somit höheren Planungsungenauigkeit führt. Kurze Durchlaufzeiten sollten zunächst auch eine höhere Planungssicherheit ergeben, jedoch kann ein zu geringer Arbeitsvorrat vor den Anlagen zu Leistungseinbußen führen, womit sich eine schlechtere Liefertreue ergibt. Die Bildung von Produktionskennlinien kann prinzipiell mittels drei unterschiedlichen Ansätzen erfolgen:<sup>604</sup>

- experimentell mittels Simulation,
- deduktiv mittels Warteschlangentheorie oder
- deduktiv-experimentell mittels der Kennlinientheorie.

Da sich in der Praxis vor allem die Kennlinientheorie vielfach bewährt hat, wurde dieser Ansatz zunächst gewählt. Mit dem deduktiv-experimentellen Ansatz können die Abhängigkeiten zwischen den logistischen Zielgrößen in der Produktion mit einem mathematischen Modell modelliert und über eine Näherungsgleichung berechnet werden. Die Anwendung des Kennlinienmodells ist an gewisse Voraussetzungen gebunden, die aus der Modellstruktur und den Modellparametern ableitbar sind.<sup>605</sup> Die Berechnung der idealen Kennlinien wie die Durchlaufzeit- und Übergangszeitkennlinien kann nur unter der Voraussetzung einer auftragszeitunabhängigen Reihenfolgeregel, wie dies bei einer Abfertigung nach dem FIFO-(First-In-First-Out)-Prinzip beispielsweise der Fall ist, über mathematische Beziehungen abgeleitet werden.<sup>606</sup> Nyhuis zeigte aber, dass sich die Kennlinientheorie als ein insgesamt recht fehlertolerantes und robustes Modell erwiesen hat. Auch wenn einzelne der erforderlichen Parameter nicht oder nur näherungsweise vorliegen oder gewisse Bedingungen nicht erfüllt sind, schließt dies eine Berechnung der Produktionskennlinien nicht von vornherein aus.<sup>607</sup> Auch wenn es im betrachteten Arbeitssystem, wie in der Prozessindustrie üblich, reihenfolgeabhängige Rüstzeiten gibt, kann das Modell somit trotzdem einen ersten Einblick und Überblick über die aktuellen logistischen Zielgrößen verschaffen. Die errechneten Werte für die idealen Kennlinien sowie idealen Mindestbestände sind jedoch kritisch zu hinterfragen, da die Aussagen des Modells dadurch mehr oder weniger stark eingeschränkt sein können.

Zur Berechnung der Kennlinien wurden die folgenden Kennzahlen und Formeln verwendet, die auf dem dahinterstehenden Trichtermodell basieren.

### **Auftragszeit**

Als zentrale Größe für das Trichtermodell und den darauf aufbauenden Modellansätzen umfasst die Auftragszeit ZAU die Vorgabezeit, die für die Ausführung eines Arbeitsvorganges an einem Arbeitsplatz bzw. allgemein an einem Arbeitssystem notwendig sind. Zur Berechnung wird die Rüstzeit je Los  $t_r$  in Minuten und die einzelnen Zeiten  $t_e$  je Mengeneinheit ME in Minuten sowie die Losgröße  $x$  in der jeweiligen Mengeneinheit ME benötigt:<sup>608</sup>

---

<sup>604</sup> Vgl. Nyhuis (2008), S. 188f

<sup>605</sup> Vgl. Nyhuis/Wiendahl (2012), S. 120f

<sup>606</sup> Vgl. Schuh (2006), S. 478

<sup>607</sup> Vgl. Nyhuis/Wiendahl (2012), S. 122

<sup>608</sup> Vgl. Nyhuis/Wiendahl (2012), S. 17–23

$$ZAU = \frac{x \cdot t_e + t_r}{60}$$

Der Mittelwert  $ZAU_m$  aller Aufträge  $i$  mit individuellen Auftragszeiten je Arbeitsvorgang  $ZAU_i$  berechnet sich bei einer Auftragsanzahl von  $n$  mit:

$$ZAU_m = \frac{\sum_{i=1}^n ZAU_i}{n}$$

Die Streubreite der Verteilung wird durch die Standardabweichung berechnet:

$$ZAU_s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (ZAU_m - ZAU_i)^2}{n}}$$

Mithilfe des Variationskoeffizienten  $ZAU_v$  kann aus dem Verhältnis der zwei obigen Kennzahlen die Variabilität von verschiedenen Verteilungen verglichen werden:

$$ZAU_v = \frac{ZAU_s}{ZAU_m}$$

Wenn statt den Auftragszeiten, die in Vorgabeminuten oder –stunden berechnet werden, die Dauer der Kapazitätsbelegung in der Einheit Betriebskalendertage interessiert, erhält man diese als Durchführungszeit ZDF durch Division der Auftragszeit ZAU mit der maximal möglichen Leistung  $L_{max}$  der Kapazitätseinheit:

$$ZDF = \frac{ZAU}{L_{max}}$$

Für maximale mögliche Leistung in der Einheit Stunden je Betriebskalendertag wird meist vereinfachend die Kapazität des Arbeitssystems verwendet, ohne Störzeiten zu berücksichtigen, an denen das Arbeitssystem nicht verfügbar ist.

### Durchlaufzeiten

Die Berechnung der Durchlaufzeitanteile erfolgt wie im Abschnitt 3.4 beschrieben. Wenn das Startdatum des Rüstens bekannt ist, kann die Durchführungszeit ebenfalls so wie die Durchlaufzeit ermittelt werden. Liegen diese Rückmeldedaten nicht auftragsbezogen vor, kann auch die obige Formel für ZDF verwendet werden. Mit der Durchlaufzeit je Arbeitsvorgang und der Durchführungszeit je Arbeitsvorgang ergibt sich die Übergangszeit ZUE:

$$ZUE = ZDL - ZDF$$

Mit diesen Kennzahlen kann ein Durchlaufdiagramm auf Basis des Trichtermodells erstellt werden. Nach der Trichterformel wird die mittlere Durchlaufzeit  $DLZ_m$  durch das Verhältnis zwischen dem mittleren Bestand  $B_m$  und der mittleren Leistung  $L_m$  berechnet:<sup>609</sup>

$$DLZ_m = \frac{B_m}{L_m}$$

<sup>609</sup> Vgl. Kurbel (2005), S. 182

Dieselbe Formel findet sich in der Warteschlangentheorie, wo die mittlere Verweildauer  $W$  in einem Warteschlangensystem durch die mittlere Anzahl der Objekte im System und die mittlere Ankunftsrate  $\lambda$  nach der Formel von Little bestimmt wird.<sup>610</sup>

$$W = \frac{L}{\lambda}$$

Das in Abbildung 99 veranschaulichte Trichtermodell versucht somit das Durchlaufverhalten jeder beliebigen Kapazitätseinheit in der Produktion durch die Größen Zugang, Bestand und Abgang vollständig zu beschreiben.<sup>611</sup>

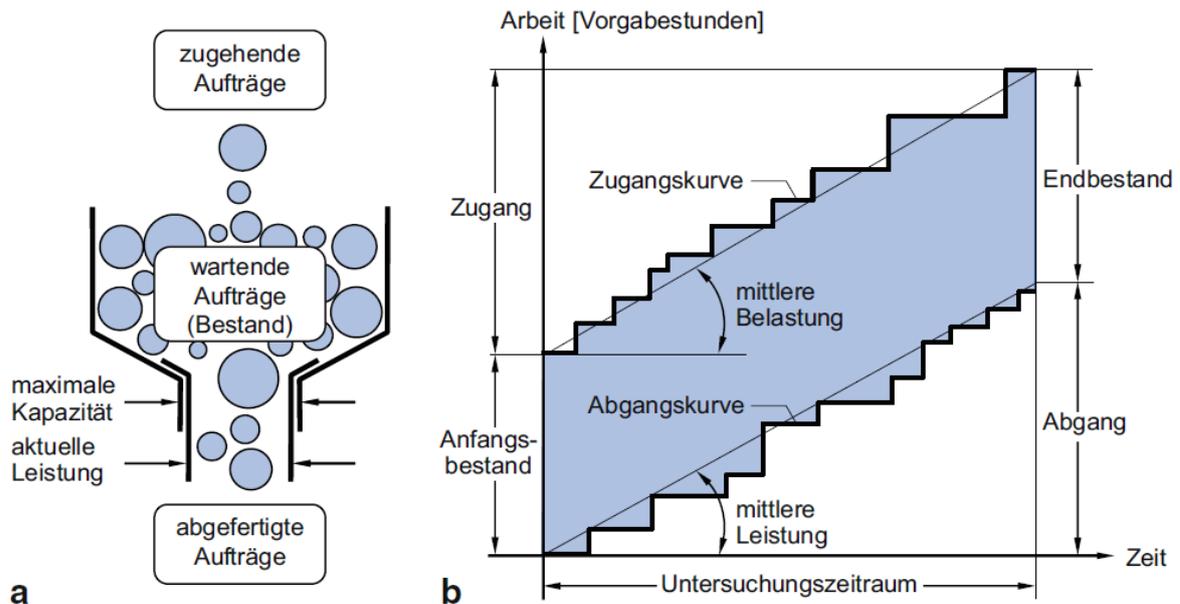


Abbildung 99: Trichtermodelle a und Durchlaufdiagramm b<sup>612</sup>

Das Durchlaufdiagramm in Abbildung 100 zeigt den Verlauf der Zugänge und Abgänge für das Jahr 2010 für die betrachtete Anlage. Klar ersichtlich ist ein Knick der mittleren Leistung. Die mittlere Leistung  $L_m$  ergibt sich als Summe der im Bezugszeitraum  $P$  zurückgemeldeten Arbeitsstunden  $AS$ :

$$L_m = \frac{\sum_{i=1}^n ZAU_i}{P}$$

Nach ca. einem Drittel der betrachteten Zeitspanne sinkt die mittlere Leistung, die sich aus dem durchschnittlichen Abgang je Zeiteinheit ergibt, deutlich. Der Bestandsverlauf in Abbildung 101 erklärt diesen Leistungsverlust durch einen ebenfalls gesunkenen Arbeitsvorrat auf der Zugangsseite. Die ermittelten Daten und die Anwendung des Durchlaufdiagrammes scheinen zunächst logisch und wurden von den Mitarbeitern auch als plausibel erachtet. Damit lassen sich mit Hilfe der Produktionskennlinien plausible Aussagen und Erklärungen bezüglich Bestände und Leistung vornehmen.

<sup>610</sup> Vgl. Missbauer (1998), S. 94

<sup>611</sup> Vgl. Nyhuis/Wiendahl (2012), S. 25

<sup>612</sup> Quelle: Nyhuis/Wiendahl (2012), S. 25

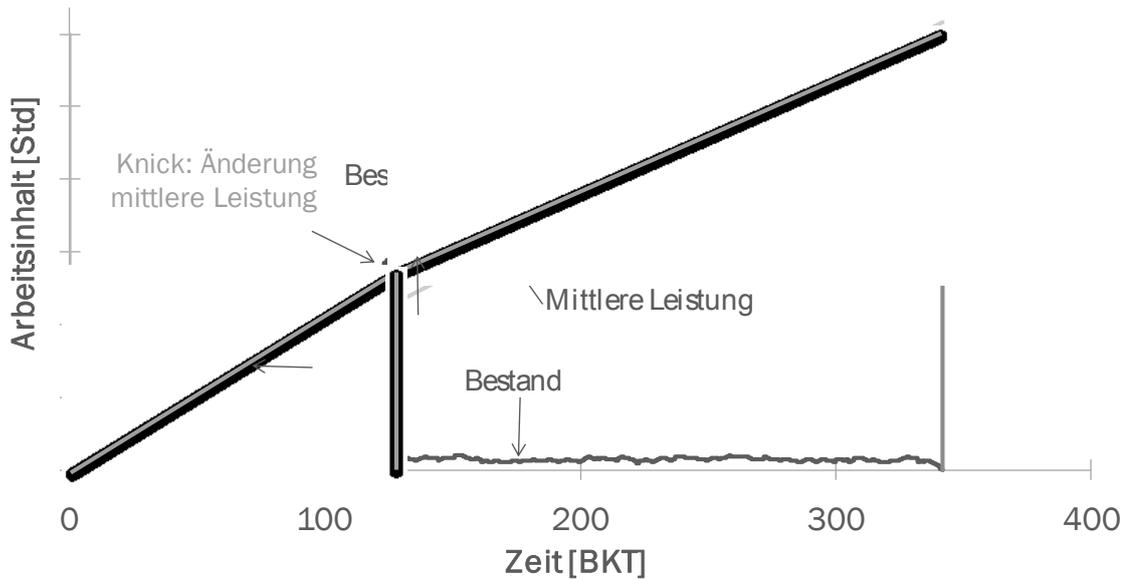


Abbildung 100: Durchlaufdiagramm an der betrachteten Anlage

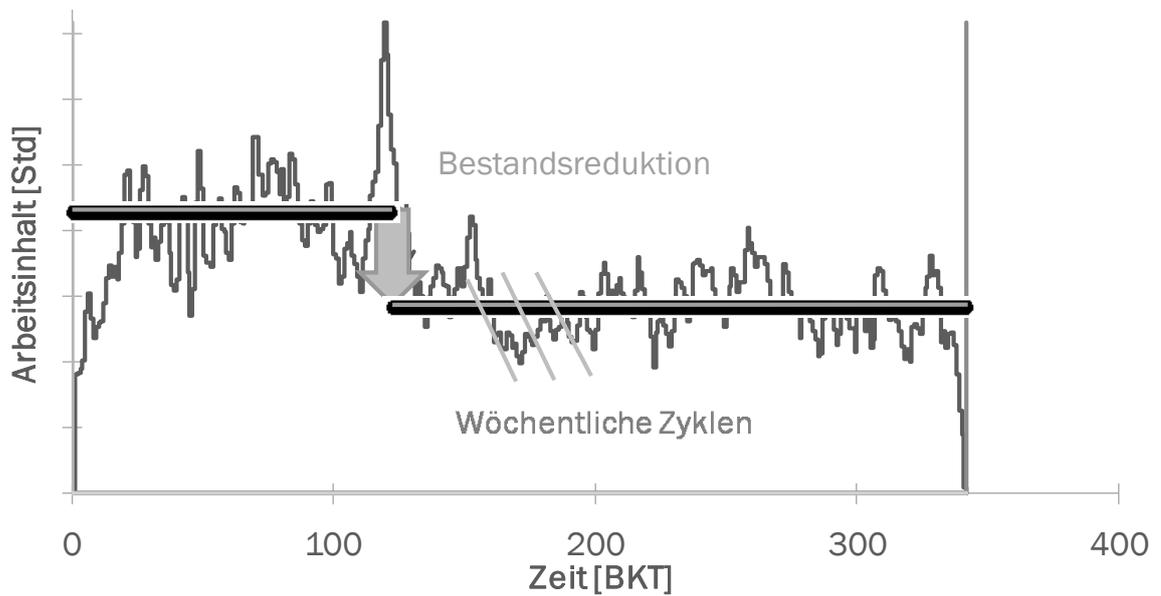


Abbildung 101: Bestandsverlauf an der betrachteten Anlage

Die Auftragszeiten am Kaltwalzgerüst nehmen sehr unterschiedliche Werte an und ergeben sich insbesondere durch die unterschiedliche Anzahl an erforderlichen Stichen und auch aufgrund unterschiedlicher Produktionsgeschwindigkeiten, die je nach Werkstoff möglich sind. Auffallend ist die linksschiefe Verteilungsform in Abbildung 102, die sich bereits mehrmals in der Praxis als typisch herausgestellt hat.<sup>613</sup>

<sup>613</sup> Vgl. Nyhuis/Wiendahl (2012), S. 18

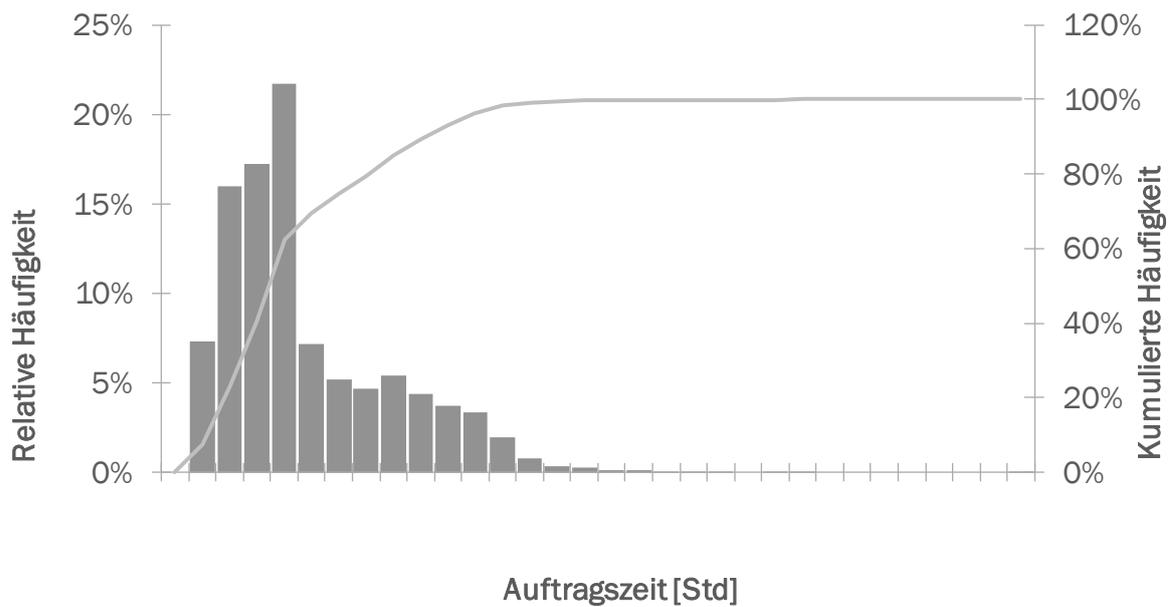


Abbildung 102: Verteilung der Auftragszeiten am Kaltwalzgerüst

Bei der Verteilung der Durchlaufzeiten zeigt sich ebenfalls eine typische linksschiefe Verteilungsform, die jedoch auch noch eine große Streubreite der Einzelwerte aufweist.

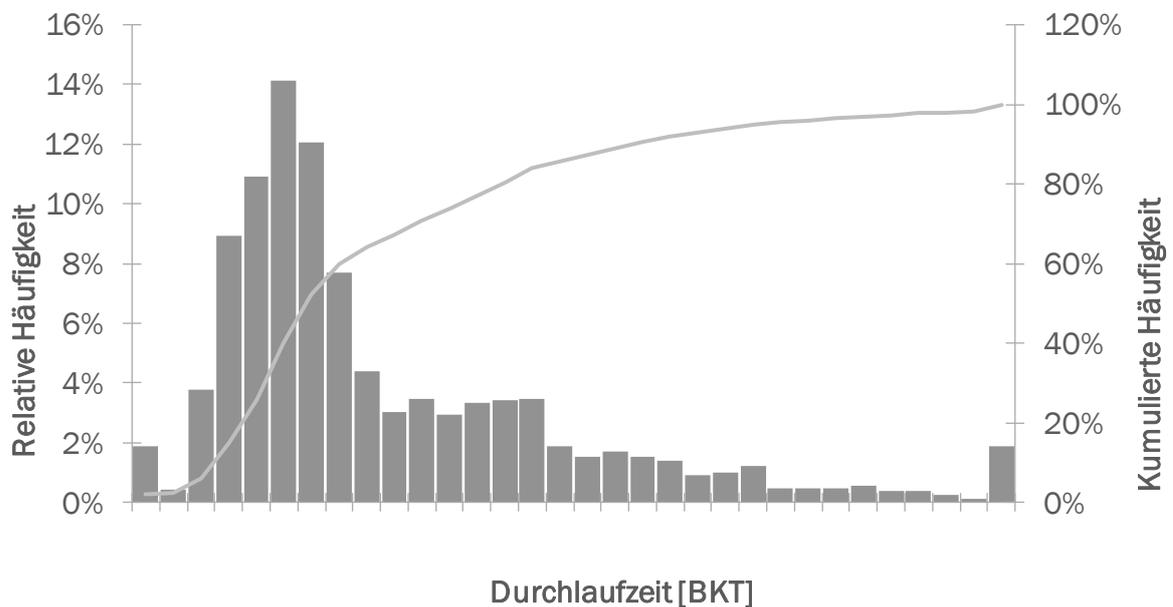


Abbildung 103: Verteilung der Durchlaufzeiten am Kaltwalzgerüst

In Abbildung 104 sind die resultierenden Kennlinien bei einer eingestellten Mindestübergangszeit von 48 Stunden und einem Streckfaktor von 10 dargestellt. Die Mindestübergangszeit ergibt sich durch die im Mittel benötigte Abkühlzeit nach der Warmlinie. Dabei ist aber anzumerken, dass dieser Wert nur einen groben und für eine erste Einschätzung hinreichend genauen Richtwert darstellt, da zwar die meisten, aber nicht alle Aufträge direkt von der Warmlinie kommen und eine Abkühlzeit erfordern.

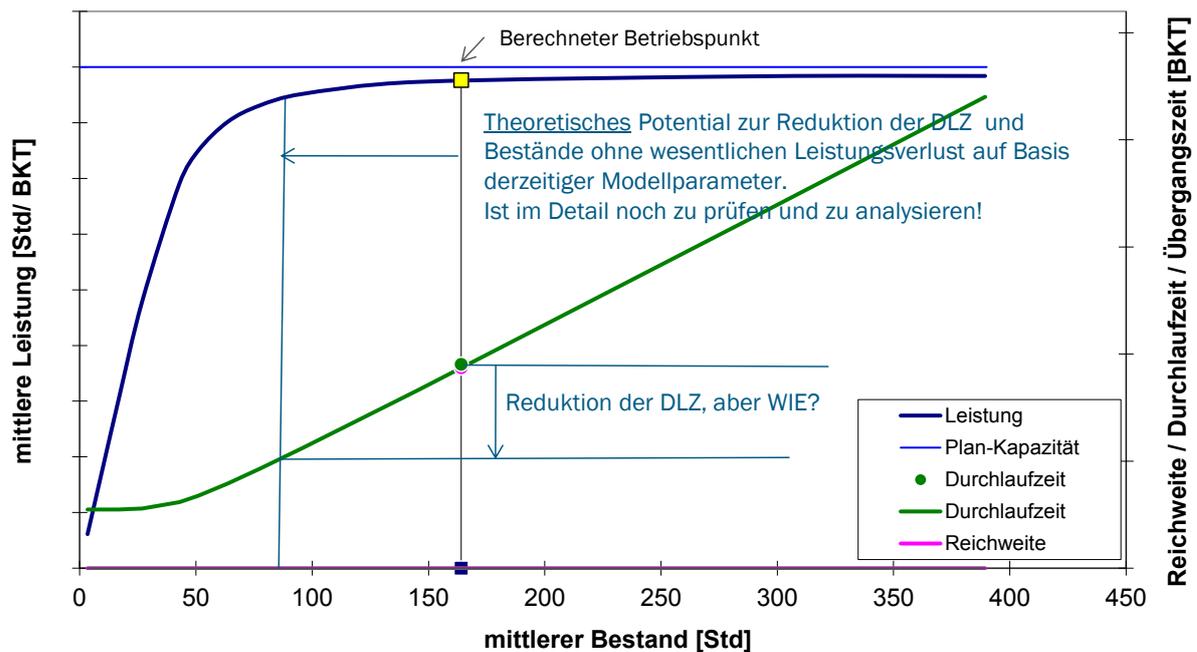


Abbildung 104: Produktionskennlinien Kaltwalzgerüst

Die Kennlinien zeigen ein erhebliches Potential die Durchlaufzeit durch Reduktion des Bestandes vor der betrachteten Anlage zu senken, ohne wesentliche Leistungseinbußen hinnehmen zu müssen. Analog zu den Durchlaufdiagrammen lässt sich konstatieren, dass das Modell und die Theorie der Produktionskennlinien für den konkreten Fall zunächst angewandt werden kann, um eine erste grobe Einschätzung und Abschätzung potentieller Verbesserungen logistischer Zielgrößen zu ermitteln. Dabei bleibt jedoch noch die Frage offen, wie eine Verbesserung erreicht werden soll? Das Standardmodell berechnet hierzu einfach einen idealen Mindestbestand. Für das Beispiel errechnet dieses Modell einen um 337% erhöhten mittleren Bestand und schlägt somit eine Reduktion der Bestände auf ein Drittel des bisherigen Bestandsniveaus vor. Auch wenn die einzelnen Modellparameter sicher noch nachjustiert werden können, scheinen diese Werte in der Praxis nicht realistisch umsetzbar zu sein. Zum einen ist dies auf die reihenfolgeabhängigen Rüstzeiten und die durch den schwankenden Produktmix starken Streuungen der Auftragszeiten zurückzuführen, zum anderen auf die spezifischen Arbeitsfolgen an der Anlage sowie auf der zugrundeliegenden Datenstruktur. Mit der Analyse der Datenstruktur beschäftigt im Anschluss an die Phase der Zielformulierung der Abschnitt 8.3.

Kennemann et al. haben bereits gezeigt, dass etablierte Ansätze des Produktionscontrollings wie die Theorie der logistischen Kennlinien bei einer steigenden Dynamik und Komplexität, bedingt durch die fortschreitende Globalisierung und die zunehmende Individualisierung der Produkte, auf ihren Grenzen stoßen. Insbesondere ist die Kennlinientheorie den dynamischen Marktanforderungen, wie beispielsweise stark schwankenden Losgrößen, derzeit noch nicht gewachsen. Auch wenn sich der mittelwertbasierte Ansatz zwar in Theorie und Praxis bewährt hat, ist damit kein zeitnahe dynamisches Controlling von Produktionsprozessen möglich.<sup>614</sup>

<sup>614</sup> Vgl. Kennemann et al. (2010), S. 865

## 8.2.2 Logistische Positionierung und Ableitung der Zielgröße

Auch wenn die ersten Berechnungen noch mit einer Ungenauigkeit behaftet sind, zeigen die Ergebnisse der Produktionskennlinien ein gewisses Potential zur Reduktion der Durchlaufzeit ohne wesentlich die Anlagenauslastung zu reduzieren. In weiterer Folge wird daher das Ziel verfolgt die Durchlaufzeiten näher zu analysieren und konkrete Verbesserungsmaßnahmen durch Identifikation der Ursachen bzw. Treiber von hohen Durchlaufzeiten zu identifizieren. Daraus lässt sich die in Abbildung 105 dargestellte Strategie ableiten. Anhand des dargestellten Portfolios erfolgt eine grobe logistische Positionierung zu Projektbeginn, um die Richtung für die Data-Mining Analysen vorzugeben.<sup>615</sup> Nach Einführung von TPM und einer im Unternehmen etablierten KAIZEN-Philosophie sowie einer starken Fokussierung auf Verbesserung der Gesamtanlageneffektivität, kann die Anlagenperformance, als überdurchschnittlich eingestuft werden.<sup>616</sup> Demnach wurde der Ausgangspunkt für die weiteren Analysen im linken oberen Quadranten festgelegt. Als Ziel wird ein bestimmter Zielkorridor vorgegeben. Befindet sich der Betriebspunkt im Überlastbereich, kann nach der Kennlinientheorie eine geringfügige Reduktion der Anlagenauslastung zu einer wesentlichen Verbesserung der Durchlaufzeiten zur Erreichung eines Gesamtoptimums beitragen. Eine genaue Bestimmung und damit ökonomische Bewertung des optimalen Betriebspunktes ist jedoch nicht Ziel dieser Arbeit.

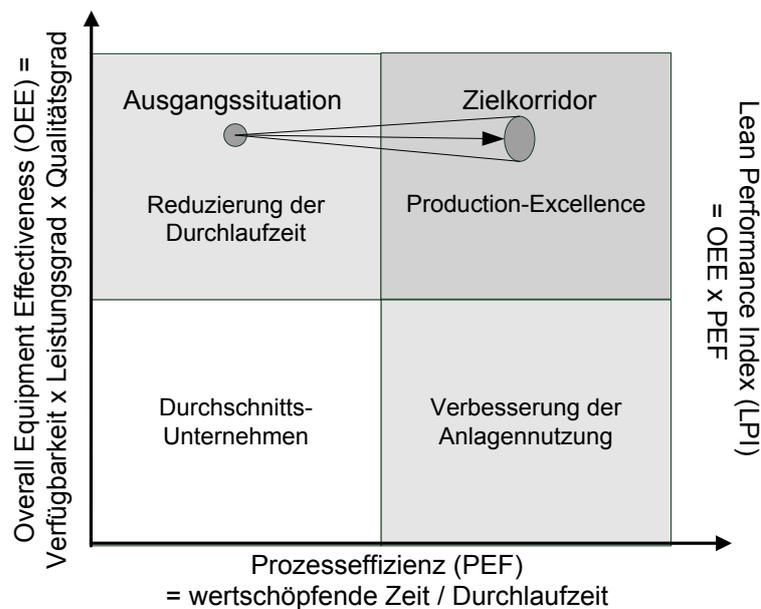


Abbildung 105: Logistische Positionierung am Fallbeispiel

### Definition der Durchlaufzeit

Im nächsten Schritt ist die zu analysierende Zielgröße in dieser Phase zu definieren. Abgeleitet aus den Definitionen der Durchlaufzeitanteile in Abschnitt 3.4 wurde für die folgende Data-

<sup>615</sup> Anstelle von Optimierung wird die Auswahl der zu optimierenden logistischen Zielgröße als logistischer Positionierung bezeichnet, vgl. Nyhuis/Wiendahl (2012), S. 174

<sup>616</sup> Die stark ausgeprägte KAIZEN-Philosophie mit einem sehr gut in der Organisation verankertem KVP-System zeigt sich auch darin, dass das Unternehmen in den letzten Jahren Gewinner des KVP-Preises im gesamten deutschsprachigen Raum war. Durch die starke Fokussierung auf anlagenbezogene Verbesserungen ergibt sich eine überdurchschnittlich hohe Bewertung der Anlageneffektivität.

Mining Analyse der Durchlaufzeiten die Übergangszeit in Betriebskalendertagen auf Vorgangsebene wie folgt formuliert:

$$DLZ\_UEZ\_BKT-TWA = TBE - \text{Bearbeitungszeit} - TBEV + TWA$$

mit DLZ\_UEZ\_BKT-TWA Übergangszeit in Betriebskalendertagen abz. TWA  
 TBE Termin Bearbeitungsende der Anlage aus Rückmeldung  
 Bearbeitungszeit Kumulierte rückgemeldete Bearbeitungszeit der Anlage  
 TBEV Termin Bearbeitungsende Vorgänger aus Rückmeldung  
 TWA Geplante technologische Wartezeit aus Arbeitsplan

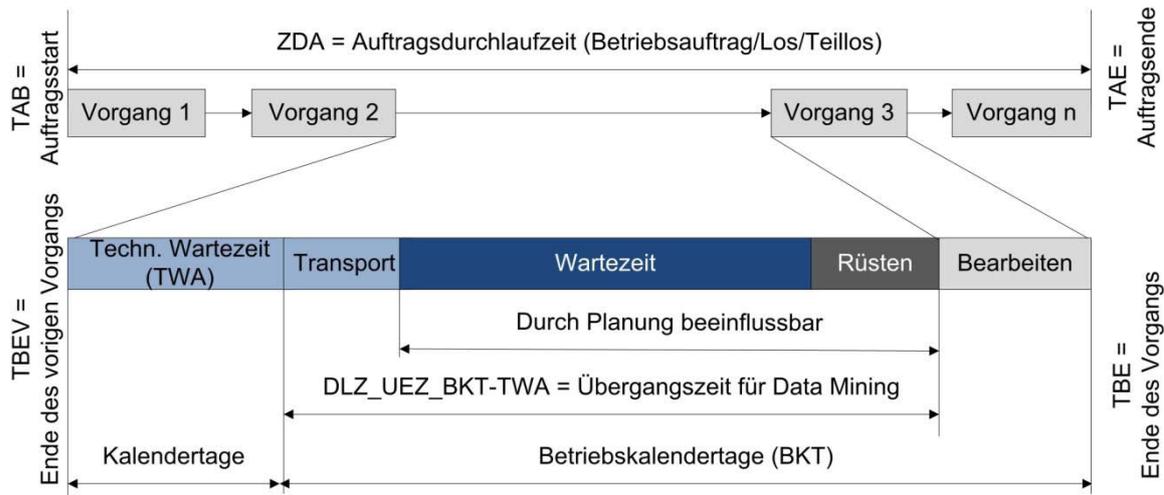


Abbildung 106: Definition der Durchlaufzeitanteile

### 8.3 Phase 3: Analyse der Datenstruktur

Eine nähere Betrachtung der Arbeitsfolgen an einem Walzgerüst zeigt, dass die Definition eines Arbeitsvorganges und der damit verbundenen Zeitpunkte für die Berechnung der Durchlaufzeitanteile für ein Walzgerüst genauer zu untersuchen sind. Ausgangspunkt für die Berechnungen der Produktionskennlinien war die oberste Darstellung in Abbildung 107, bei der das Kaltwalzen als ein Vorgang betrachtet wurde.

Das Zugangsdatum ergibt sich dabei aus dem Endedatum der Vorgängeranlage, gegebenenfalls noch mit Berücksichtigung von technologisch bedingten Liegezeiten. Als Abgangsdatum diente ursprünglich das Fertigstellungsdatum des Kaltwalzens. Dabei gilt es aber zu berücksichtigen, dass ein Kaltwalzvorgang in weitere Untervorgänge unterteilt werden muss, und zwar je Stich in einen Untervorgang. Bei der Stichabfolge kann es vorkommen, dass zwischen den einzelnen Stichen entweder das Band abgekühlt werden muss, eine andere Anlage dazwischen angefahren werden muss oder ein Walzenwechsel durchgeführt werden muss. Auch wenn dies nicht der Fall ist können zwei aufeinanderfolgende Stiche eines Auftrags nie direkt hintereinander durchgeführt werden. Da es sich um kein reversierendes Walzgerüst handelt, müssen die Bänder jeweils mit einem Conveyer-System wieder vorne eingespannt werden. Während dieser Zeit werden auf der Anlage andere Aufträge unter Berücksichtigung der in Abschnitt 5.3.5 erörterten Restriktionen bearbeitet.

Zur Berechnung der vorgangsbezogenen Zeitanteile sind daher unmittelbar aufeinanderfolgende Vorgänge auf einer Anlage immer dann zusammenzufassen, wenn keine technologisch bedingte Liegezeit und kein Rüsten dazwischen notwendig sind. Die so

ermittelten Zeitpunkte und Zeitdauern sind für weitere Analyse hinreichend genau, da die darin enthaltenen Bearbeitungszeiten für die Stiche anderer Aufträge in Relation zur Durchlaufzeit vernachlässigbar klein sind.

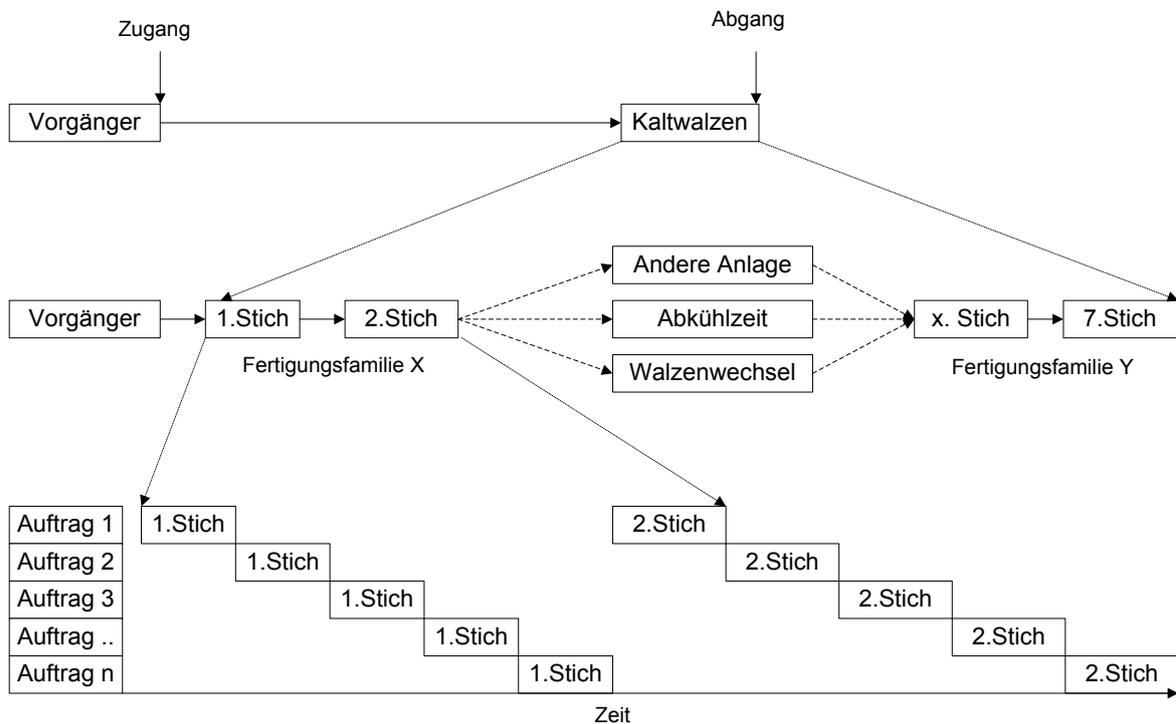


Abbildung 107: Vorgangsfolge Kaltwalzen

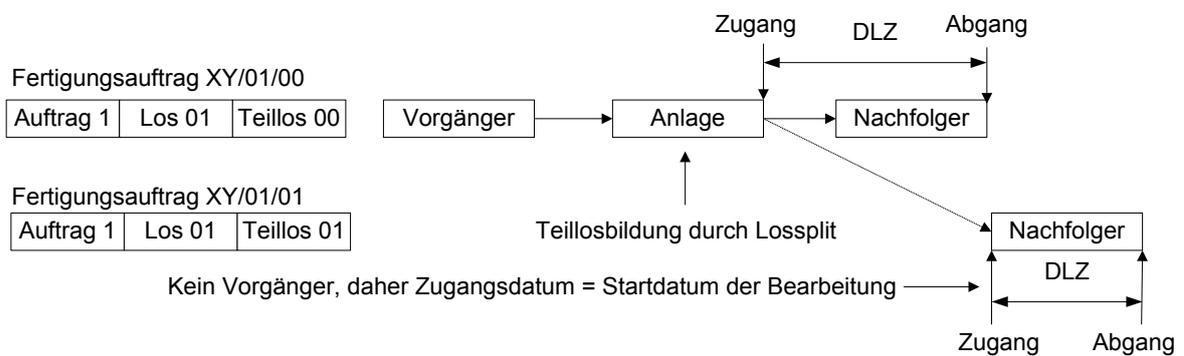
Ein Beispiel ist in Abbildung 107 dargestellt. Der erste und zweite Stich des Auftrags 1 sind als eigener Arbeitsvorgang im Arbeitsplan abgebildet und benötigen den gleichen Walzentyp, der durch die Fertigungsfamilie X gekennzeichnet ist. Da zwischen diesen beiden Stichen somit kein Walzenwechsel erforderlich ist und auch keine technologisch bedingte Abkühlzeit notwendig ist, können diese beiden Stiche zu einem Vorgang zusammengefasst werden, der wie ein einziger Vorgang in die Durchlaufzeitanalyse eingeht. Die Zeiten für die Stiche der dazwischenliegenden Aufträge kann aufgrund der geringen Bearbeitungsdauer im Minutenbereich bei Betrachtung der Durchlaufzeit auf Ebene Betriebskalendertage vernachlässigt werden. Das Zugangsdatum wird dabei auf Basis des ersten Vorgangs, das Abgangsdatum auf Basis des letzten Vorgangs berechnet. Nach dem zweiten Stich erfolgt noch ein weiterer Stich x. Dieser erfordert jedoch aufgrund der Fertigungsfamilie Y, die sich von der vorigen durch einen anderen Walzentyp unterscheidet, einen Walzenwechsel und kann nicht mit den ersten beiden durchgeführt werden. Stich x kann mit dem letzten Stich zusammengefasst werden, da dieser wieder die gleiche Fertigungsfamilie und keine Abkühlzeit dazwischen erfordert. Der x-te Stich steht dabei für einen beliebigen folgenden Stich. Der letzte siebente Stich steht symbolisiert den letzten Stich, da die maximale Stichanzahl für ein Band in der Praxis auf Sieben limitiert ist.

Eine weitere Besonderheit, die es im Rahmen der Berechnung der Durchlaufzeiten, zu berücksichtigen gilt, sind die Durchführungen von Auftragsplits und die damit verbundene Teillosbildung. Die Bildung von Teillosen wurde bereits in Abschnitt 5.3.3 anhand der flexiblen Auftragsstruktur erläutert. Bei der Berechnung von Auftragsdurchlaufzeiten stellt sich durch die unterschiedlichen Auftragsarten die Frage nach der geeigneten Auswahl der

Betrachtungsebene. In Betracht kommen dabei die Ebene Betriebsauftrag, Los oder Teillos. Der Betriebsauftrag stellt nur eine Zusammenfassung von Fertigungsaufträgen mit gleichen Walzbarrentypen dar. Da jeder dieser Fertigungsaufträge in der Fertigung als separat zu disponierender Auftrag betrachtet wird, stellt die aggregierte Form des Betriebsauftrags keine geeignete Betrachtungsebene dar, sondern dient meist nur als Klammerfunktion für die Zuordnung der Vertriebsaufträge.

Die erste in Frage kommende Betrachtungsebene ergibt sich damit durch ein Los, d.h. einen Fertigungsauftrag, der zunächst genau einen Walzbarren als Ausgangsmaterial enthält. Dies ist in Abbildung 108 anhand des Fertigungsauftrags mit der Nummer XY/01/00 veranschaulicht, wobei XY für den Betriebsauftrag steht, 01 das Los als erstes Los identifiziert und 00 symbolisiert das Teillos als sogenanntes Mutterlos.

**Betrachtungsebene: Teillos**



**Betrachtungsebene: Los**

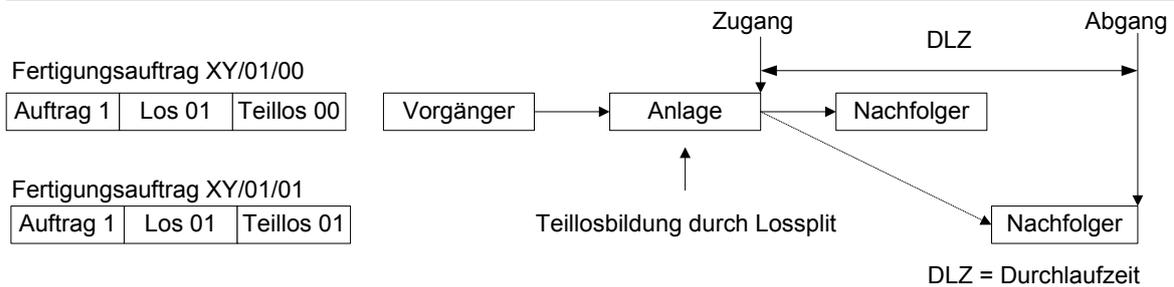


Abbildung 108: Durchlaufzeitpunkte bei einem Lossplit und Teillosbildung

Wird das gefertigte Los während des gesamten Durchlaufs in der Fertigung nicht geteilt, erfolgt die Berechnung der Durchlaufzeiten wie oben definiert. Bei einem Auftragsplits wird das Los an einer bestimmten Anlage in zwei oder mehrere Teillose geteilt. Dabei entsteht neben dem Mutterlos ein zusätzliches Teillos mit der nächsten fortlaufenden Nummer. Im Beispiel wird das Teillos 01 und ein neuer Fertigungsauftrag mit der Nummer XY/01/01 gebildet. Der neu gebildete Fertigungsauftrag enthält als ersten Vorgang den Bearbeitungsvorgang der nachfolgenden Anlage und ist üblicherweise automatisch für die Bearbeitung freigegeben. Erst zu diesem Zeitpunkt kommt dieser Auftrag in den Arbeitsvorrat der Nachfolganlagen. Als Zugangsdatum zur Berechnung der Durchlaufzeit dient das Startdatum der Bearbeitung an der Folgeanlage. Dadurch werden die Auswertungen der Durchlaufzeiten auf Ebene Teillos stark verzerrt. Aus diesem Grund wäre die Betrachtungsebene Los, bei der die Teillose auf Losebene zusammengefasst werden sinnvoll. Bei sehr unterschiedlichen Durchlaufzeiten auf den Folgeanlagen, führt dies allerdings wieder zu starken Verzerrungen. Die Betrachtungsebene ist daher situative auszuwählen.

## 8.4 Phase 4: Datenbeschaffung

### 8.4.1 Selektion

Da ein direkter Zugriff auf die operativen Datenbestände mit Performance-Problemen verbunden ist, sind die benötigten Daten in einem separaten Datenbanksystem, losgelöst von den operativen Datenbeständen und zugeschnitten auf die jeweiligen Anforderungen, zu verwalten. Durch die Entkopplung mit einem Data Warehouse wird die Performance der operativen Anwendungen nicht beeinträchtigt, wie es sonst der Fall wäre. Die Umwandlung und Aufbereitung der Daten erfolgt während der Betriebsphase mit speziellen Extract-Transform-Load (ETL)-Tools. Die Daten in einem Data Warehouse können beliebig verdichtet bzw. detailliert werden. Zur weiteren Verarbeitung mittels Data-Mining werden Datenextrakte gebildet, die auch als Data Marts bezeichnet werden. Unter Data Marts sind personen-, anwendungs-, funktionsbereichs- oder problemspezifische Segmente eines zentralen Data-Warehouse-Datenbestandes zu verstehen.<sup>617</sup> Die Komponenten eines Data Warehouse und die jeweiligen Datenflüsse sind in Abbildung 109 mit den im Fallbeispiel verwendeten Tools visualisiert. Die erforderlichen Daten wurden aus dem SAP-System in eine Datenbank auf einem SQL-Server importiert und in MS-Access sowie Excel weiterverarbeitet

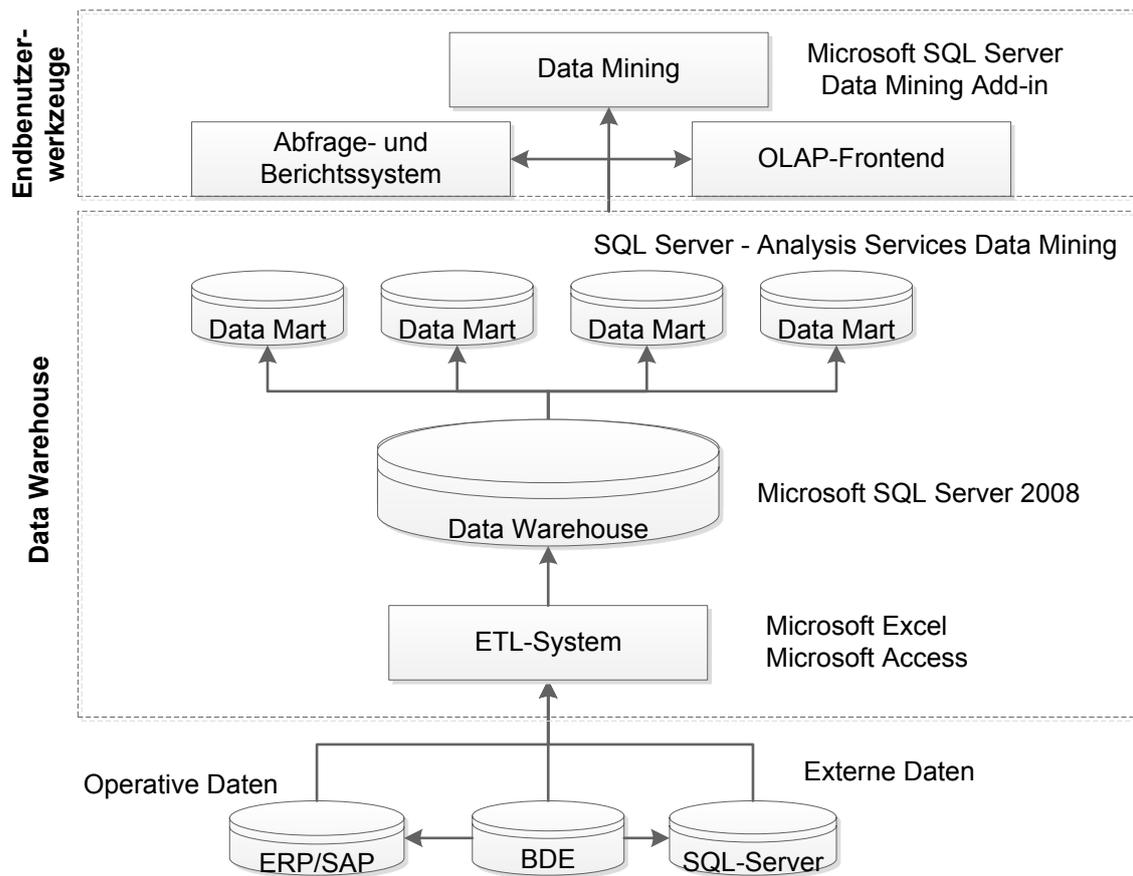


Abbildung 109: Data Warehouse Komponenten<sup>618</sup>

<sup>617</sup> Vgl. Gabriel et al. (2009), S. 47f

<sup>618</sup> Quelle: in Anlehnung an Gabriel et al. (2009), S. 10

Die zugrundeliegende Datenstruktur ist anhand des Entity-Relationship-Diagramms in Abbildung 110 mit den wichtigsten Entitäten veranschaulicht. Für die ausgewählte Anlage sind die Anzahl der selektierten Datensätze für den betrachteten Zeitraum von einem Jahr angeführt, um einen Eindruck über die Größenordnung des im Fallbeispiel verarbeiteten Datenvolumens zu bekommen. Dabei handelt es sich mit 10.000 bis einigen 100.000 Datensätzen für ein Data Warehouse um eher kleine Datenbestände.

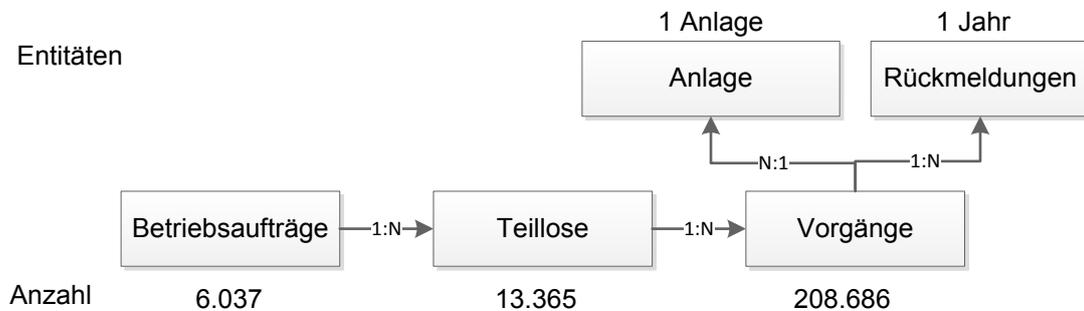


Abbildung 110: Datenbasis für die Durchlaufzeitenanalyse für eine Anlage und ein Betrachtungsjahr

### 8.4.2 Aufbereitung

Die Datenanalyse stellt einen nicht unerheblichen Arbeits- und Zeitaufwand innerhalb eines Data-Mining Vorhabens dar. Ein Vorverarbeitung der Rohdaten ist meist erforderlich, da die in den operativen vorliegenden Datenbestände oft fehlerbehaftet, verrauscht, ungünstig skaliert und verteilt gespeichert sind. In der Datenvorverarbeitungsphase müssen Fehler, Ausreißer und Rauscheffekte erkannt und behandelt werden, sowie die Daten so aufbereitet und standardisiert werden, dass alle benötigten Daten in Form einer Datenmatrix zusammengefasst werden können. Ausreißer und Rauschen in Zeitreihen lassen sich durch die Anwendung von Filtermethode reduzieren.<sup>619</sup> Da ETL-Systeme erst während der Betriebsphase eines Data-Warehouses notwendig sind, um die permanente Datenversorgung und –aufbereitung sicherzustellen, wurden zur einfachen und schnellen Erstellung eines Prototyps die Funktionalitäten von MS Excel und Access zur Datenaufbereitung verwendet.<sup>620</sup>

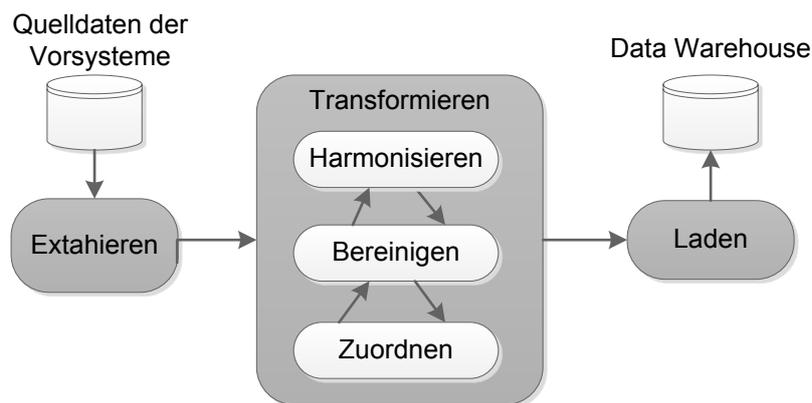


Abbildung 111: ETL-Prozess<sup>621</sup>

<sup>619</sup> Vgl. Runkler (2010), S. 21

<sup>620</sup> Zum ETL-Prozess im Rahmen eines gesamten Projekt-Life-Cycle siehe Moss/Atre (2003), S. 225ff

<sup>621</sup> Vgl. Gabriel et al. (2009), S. 52

Die konkreten Schritte, die zur Bereinigung und Aufbereitung der benötigten Daten erforderlich sind, hängen von der Datenqualität und situativ bedingten Rahmenbedingungen ab. Die im Rahmen des Fallbeispiels durchgeführten Aktivitäten zur Datenaufbereitung sollen daher nicht im Detail beschrieben werden, da diese sehr spezifisch sind. Allgemein lassen sich die Schritte zur Extraktion und Datenaufbereitung anhand des in Abbildung 111 visualisierten ETL-Prozesses zusammenfassen.

### 8.4.3 Transformation

Nach Aufbereitung der Daten wurden diese in eine Datenmatrix transformiert wie sie in Tabelle 37 dargestellt ist, um im nächsten Schritt eine Weiterverarbeitung mit dem Data-Mining Verfahren zu ermöglichen. In der ersten Spalte legt der Objektschlüssel das Bezugsobjekt für die zu untersuchende Kennzahl fest, die in der letzten Spalte steht. Als Bezugsobjekt für die Durchlaufzeit wurde die Betrachtungsebene Teillos festgelegt. Damit das Data-Mining Verfahren im nächsten Schritt Treiber für die Durchlaufzeit ermitteln kann, sind die potentiellen Einflussfaktoren in den Spalten der Datenmatrix aufzunehmen. Folgende Merkmale wurden als potentielle Einflussfaktoren in die Analyse aufgenommen:

- Auftragsdaten: SGE, SGF,...
- Produktdaten: Werkstoff, Grundwerkstoff, Legierungskategorie, Zustand, Qualität, Oberfläche, Bundinnendurchmesser, Enddicke,..
- Vorgangsdaten: Fertigungsfamilie, Vorgängeranlage, Nachfolgeranlage

Tabelle 37: Datenmatrix für Data-Mining

Merkmale	Auftrag	Produkt	Vorgang	Übergangszeit			
<b>Objektschlüssel</b>	$X_1$	$X_2$	$X_3$	...	$X_j$	...	$X_k$
$O_1$	$X_{11}$	$X_{12}$	$X_{13}$	...	$X_{1j}$	...	$X_{1k}$
:	:	:	:	...	:	...	:
$O_v$	$X_{v1}$	$X_{v2}$	$X_{v3}$	...	$X_{vj}$	...	$X_{vk}$
:	:	:	:	...	:	...	:
$O_n$	$X_{n1}$	$X_{n2}$	$X_{n3}$	...	$X_{nj}$	...	$X_{nk}$

## 8.5 Phase 5: Data-Mining

### 8.5.1 Verfahrens- und Softwareauswahl

In der Data-Mining Phase ist eine passende Methode aus den in Kapitel 7 beschriebenen Verfahren auszuwählen. Wie sich auch in Kapitel 7 zeigte existieren sehr viele Data-Mining Methoden, von denen die wichtigsten im Abschnitt 7.2 erläutert wurden. Daher kann man sich die Frage stellen warum so viele Verfahren gleichzeitig nebeneinander überhaupt existieren können und nicht bestimmte Verfahren besser sind als andere. Die Antwort liegt darin, dass jede Methode bestimmte Vorteile und auch Nachteile hat, die von vielen Faktoren

und der konkreten Problemstellung abhängen. Die Zweckmäßigkeit einer Methode hängt beispielsweise vom Datenumfang, der Art der Muster, die in den Daten existieren, der Genauigkeit der Daten, der spezifischen Zielsetzung und auch davon ab, ob die Daten die gegebenenfalls geforderten Annahmen der Methode erfüllen. Unterschiedliche Methoden können daher sowohl zu unterschiedlichen Ergebnissen kommen als auch mit unterschiedlicher Performance erreicht werden. Bei der Durchführung von Data-Mining Projekten werden daher üblicherweise mehrere unterschiedliche Methoden angewandt bzw. müssen oft mehrere Verfahren getestet werden, um dann diejenige auszuwählen mit der die gewünschten Ziele am besten erreicht werden können.<sup>622</sup>

Bei der Auswahl spielt neben der Aufgabenstellung auch die verfügbare Infrastruktur eine Rolle. Zahlreiche Softwareprodukte bieten heutzutage Data-Mining Funktionalitäten an. Ziel dieser Arbeit ist es nicht die Auswahl und Implementierung der Softwareauswahl im Detail zu behandeln, da die Softwareauswahl selbst ein komplexes Projekt darstellt. Zur Auswahl von Business-Intelligence Software existieren bereits zahlreiche Veröffentlichungen, die erprobte strukturierte Vorgehenskonzepte unter Berücksichtigung der kritischen Erfolgs- und Risikofaktoren beschreiben.<sup>623</sup> Als wesentlichste Aspekte sind die Funktionalität, Flexibilität, Benutzerfreundlichkeit, Kompatibilität mit bestehenden Lösungen sowie die Stabilität der Lösung zu berücksichtigen.<sup>624</sup> Aus diesen Gründen wurde das Microsoft SQL Server Data-Mining Add-in für Microsoft Office verwendet. Dieses Softwarepaket bietet die benötigten Data-Mining Funktionalität und durch die Excel-Oberfläche eine hohe Flexibilität und Benutzerfreundlichkeit. Durch die Verwendung eines SQL-Servers als Datenbank war diese Softwarelösung auch kompatibel mit der bestehenden IT-Infrastruktur beim Unternehmen.

Für die verfolgte Aufgabenstellung nämlich potentielle Einflussfaktoren für lange Durchlaufzeiten zu identifizieren, bietet sich in der ausgewählten Softwareumgebung der Einsatz von Clusteranalyseverfahren an. Das Ergebnis der Literaturrecherche in Abschnitt 7.4 zeigte, dass sich diese in der Logistik als Tool zur Analyse der Zusammenhänge in komplexen Systemen mit umfangreichen Datensätzen als geeignet erwiesen haben.<sup>625</sup>

### 8.5.2 Data-Mining mittels Clusteranalyse

In der klassischen Clusteranalyse werden Objekte genau einem Cluster zugeordnet. Im Gegensatz dazu werden beim Fuzzy-Clustering Objekte nicht einem bestimmten Cluster zugeordnet, sondern mit einer berechneten Wahrscheinlichkeit mehreren Clustern zugeordnet.<sup>626</sup> Fuzzy-Clustering Techniken sind daher auch als probabilistische Clusteranalysemethoden bekannt<sup>627</sup> und können als Generalisierung einer naiven Bayes Klassifizierung gesehen werden.<sup>628</sup> Aufgrund der Visualisierungsmöglichkeiten, die der Microsoft naive Bayes Algorithmus bietet, kann dieser nicht nur für Clustering sondern auch zum Analysieren von Einflussfaktoren für bestimmte Zielgrößen verwendet werden.<sup>629</sup>

---

<sup>622</sup> Vgl. Shmueli et al. (2011), S. 4f

<sup>623</sup> Zur Auswahl und Implementierung von Business-Intelligence Software siehe Mehanna/Stasius (2008)

<sup>624</sup> Vgl. Oehler (2006), S. 208

<sup>625</sup> Vgl. Windt et al. (2011), S. 246

<sup>626</sup> Vgl. Everitt et al. (2011)

<sup>627</sup> Vgl. Bacher et al. (2010)

<sup>628</sup> Vgl. Borgelt et al. (2001)

<sup>629</sup> Vgl. MacLennan et al. (2009)

In dem verwendeten Microsoft Excel-Add-in ist dieser Algorithmus im Tool „Wichtige Einflussfaktoren analysieren“ implementiert. Damit können auf sehr einfache Art und Weise die bestimmten Faktoren für ein bestimmtes Merkmal identifiziert werden können.<sup>630</sup> Neben der Benutzerfreundlichkeit spricht auch die gute Performance für diese Methode. Der Nachteil liegt darin, dass der Algorithmus keine klare Trennung der einzelnen Cluster liefert, wie bei den klassischen Clusteranalyseverfahren. Das heißt, es erfolgt keine eindeutige Klassifizierung, sondern nur eine grobe, ungenau Zuordnung zu Clustern mit auf Basis des Theorems von Bayes berechneten bedingten Wahrscheinlichkeiten. Daher wird dieses Verfahren oft angewandt, um einen ersten Überblick über die Datenlage zu bekommen. Genau das ist jedoch das Ziel im Rahmen der Analyse von Durchlaufzeiten. Es soll keine eindeutige Prognose und Zuordnung von Aufträgen zu bestimmten Durchlaufzeitspannen aufgrund von ermittelten Merkmalen erfolgen, sondern nur Anhaltspunkte und mögliche Ursachen ermittelt werden. Diese sollen dann so aufbereitet werden, dass durch Visualisierung der Ergebnisse die Zusammenhänge und Treiber transparent werden. Eine konkrete Interpretation und Evaluation der Ergebnisse hat in der nächsten Phase der Interpretation und Evaluation zu erfolgen. Das Ziel besteht darin die Verteilung der Durchlaufzeiten der Aufträge zuerst in einzelne Cluster mit sehr niedrigen, niedrigen, mittleren, hohen und sehr hohen Durchlaufzeiten zu unterteilen. Im nächsten Schritt können die Merkmale, welche die Cluster charakterisieren, als Einflussfaktoren identifiziert werden. Diese Vorgehensweise ist in Abbildung 112 an einem Beispiel mit einer gegebenen Durchlaufzeitverteilung von Fertigungsaufträgen veranschaulicht.

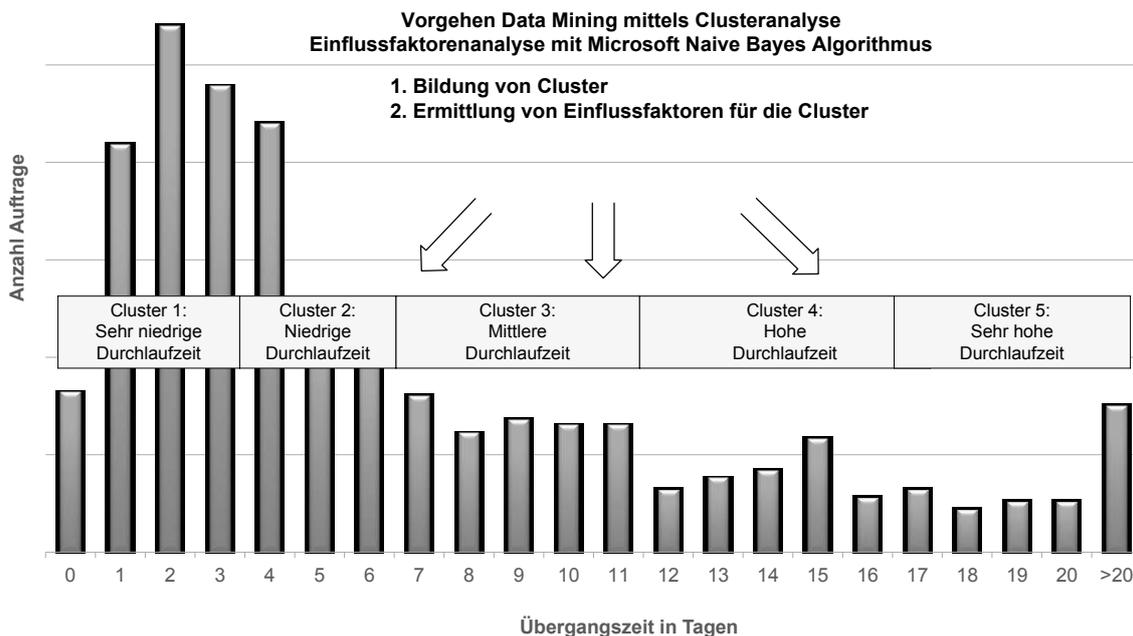


Abbildung 112: Vorgehensweise der Einflussfaktorenanalyse für Durchlaufzeiten<sup>631</sup>

Als Ergebnis der Data-Mining-Analyse erhält man Clusterdiagramme, Clusterkategorien, Clusterprofile, Abhängigkeitsnetzwerke, Einflussfaktoren und einen Klassifizierungsbaum.<sup>632</sup> Das Clusterdiagramm in Abbildung 113 enthält die an einem Beispiel ermittelten Cluster und

<sup>630</sup> Eine detaillierte Beschreibung zu Business Intelligence mit Microsoft SQL Server 2008 und zu dem verwendeten Tool findet sich bei Schrödl (2009), S. 309

<sup>631</sup> Quelle: in Anlehnung an Rainer (2012), S. 357

<sup>632</sup> Für eine detaillierte Beschreibung des eingesetzten Data-Mining-Verfahrens siehe Fouche/Langit (2011)

die Beziehungen zwischen diesen Clustern untereinander, die durch die Verbindungslinien dargestellt werden. Das Abhängigkeitsnetzwerk in Abbildung 114 zeigt die Merkmale, von denen die Zielgröße abhängt im Sinne eines einfachen Ursache-Wirkungsdiagramms. Die dazugehörigen Clusterkategorien und –profile finden sich im Anhang.

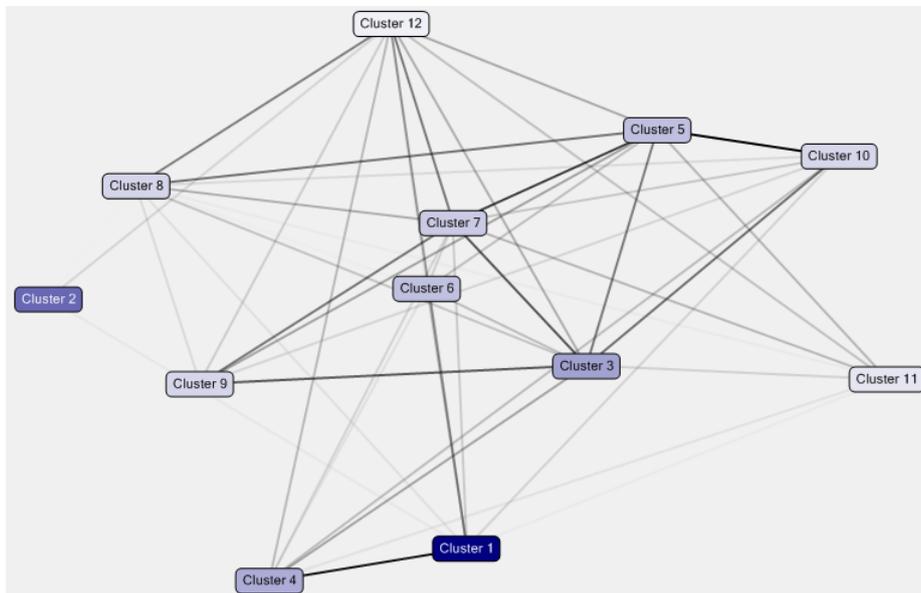


Abbildung 113: Clusterdiagramm

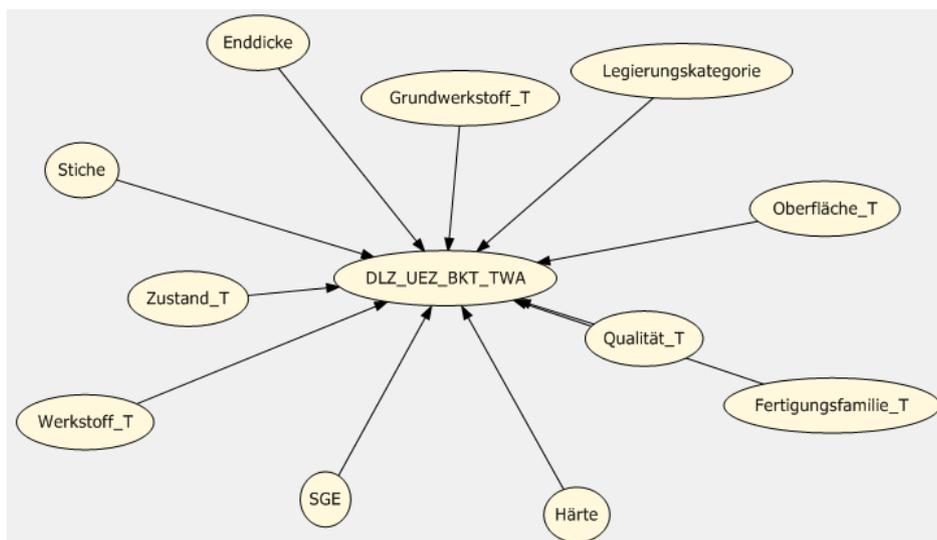


Abbildung 114: Abhängigkeitsnetzwerk

In Abbildung 115 sind die Ergebnisse für die Exploration der Einflussfaktoren für die untersuchte Anlage dargestellt. Zu sehen sind die gebildeten Cluster und die relativen Einflussfaktoren in Form der berechneten Wahrscheinlichkeiten für die jeweiligen Merkmalsausprägungen. Die Spalten sind wie folgt zu interpretieren:

- Merkmal: Identifiziertes Merkmal X
- Wert: Ausprägung  $i$  des Merkmals X
- Begünstigt: Durchlaufzeitkategorie in Betriebskalendertagen (Cluster)
- Relative Auswirkung: Wahrscheinlichkeit, mit der das Merkmal  $X_i$  die Zuordnung zum jeweiligen Cluster bzw. Durchlaufzeitkategorie begünstigt

## Erste Ergebnisse der Einflussfaktorenanalyse

Merkmal	Wert	Begünstigt	Relative Auswirkung
Fertigungsfamilie_T	3ym zyl.Sonderschl.	< 2	0% 100%
Von	WQ	< 2	
Fertigungsfamilie_T	zylindr. 6 YM	2 - 4	
Qualität_T	Handelsqualität	2 - 4	
SGE	WF	2 - 4	
Zustand_T	F	2 - 4	
Oberfläche_T	matt	2 - 4	
Grundwerkstoff_T	8079.3	2 - 4	
Werkstoff_T	8079.3	2 - 4	
Legierungskategorie	8XXX	2 - 4	
Von	BB	4 - 6	
Fertigungsfamilie_T	6ym zyl.Sonderschl.	4 - 6	
Von	ABN	4 - 6	
Fertigungsfamilie_T	zylindr.-3 ym oder 6 ym	4 - 6	
Fertigungsfamilie_T	zylindr. 3 YM	4 - 6	
Qualität_T	Luftfahrtqualität	4 - 6	
Enddicke	0.8868580378 - 2.3876890124	4 - 6	
Oberfläche_T	feinmatt	4 - 6	
Von	STA	4 - 6	
SGE	VL	4 - 6	
Von	LSS	4 - 6	
Legierungskategorie	5XXX	4 - 6	
Werkstoff_T	2024.5 / 99,5L / B	4 - 6	
Legierungskategorie	6XXX	4 - 6	
Von	BB	6 - 8	
Von	ABN	6 - 8	
Fertigungsfamilie_T	zylindr.-3 ym oder 6 ym	6 - 8	
Fertigungsfamilie_T	6ym zyl.Sonderschl.	6 - 8	
Werkstoff_T	2024.5 / 99,5L / B	6 - 8	
Qualität_T	Luftfahrtqualität	6 - 8	
SGE	VL	6 - 8	
Grundwerkstoff_T	2024.5	6 - 8	
Enddicke	0.8868580378 - 2.3876890124	6 - 8	
Fertigungsfamilie_T	zylindr. 3 YM	6 - 8	
Oberfläche_T	feinmatt	6 - 8	
Legierungskategorie	2XXX	6 - 8	
Von	STA	6 - 8	
Von	BB	>= 8	
Fertigungsfamilie_T	6ym zyl.Sonderschl.	>= 8	
Von	ABN	>= 8	
Von	STA	>= 8	
Legierungskategorie	7XXX	>= 8	
Enddicke	0.8868580378 - 2.3876890124	>= 8	
Fertigungsfamilie_T	Markierwalze-unten	>= 8	
Fertigungsfamilie_T	zylindr.-3 ym oder 6 ym	>= 8	
Qualität_T	Anodisierqualität 126.3	>= 8	
Grundwerkstoff_T	ANC	>= 8	
Werkstoff_T	99,5Z / 99,85 / E	>= 8	
Oberfläche_T	walzbl. / matt	>= 8	

Abbildung 115: Ergebnisse der Einflussfaktorenanalyse am Beispiel KQ

## 8.6 Phase 6: Interpretation und Evaluation

Ziel dieser Phase ist die Interpretation und Evaluation der Data-Mining Ergebnisse. Zur Schwerpunktsetzung für die weitere Vorgehensweise bietet sich eine Einordnung der identifizierten Merkmale mit ihren Merkmalswerten in eine Matrix an, in der diese wie in Abbildung 116 nach Häufigkeit und Durchlaufzeitkategorie dargestellt werden. Über die Häufigkeit, die sich aus der Anzahl der Aufträge mit dem jeweiligen Merkmalswert ergibt, können Ausreißer identifiziert werden, die in einem ersten Schritt nicht weiter verfolgt werden sollen. Interessant sind vor allem Quick Wins. Damit sind Merkmale bzw. Merkmalswerte zu verstehen, die einen relativ großen Teil der Aufträge mit hoher Durchlaufzeit repräsentieren. Durch eine weitere Analyse von sogenannten High Performers, können die Ursachen für kurze Durchlaufzeiten näher untersucht werden. Damit kann den Ursachen der Priorisierung von Aufträgen mit bestimmten Merkmalen auf den Grund gegangen werden.

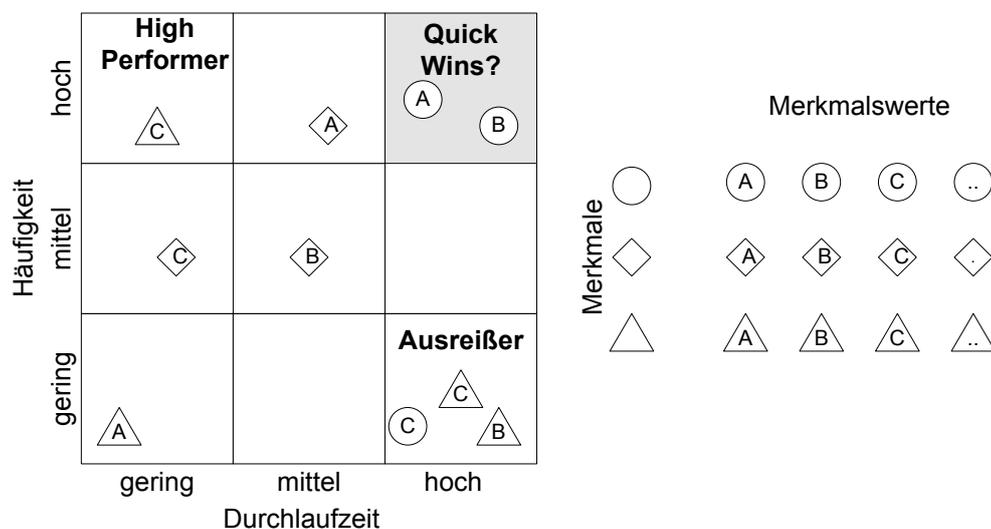


Abbildung 116: Schwerpunktsetzung nach der Data-Mining Analyse

### Interpretation der ersten Ergebnisse

Aus Abbildung 115 geht als größter Treiber für lange Durchlaufzeiten das Merkmal „Von“ mit dem Merkmalswert „BB“ hervor, d.h. die Vorgängeranlage mit der Bezeichnung BB. Da die damit verbundene Aufträge auch mengenmäßig interessant sind und es sich nicht um Ausreißer handelt, wurde im nächsten Schritt, die in Abbildung 117 dargestellte Prozessstrecke zwischen KQ und BB näher mittels Data-Mining analysiert.

Dazu sind wieder die Phasen der Datenselektion und –transformation, sowie die Durchführung der Clusteranalyse notwendig, die hier nicht nochmal beschrieben werden sollen. Allgemein zeigt sich daraus das im Rahmen eines Data-Mining-Projektes typische iterative Vorgehen. Je nach Aufgabenstellung und Ergebnissen erfolgt aufgrund neuer Teilerkenntnisse ein Rücksprung in vorige Phasen.

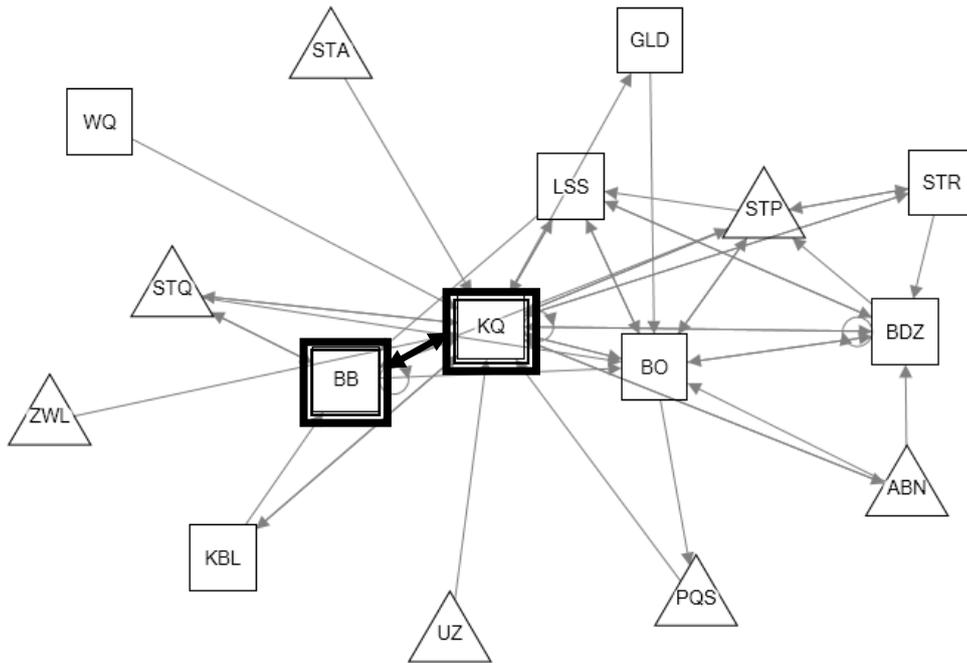


Abbildung 117: Anlage BB als Durchlaufzeitreiber identifiziert

**Ergebnisse der zweiten Einflussfaktorenanalyse**

Merkmal	Wert	Begünstigt	Relative Auswirkung
Werkstoff_T	99,5Z / 99,85 / E	< 4	0% 100%
Qualität_T	Anodisierqualität 126.3	< 4	
Grundwerkstoff_T	99,5Z	< 4	
Qualität_T	Lackierqualität	4 - 8	
Werkstoff_T	8014.1	4 - 8	
Grundwerkstoff_T	8014.1	4 - 8	
Oberfläche_T	glzd. / matt	4 - 8	
Werkstoff_T	99,5Z / 99,9G / E	8 - 12	
Grundwerkstoff_T	99,5Z	8 - 12	
SGE	VN	12 - 17	
Oberfläche_T	Luminal / matt	12 - 17	
Grundwerkstoff_T	6061.6	12 - 17	
Zustand_T	T6	12 - 17	
Werkstoff_T	6061.6	12 - 17	
Grundwerkstoff_T	99,5ZC	>= 17	
Qualität_T	Anodisierqualität 127	>= 17	
Werkstoff_T	99,85	>= 17	
Grundwerkstoff_T	99,85	>= 17	
Oberfläche_T	Luminal / matt	>= 17	
Werkstoff_T	99,5ZC / AL99,99 / E	>= 17	

Abbildung 118: Ergebnisse der Einflussfaktorenanalyse KQ-BB

Die transparente Darstellung der Durchlaufzeitreiber zeigt den Mitarbeitern die Auswirkungen ihrer Planungsentscheidungen auf und lässt erste Ursachen erkennen. Aus Abbildung 118 kann beispielsweise zunächst eindeutig der Qualitätsgrad und die Oberfläche als Durchlaufzeitreiber für die in Abbildung 119 veranschaulichte Prozessstrecke identifiziert werden.

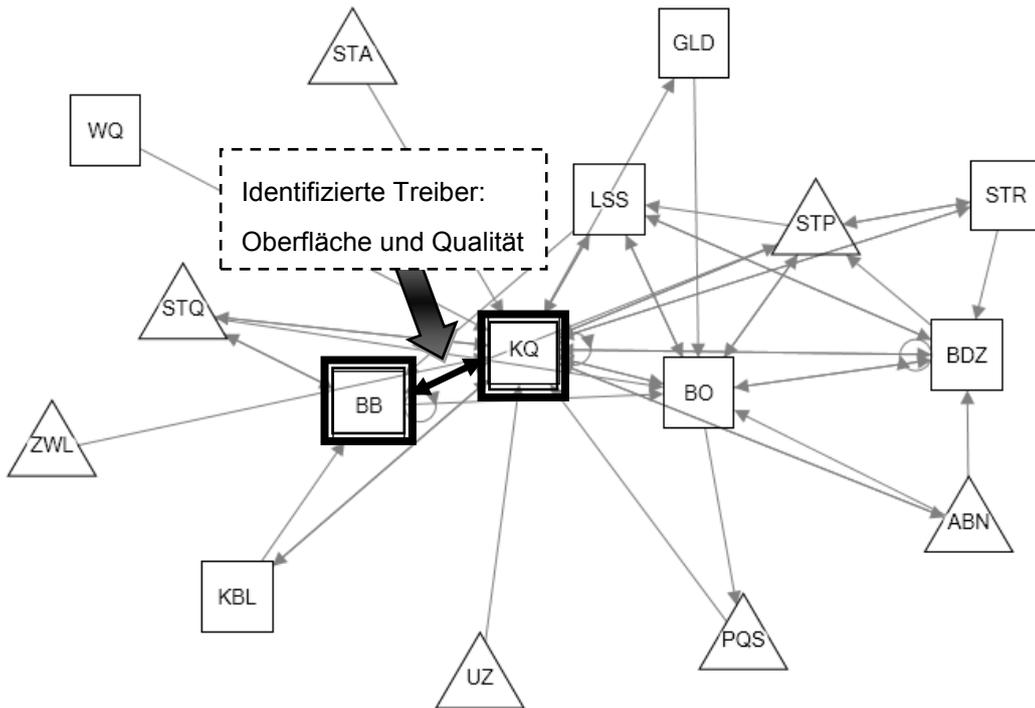


Abbildung 119: Identifizierte Merkmale als Durchlaufzeitreiber einer Prozessstrecke

Mittels Data-Mining alleine können noch keine Planungsregeln automatisch generiert werden. Die weitere Ursachenanalyse wird im Rahmen von moderierten Workshops durch Anwendung von üblichen Kreativitäts- und Problemlösungstechniken, wie 5W-Methode oder Ishikawa-Diagramm unterstützt. Mit der 5W-Methode können durch fünf-maliges Fragen nach dem „Warum?“ die dahinterliegenden Hintergründe analysiert werden. Mit dieser einfachen Methode können die aus Sicht der Planung und Steuerung beeinflussbaren Ursachen gefunden werden und meist sehr schnell Lösungsansätze gefunden werden.<sup>633</sup> Die Ergebnisse eines Workshops sind in Abbildung 120 anhand eines Ishikawa-Diagramms beispielhaft dargestellt.

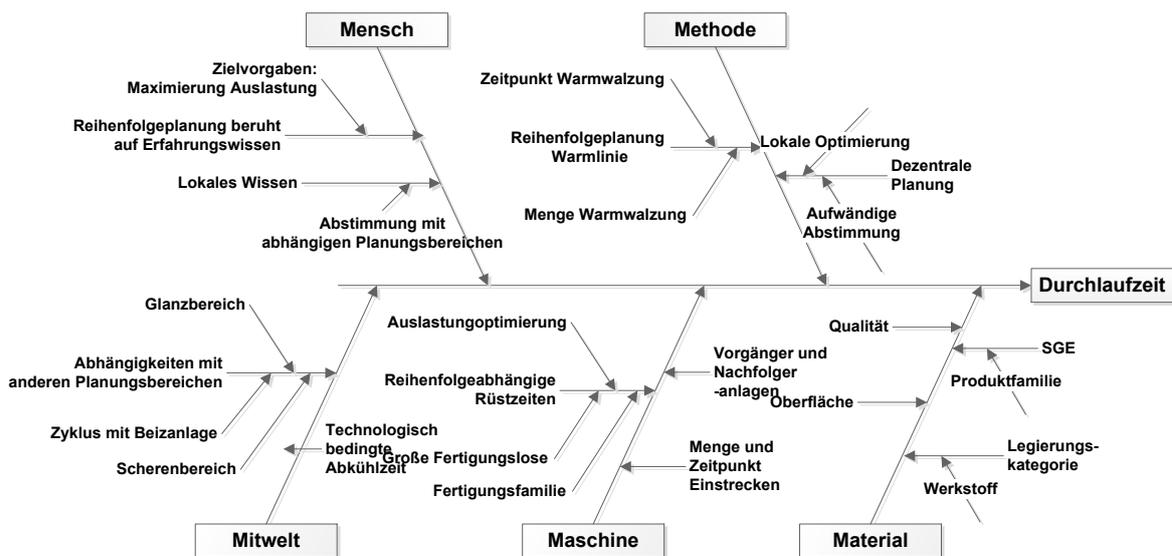


Abbildung 120: Interpretation der Ergebnisse mittels Ishikawa-Diagramm

<sup>633</sup> Vgl. Dickmann (2008), S. 8

Ist ein Merkmal  $X_j$  wie beispielsweise der Qualitätsgrad oder die Oberfläche als Einflussfaktor identifiziert, können Planungsregeln in Form von Mindest- oder Maximalmengen für die Ausprägungen  $X_{1j}$  bis  $X_{nj}$  des jeweiligen Merkmals  $X_j$  und einen definierten Planungshorizont (Schicht, Woche,...) abgeleitet werden. Die Festlegung dieser Bestandsgrenzen erfolgte auf Basis der Vergangenheitsdaten durch Einschätzung der Mitarbeiter. Nachdem der Qualitätsgrad und die Oberfläche als Durchlaufzeittreiber identifiziert wurden, konnten bestandsorientierte Regeln definiert werden. Als Ursache wurden die vernünftige Ausnutzung bestimmter Walzen und technologisch bedingte Abhängigkeiten erkannt. Da diese Zusammenhänge zuvor so nicht bekannt waren und die maximal in einer Woche für bestimmte Produktmerkmalskombinationen bearbeitbare Menge nicht berücksichtigt wurde, kam es regelmäßig zu einem erhöhten Bestand vor einer Anlage, der zu einer erhöhten Gesamtdurchlaufzeit führte.

Die Absenkung des Bestands durch produktmixabhängige Belastungsschranken folgt damit der zentralen Logistikstrategie in der Fertigungssteuerung, deren Aufgabe nach Nyhuis/Wiendahl darin liegt, das Bestandsniveau auf ein vertretbares Maß abzusenken.<sup>634</sup>

### 8.7 Phase 7: Planungsregeln implementieren

Das in Form von Planungsregeln gewonnene Wissen ist zur Entscheidungsunterstützung der Planer im Produktionsplanungssystem entsprechend technisch und organisatorisch zu verankern. Wie in Abschnitt 3.3 erläutert wurde ist ein klassisches ERP-System in der Regel nicht zur zeitnahen Fertigungssteuerung geeignet ist. Daher bietet sich die Implementierung in einem Manufacturing Execution System (MES) bzw. Advanced Planning and Scheduling (APS) System an, das die zeitnahe Planung und Steuerung aller Fertigungsprozesse unterstützt.

In einem MES bzw. APS-System können diese Regeln in Form von Wissenstabellen gespeichert werden und in einem flexiblen Regelwerk hinterlegt werden, das der Planer bei Bedarf an neue Situationen anpassen kann. Ziel der Implementierung der Planungsregeln ist dabei keine vollständige Automatisierung der Reihenfolgeplanung, da dies aufgrund der Komplexität meist nicht möglich ist. In der Praxis ist es in der Prozessindustrie meistens nicht möglich alle Bedingungen in einem mathematischen Modell zu formulieren und realistische Schätzungen der spezifischen Kosteneffekte vorzunehmen. Abgesehen davon, dass es sich dabei um NP-harte Optimierungsprobleme handelt, die immer noch nicht innerhalb einer vernünftigen Zeit berechnet werden können, befinden sich automatische Lösungen ohne User-Interface in der Industrie kaum im Einsatz. Daher forderten bereits Berning et al. einen ganzheitlichen Ansatz, der die heute zur Verfügung stehende Rechenkraft von Computern und die Flexibilität moderner APS-Software mit der Möglichkeit einer benutzergesteuerten Interaktion und manuellen Intervention kombiniert.<sup>635</sup>

Bei der Durchführung der Online-Feinplanung im MES sollen die Anwender lediglich einen Hinweis auf eine Regelverletzung bekommen. Die endgültige Bewertung des Planungsszenarios wird durch definierte KPI's, die im MES für ein Planungsszenario berechnet werden, unterstützt. Die Entscheidung für ein Planungsszenario im Sinne einer schnellen und flexiblen Planung obliegt schlussendlich dem Planer.

---

<sup>634</sup> Vgl. Nyhuis/Wiendahl (2012), S. 174

<sup>635</sup> Vgl. Berning et al. (2004), S. 913f

## 8 Konkretisierung und Validierung des Vorgehenskonzeptes anhand des Fallbeispiels

In Tabelle 38 sind die aus dem obigen Fallbeispiel definierten Planungsregeln in Form von Richtwerten dargestellt, die bei der Auftragsfreigabe bzw. bei der wöchentlichen Einplanung der Fertigungsaufträge zu berücksichtigen sind. Ausgehend von einer durchschnittlichen Auftragsmenge von insgesamt 75 Bänder/Woche wurde eine optimale Aufteilung in die einzelnen Qualitäten und Oberflächen vorgenommen, die sich aufgrund technologischer Rahmenbedingungen und dem damit verbundenen Rüstaufwand ergibt. Für gewisse Qualitäten und Oberflächen wurden Limits für die maximal in einer Woche bearbeitbaren Bänder mit den jeweiligen Qualitäten und Oberflächen definiert. Diese Mengen sind bei der Einplanung zu berücksichtigen, da nicht mehr als die angegebene Anzahl an Bänder von diesen Qualitäten in einer Woche verarbeitet werden können, ohne dass ein erheblicher Zusatzaufwand entsteht.

Tabelle 38: Beispielhafte Planungsregeln

Qualität	Oberfläche	Optimale Anzahl Bänder	Max. Anzahl Bänder (AI max. 45g/l)	Max. Anzahl Bänder (AI max. 85g/l)	Verhältnis (Folgeanlage)
126.3	walzbl/matt	23			1
126.2	walzbl/matt	8			
126.1	glzd/matt	12		60	1,2
127	supf/walzbl	6	18		
Rest		24			
Warzen		2			
<b>Summe</b>		<b>75</b>			

Aus den oben definierten Planungsregeln lässt sich ein idealer Produktmix ableiten, der in Tabelle 39 anhand eines Beispiels veranschaulicht ist. Dabei werden 45 Blöcke anhand des Merkmals Qualität nach den obigen Verhältnissen aufgeteilt.

Tabelle 39: Anwendung der Planungsregeln anhand eines Beispiels

Beispiel bei 45 Blöcken		1. Regel		2. Regel (55% von 1. Regel)	
Qualität	Oberfläche	Anzahl Bänder	in %	Anzahl Bänder	in %
126.3	walzbl/matt	20	44,44 %		
126.2	walzbl/matt	25	55,55 %	10	22,22 %
126.1	glzd/matt			9	19,99 %
127	supf/walzbl			6	13,33 %

## 8.8 Phase 8: Wirkungskontrolle

Die letzte Phase widmet sich der Wirkungskontrolle der implementierten Planungsregeln bzw. Verbesserungsmaßnahmen und schließt damit den Controllingzyklus. Zentraler Bestandteil ist ein Kennzahlensystem mit standardisierten Berichten.

### 8.8.1 Kennzahlensystem

Durch das Aufstellen von Kennzahlen kann eine schnelle und übersichtliche Information über das zu betrachtende Aufgabenfeld bereitgestellt werden. Mit den bereitgestellten Informationen werden Schwachstellen und Abweichungen signalisiert, die somit die Funktion eines Beurteilungs- und Entscheidungsbarometers erfüllen. Das allgemeine Ziel von Kennzahlen besteht darin, Schwächen und Stärken im Unternehmen aufzuzeigen. Zur Erhöhung der Aussagekraft von Kennzahlen, müssen diese mit anderen Kennzahlen verglichen werden. Der Kennzahlenvergleich kann unter anderem auf folgende Arten erfolgen:<sup>636</sup>

- Durch einen Soll-Ist-Vergleich (bzw. Plan-Ist-Vergleich) werden Soll-Kennzahlen, die einen gewünschten Tatbestand beschreiben, mit Ist-Kennzahlen, die den wirklich erreichten Tatbestand beschreiben, verglichen.
- Ein Zeitvergleich vergleicht Kennzahlen aus vergangenen Perioden mit denen der aktuellen Periode.

Kalendertage												
SO	MO	DI	MI	DO	FR	SA	SO	MO	DI	MI	DO	FR
Start Anlage A	Ende Anlage A	AV Ende Anlage A								AV Start Anlage B	Start Anlage B	Ende Anlage B
Bearbeitung	Tech.bed Wartezeit					Wochenende	Instandhaltung				Ofenreise	Bearbeitung
	TWA					BT	GS					
		1	2	3				4	5			
Übergangszeit in Betriebskalendertagen [BKT]												

Abbildung 121: Definition der Übergangszeit

Basierend auf den prototypischen Auswertungen für die zuerst betrachtete Anlage wurde ein Kennzahlensystem mit Durchlaufzeiten für alle Anlagen im Werk entwickelt, der sowohl einen Plan-Ist-Vergleich als auch einen Zeitvergleich ermöglicht. Analog zur Definition in Kapitel 7.5 wird die Übergangszeit wie in Abbildung 121 dargestellt für alle Vorgänge auf Ebene Teillos in der Einheit Betriebskalendertage (BKT) berechnet. Die Berechnung der Übergangszeit UEZ startet mit dem ersten Betriebstag nach dem Ende des Arbeitsvorganges (AV) der Vorgängeranlage A und nach Ablauf etwaiger technologisch bedingter Wartezeiten TWA. Betriebsfreie Tage BT und geplante Stillstandszeiten GS, beispielsweise für Instandhaltungsarbeiten, werden nicht berücksichtigt. Die Übergangszeit endet mit Rückmeldung des Starts des Arbeitsvorganges auf der Folgeanlage B.

<sup>636</sup> Vgl. Jung (2007), S. 158

Auf Basis dieser Definition der Übergangszeit wurde ein Berichtsschema zum Fertigungsauftragscontrolling von Durchlaufzeiten auf Ebene der strategischen Geschäftseinheiten (SGE) und strategischen Geschäftsfeldern (SGF) entwickelt, das in Abbildung 124 beispielhaft dargestellt ist.

Durch die Aggregation der Fertigungsauftragsdaten lassen sich die schwer überschaubaren Rückmeldedaten zu aussagekräftigen Kennzahlen bündeln. Zusätzlich zur Durchlaufzeiten sind auch die Terminabweichungen dargestellt. Damit können erste Ursachen, wie zu früh gestartet und zu spät fertiggestellt, oder zu spät fertiggestellt, weil zu spät gestartet, etc. erkannt werden. Die Aggregation auf SGE ermöglicht noch eine übersichtliche Darstellung und identifiziert die Produktfamilien, die weiter zu analysieren sind.

In dem entwickelten Berichtsschema kann ein beliebiger Zeitvergleich mit vergangenen Perioden durchgeführt werden, und für die mittleren Durchlaufzeiten können die geplanten Durchlaufzeiten mit den tatsächlich erreichten verglichen werden. Bei der Berechnung der Mittelwerte wurden nur repräsentative Aufträge berücksichtigt. Versuchsaufträge, Ausschuss und Auftragsstops wurden nicht mit eingerechnet, da diese für eine Mittelwertbetrachtung nicht repräsentativ sind, und daher separat ausgewertet werden. Die Terminabweichungen sind dabei entsprechend der Definitionen in Kapitel 3.4.4 berechnet:

Ø Diff. Start = mittlere Zugangsterminabweichung

Ø Diff. Ende = mittlere Abgangsterminabweichung

Δ Ende = mittlere relative Terminabweichung

Fertiggestellte Teillöse	Vorjahr		Akt. Monat			Akt. Jahr		
	Ø Diff. Tage			Ø Diff. Tage			Ø Durchlaufzeit [Tage]	
	Ende	Δ Ende	Anzahl Tlos	Start	Ende	Δ Ende	Plan	Ist
SGE10	7,7	2,1	269	4,0	5,3	1,3	13,2	14,4
SGE11	5,2	1,7	110	3,2	4,7	1,5	14,5	16,0
...	9,0	1,8	159	4,5	5,6	1,1	12,2	13,3
SGF1	9,9	1,1	796	8,2	8,4	0,2	10,8	11,0
SGE20	5,7	7,9	105	-8,7	-2,2	6,5	19,1	25,6
...	7,1	0,5	12	2,7	1,4	-1,3	19,5	18,3
SGF2	5,4	3,3	443	-4,1	0,2	4,3	19,6	23,9
SGE30	7,8	10,2	86	-5,5	2,6	8,1	19,4	27,5
...	8,3	4,9	49	-1,7	1,7	3,4	26,8	30,2
SGF3	8,0	8,1	135	-4,1	2,3	6,4	22,1	28,5
SGE50	17,0	12,6	607	4,9	16,0	11,1	21,8	32,9
SGE51	21,3	12,4	457	7,7	18,3	10,6	23,0	33,5
...	7,4	13,0	150	-3,7	8,9	12,6	18,3	30,9
SGF 4	14,4	11,5	722	2,1	12,1	10,0	20,4	30,4
<b>GESAMT</b>	<b>9,6</b>	<b>6,5</b>	<b>4.100</b>	<b>0,7</b>	<b>6,1</b>	<b>5,4</b>	<b>18,6</b>	<b>24,0</b>

<b>Legende</b>	Δ >=10 Tage	10 Tage > Δ > 2 Tage	2 Tage >= Δ > -5 Tage
----------------	-------------	----------------------	-----------------------

Abbildung 122: Berichtsschema zum Controlling von Terminabweichungen und Durchlaufzeiten

Abbildung 124 und Abbildung 124 zeigen den zeitlichen Verlauf dieser Terminabweichungen von zwei ausgewählten SGEs, die unterschiedlich zu interpretieren sind. Bei SGE A ergibt sich die hohe mittlere relative Terminabweichung aufgrund verfrühter Auftragsstarts, die durch die negative mittlere Zugangsterminabweichung erkennbar sind. Aus der um Null

schwankenden mittleren Abgangsterminabweichung ist ersichtlich, dass die Aufträge zwar zum geplanten Termin fertiggestellt werden und somit eine gute Lieferperformance aufweisen, jedoch auf Kosten einer hohen Durchlaufzeit. Die Aufträge der SGE B sind gekennzeichnet durch eine schlechte Liefertreue aufgrund verspäteter Auftragsstarts. Die tatsächliche Durchlaufzeit liegt ziemlich genau bei der geplanten Durchlaufzeit.

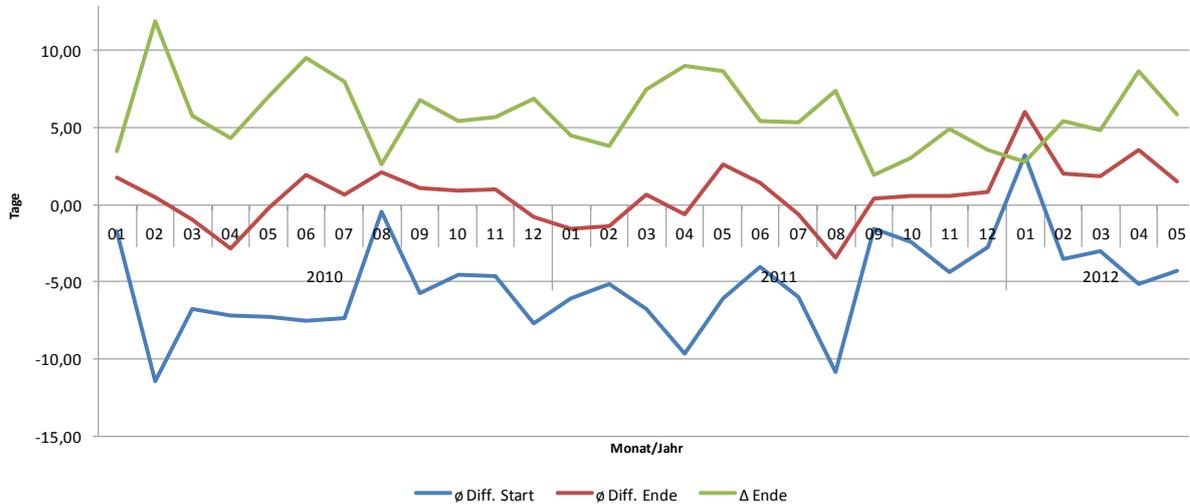


Abbildung 123: Verlauf der Terminabweichung und Termintreue SGE A



Abbildung 124: Verlauf der Terminabweichung und Termintreue SGE B

Mit dem vorgestellten Kennzahlenbericht wurden auch die Auswirkungen der in der vorigen Phase implementierten Planungsregeln auf die Durchlaufzeit verfolgt. Die Ergebnisse finden sich im nächsten Abschnitt.

### 8.8.2 Auswirkung der neuen Planungsregeln auf die Durchlaufzeit

Ein Vergleich der Durchlaufzeiten für die definierte Prozessstrecke brachte eine Reduktion der Durchlaufzeit um 22%. Während die Durchlaufzeit zwischen den zwei betroffenen Anlagen im Jahr 2010 im Mittel ca. 9 Tage betrug, konnte in einer ersten Testphase die Durchlaufzeit im Zeitraum von November 2011 bis März 2012 auf ca. 7 Tage reduziert werden. Die Auswirkung auf die Durchlaufzeit ist in Abbildung 125 dargestellt.

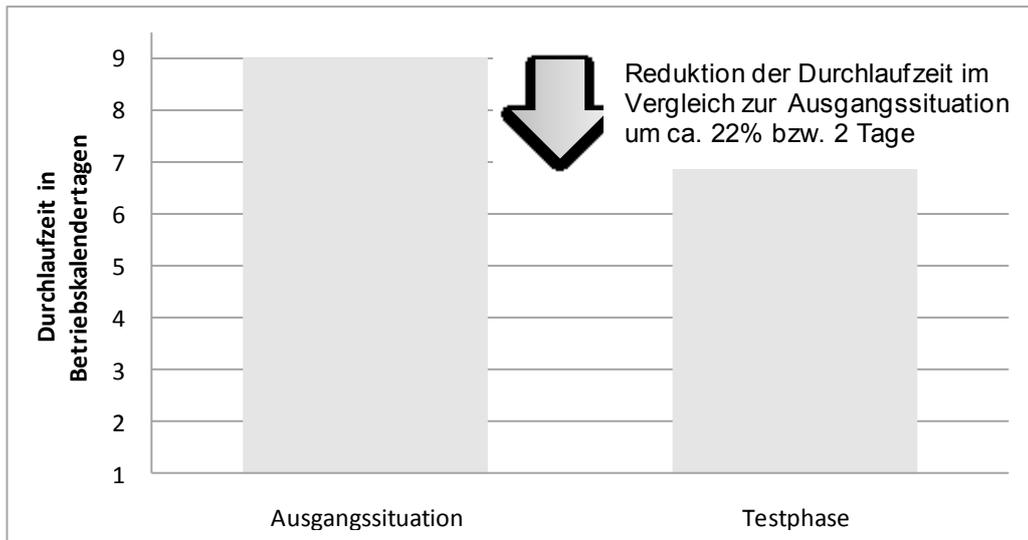


Abbildung 125: Wirkung der Planungsregeln auf die Durchlaufzeit für die untersuchte Prozessstrecke

Auch wenn Produktmixänderungen einen genauen Vergleich erschweren, wurden die Planungsregeln in Form von Maximalbeständen für bestimmte Merkmale von den Planern als sehr positiv bewertet. Abbildung 126 veranschaulicht die Änderung der prozentualen Verteilung der Fertigungsaufträge nach dem Merkmal Qualität. In weiterer Folge wurden diese Planungsregeln weiter getestet und verbessert. Dabei wurden die in einem ersten Schritt definierten Regeln aus Tabelle 38 weiter vereinfacht, da sich herausgestellt hatte, dass durch die Vereinfachung Schwankungen im Produktmix besser berücksichtigt werden können.

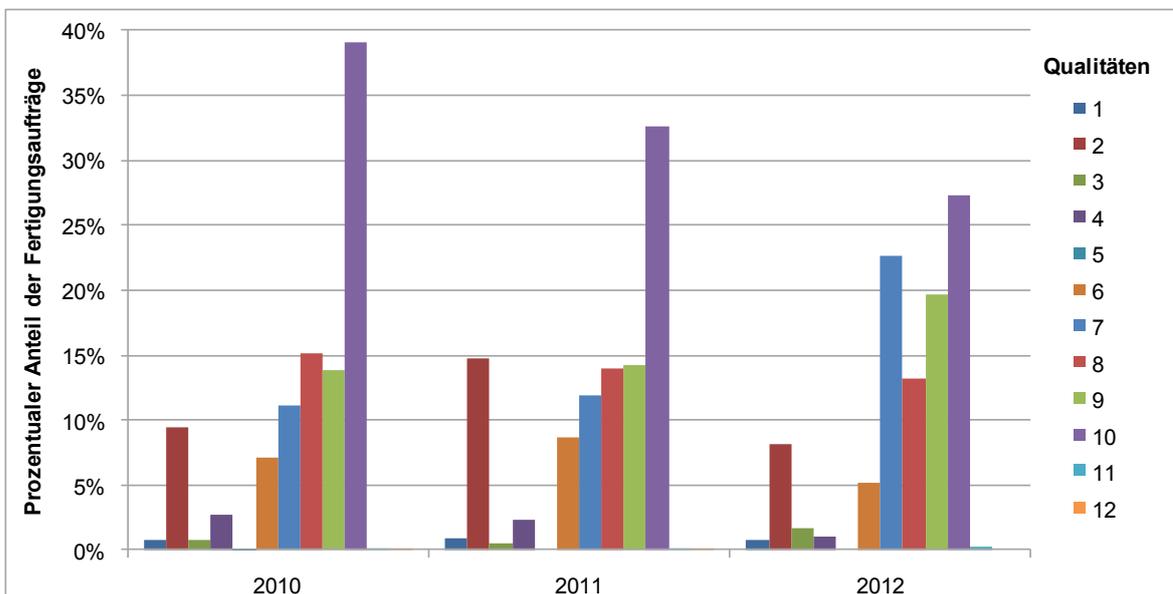


Abbildung 126: Änderung des Produktmixes nach dem Merkmal Qualität

Abschließend lässt sich festhalten, dass sich das in Abschnitt 7.5 vorgestellte Vorgehenskonzept zur Ableitung von Planungsregeln mittels Data-Mining Methoden anhand des Fallbeispiels als geeignet erwiesen hat. Für eine identifizierte Prozessstrecke konnten die Durchlaufzeiten und damit auch die Bestände in der Fertigung nachweislich reduziert werden.

## 8.9 Resümee

Durch die Möglichkeiten logistische Zielgrößen zu analysieren und zu verbessern trägt das vorgestellte Vorgehensmodell zur Erhöhung der Wertschöpfung der Produktion bei. Die Anwendung ist dabei nicht nur auf die Ableitung auf Planungsregeln für die Fertigungssteuerung beschränkt. In weiterer Folge kann die erläuterte Vorgehensweise mit der oben vorgestellten Zielgröße des Lean-Performance-Index auch allgemein als Methode zur Geschäftsprozessoptimierung eingesetzt werden. In Anlehnung an bestehende Konzepte wie Lean-Six-Sigma kann das Prozessmodell als Lean-Data-Mining bezeichnet werden.

Die einzelnen Phasen lassen sich, wie in Tabelle 40 veranschaulicht, in den DMAIC-Regelkreis einbinden. Dieser stellt die Basis für eine systematische und faktenbasierte Vorgehensweise zur Optimierung bestehender Prozesse und den Standard für die zu durchlaufenden Projektmeilensteine von Verbesserungsprojekten nach dem Six-Sigma-Ansatz dar.<sup>637</sup>

Tabelle 40: Data-Mining im DMAIC-Regelkreis<sup>638</sup>

Phasen und Werkzeuge		Mission
<b>Define</b>	<i>Systemabgrenzung und Strukturanalyse</i> SIPOC, Sankey-Diagramm <i>Zielformulierung</i> Zielportfolio	Projektumfang ist definiert Ist- und Sollzustand sind dargestellt und das zu verbessernde System ist abgegrenzt
<b>Measure</b>	<i>Analyse der Datenstruktur</i> Daten selektieren und aufbereiten	Die Ausgangssituation ist erfasst Kennzahlen und eine operationale Definition sind entwickelt und die Daten sind gesammelt
<b>Analyze</b>	<i>Data-Mining</i> Anwendung von Data-Mining-Methoden (Clusteranalyse,...)	Die Kernursachen sind gefunden. Die Ursachen für Engpässe, hohe Bestände bzw. lange Durchlaufzeiten sind gefunden
<b>Improve</b>	<i>Planungsregeln ableiten und implementieren</i> 5W-Methode, Ishikawa,... Ursache Wirkungsdiagramm Pilotierung und Rollout Planung	Die Lösung ist implementiert Auf Basis der Kernursachen sind die möglichen Lösungen entwickelt, systematisch ausgewählt und für die Implementierung vorbereitet worden.
<b>Control</b>	<i>Wirkungskontrolle</i> Planungsregeln Kennzahlen	Die Nachhaltigkeit des Ergebnisses ist sichergestellt. Die implementierten Lösungen sind dokumentiert und werden mittels Kennzahlen überwacht.

Während Lean Six Sigma eine Kombination aus Lean Management und Six Sigma darstellt, hat Lean Data-Mining schlanke Prozesse zum Ziel, die durch die Anwendung von Data-Mining erreicht werden können. Im Unterschied zu Lean-Six-Sigma werden in diesem Ansatz anstelle von Six-Sigma-Methoden, Methoden aus dem Data-Mining verwendet, mit denselben aus dem Lean-Production bekannten Zielen nämlich Verschwendungen in der Produktion zu entdecken. Auf Basis der neu entdeckten Verschwendungen, wie beispielsweise hohe Durchlaufzeiten und Bestände oder geringe Auslastungen, sollen die Prozesse mit möglichst geringer Verschwendung und kurzer Durchlaufzeit also Lean gestaltet werden.<sup>639</sup>

<sup>637</sup> Vgl. Mollenhauer et al. (2007), S. 11; Gamsweger/Jöbstl (2012), S. 238ff

<sup>638</sup> Quelle: in Anlehnung an Mollenhauer et al. (2007), S. 12

<sup>639</sup> Vgl. Töpfer/Swen (2008), S. 3

## 9 Zusammenfassung und Ausblick

Dieses Kapitel vermittelt einen Überblick über die Ergebnisse dieser Arbeit und fasst die Ziele und die gewonnenen Erkenntnisse zusammen. Abschließend wird auch noch ein Ausblick über weiter zu behandelnde Forschungsfelder gegeben, die sich in dieser Arbeit gezeigt haben.

Das Ziel dieser Arbeit bestand darin, einen Beitrag zur Lösung von Forschungsfragen zu leisten, welche sich mit wissensbasierten Ansätzen zur Analyse und Verbesserung von Produktionssystemen auseinandersetzen. Der Fokus lag dabei auf flexibilitätsorientierten Produktionssystemen der Prozessindustrie, welche bisher in der Forschung noch wenig betrachtet wurden. Die wissenschaftliche Kernfragestellung lautete:

*„Mit welchen wissensbasierten Ansätzen kann das operative Produktionsmanagement in der flexibilitätsorientierten Prozessindustrie gestaltet und verbessert werden?“*

Die aus dieser Kernfrage abgeleiteten fünf Forschungsfragen wurden in dieser Arbeit folgendermaßen beantwortet:

**(1) Welche theoretischen Grundlagen werden zur Beantwortung der wissenschaftlichen Kernfrage benötigt, und wie sieht dazu ein Basismodell des operativen Produktionsmanagements aus?**

In Kapitel 3 wurden dazu die theoretischen Grundlagen des Produktionsmanagements erörtert und ein Basismodell des operativen Produktionsmanagements vorgestellt, das die Materialbedarfsplanung und die Produktionsablaufplanung und -steuerung als näher zu untersuchende Aufgabenbereiche enthält.

**(2) Welche betriebstypologischen Merkmale weist ein Produktionssystem in der flexibilitätsorientierten Prozessindustrie auf?**

Zur Beschreibung der Charakteristika eines flexibilitätsorientierten Produktionssystems in der Prozessindustrie wurden dazu in Kapitel 4 betriebstypologische Merkmale aus der Literatur abgeleitet.

**(3) Welche Planungsspezifika weist ein Produktionssystem in der flexibilitätsorientierten Prozessindustrie auf?**

In Kapitel 5 wurden die Planungsspezifika eines Produktionssystems in der flexibilitätsorientierten Prozessindustrie anhand eines Fallbeispiels konkretisiert. Als Fallbeispiel diente ein integriertes Aluminiumwalzwerk, das durch eine hohe Flexibilität, eine hohe Variantenvielfalt und ein komplexes Produktionssystem charakterisiert ist. Eine wesentliche Voraussetzung zur Handhabung der Flexibilität ist dabei einerseits ein computergestütztes PPS-System, in dem die hohe Produktflexibilität durch eine automatische Variantenkonfiguration und die hohe Arbeitsplanflexibilität durch eine flexible Auftragsstruktur abgebildet werden kann. Auf der anderen Seite bilden dezentrale Planungsbereiche auf der Fertigungssteuerungsebene die Voraussetzung für eine schnelle Reaktionsfähigkeit bei sich ändernden Produktionssituationen. Zur Unterstützung der Fertigungssteuerung scheinen in einem MES implementierte Planungsregeln in Form von Wissenstabellen ein mögliches Mittel zu sein, um Abhängigkeiten und Auswirkungen der Planungsentscheidungen aufzuzeigen.

**(4) Mit welchem Vorgehensmodell kann die Materialbedarfsplanung in der flexibilitätsorientierten Prozessindustrie unter Nutzung des in der Supply Chain vorliegenden Wissens verbessert werden?**

In Kapitel 6 wurde hierzu ein auf bestehenden Supply Chain Managementansätzen basierendes Verfahren für die kollaborative Materialbedarfsplanung entwickelt. Das Verfahren kann vor allem dann angewandt werden, wenn der erste Variantenbildungspunkt beim Lieferanten liegt, die gewünschte Lieferzeit kleiner als die Gesamtdurchlaufzeit ist und eine, wie in der Prozessindustrie meist übliche, divergierende Produktstruktur vorliegt. Während klassische Materialbedarfsplanungsverfahren hier eine verbrauchsorientierte Steuerung vorsehen, wird ein quasideterministisches Verfahren vorgestellt, bei dem der Kunde frühzeitig in die Materialbedarfsplanung im Sinne des Konzeptes des Collaborative Planning Forecasting and Replenishment einbezogen wird. Durch Verbesserung des Wissenstransfers konnte dadurch die Liefertreue am Fallbeispiel deutlich gesteigert werden.

**(5) Mit welchen prozessualen Vorgehen und Methoden lassen sich die in den PPS-Systemen vorliegenden Daten zur Ableitung von Planungsregeln und Verbesserung logistischer Zielgrößen nutzen, und wie muss ein PPS-System dafür aufgebaut sein?**

Kapitel 7 beschäftigte sich mit Methoden des Data-Mining und erläuterte deren Einsatz, um aus bestehenden Daten der Produktionsplanungssysteme implizit vorhandenes, potenziell nützliches Wissen zu entdecken, das zur Ableitung von Planungsregeln und zur Verbesserung logistischer Zielgrößen beitragen kann. Die Anwendung des vorgestellten Vorgehenskonzeptes ergibt einen Ansatz für eine wissensbasierte Produktionsplanung und brachte in einem flexibilitätsorientierten integrierten Aluminiumwalzwerk eine signifikante Reduktion der Durchlaufzeit und Bestände für eine definierte Prozessstrecke.

Die vorgestellten Vorgehenskonzepte leisten damit nicht nur einen Beitrag für die Beantwortung von Forschungsfragen in der Scientific Community, sondern bieten auch Unternehmen eine umfangreiche Hilfestellung für die Analyse von Produktionssystemen und zur Verbesserung logistischer Zielgrößen durch Verbesserungsmaßnahmen in der Produktionsplanung. Das Modell des Collaborative Material Requirement Planning zeichnet sich insbesondere für Unternehmen in der Prozessindustrie als interessante Ergänzung oder Alternative zu herkömmlichen Materialbedarfsplanungsverfahren und unternehmensspezifischen Heuristiken aus. Voraussetzung ist hier allerdings, dass sich dazu Geschäftspartner innerhalb der Supply Chain finden lassen, um eine gemeinsame optimale Lösung für alle Geschäftspartner zu erarbeiten.

Die Anwendung des auf Data-Mining basierenden Vorgehenskonzeptes scheint nicht nur für flexibilitätsorientierte Unternehmen der Prozessindustrie interessant zu sein. Neben der Ableitung von Planungsregeln, wäre es auch interessant das Vorgehenskonzept allgemein zur Ableitung von Verbesserungsmaßnahmen innerhalb der Produktion einzusetzen und als Methode zur Geschäftsprozessoptimierung zu erweitern. Beispielsweise können dadurch auch anlagenbezogene Kennzahlen explorativ analysiert werden, um Einflussfaktoren zu identifizieren, die zur Steigerung der Gesamtanlageneffektivität genutzt werden können.

## Literaturverzeichnis

- Adam, D. (1997): Produktions-Management. Wiesbaden: Gabler Verlag, 8. Aufl.
- Adam, D.; Backhaus, K.; et al. (2003): Allgemeine Betriebswirtschaftslehre - Koordination betrieblicher Entscheidungen. Wiesbaden: Gabler Wissenschaftsverlage.
- Agrawal, R.; Srikant, R. (1994): Fast algorithms for mining association rules. Proceedings 20th Int. Conf. Very Large Data Bases, VLDB. Santiago de Chile, Bd. 1215, S. 487–499.
- Alpaydin, E. (2008): Maschinelles Lernen. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag.
- Altrogge, G. (1996): Flexibilität der Produktion. In: Kern, W. (Hrsg.), Handwörterbuch der Produktionswirtschaft, Enzyklopädie der Betriebswirtschaftslehre. Stuttgart: C.E. Poeschel Verlag, Bd. 7, S. 604–618.
- AMAG Austria Metall AG (Hrsg.) (2008): Hochwertige Gießtechnologie. In: AluReport, Nr. 1/2008, S. 9.
- AMAG Austria Metall AG (Hrsg.) (2011): Aluminium-Recycling – eine wesentliche Säule des AMAG Konzerns. In: AluReport, Nr. 1/2011, S. 11.
- AMAG Austria Metall AG (Hrsg.) (2012): AMAG Geschäftsbericht 2011. Ranshofen.
- AMAG rolling GmbH (Hrsg.) (2010): AMAG Rolling GmbH Unternehmenspräsentation. Ranshofen.
- Amberg, M. (2004): Basistechnologien von CRM-Systemen. In: Hippner, H.; Wilde, K.D. (Hrsg.), IT-Systeme im CRM. Wiesbaden: Gabler, S. 43–74.
- Arnold, D. (Hrsg.) (2004): Handbuch Logistik. Berlin u.a.: Springer, 2. Aufl.
- Arnolds, H.; Heege, F.; et al. (2009): Materialwirtschaft und Einkauf: Grundlagen - Spezialthemen - Übungen. Wiesbaden: Gabler, 11. Aufl.
- Attelander, P. (2003): Methoden der empirischen Sozialforschung. Berlin: Walter de Gruyter, 10. Aufl.
- Azevedo, A.; Santos, M.F. (2008): KDD, SEMMA and CRISP-DM: a parallel overview. Proceedings of the IADIS European conf. data mining. S. 182–185.
- Bacher, J.; Pöge, A.; et al. (2010): Clusteranalyse: Anwendungsorientierte Einführung in Klassifikationsverfahren. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag, 3. Aufl.
- Bamberg, G.; Baur, F.; et al. (2008): Statistik. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag, 14. Aufl.
- Barad, M.; Sapiro, D. (2003): Flexibility in logistic systems—modeling and performance evaluation. In: International Journal of Production Economics, Vol. 85, Nr. 2, S. 155–170.
- Barad, M.; Sipper, D. (1988): Flexibility in manufacturing systems: definitions and Petri net modelling. In: International Journal of Production Research, Vol. 26, Nr. 2, S. 237–248.

- Baszenski, N. (2003): Methodensammlung zur Unternehmensprozess-Optimierung. Köln: Wirtschaftsverlag Bachem.
- Baszenski, N. (2008): Methodensammlung zur Unternehmensprozessoptimierung. Köln: Wirtschaftsverlag Bachem, 3. Aufl.
- Bauer, J. (2009): Produktionscontrolling mit SAP-Systemen: Effizientes Controlling, Logistik- und Kostenmanagement moderner Produktionssysteme. Wiesbaden: Vieweg, 3. Aufl.
- Bea, F.X.; Haas, J. (1997): Strategisches Management: 129 Abbildungen. UTB.
- Beach, R.; Muhlemann, A.P.; et al. (2000): A review of manufacturing flexibility. In: European Journal of Operational Research, Vol. 122, Nr. 1, S. 41–57.
- Beckmann, H. (2003): Supply Chain Management: Strategien und Entwicklungstendenzen in Spitzenunternehmen. Berlin u.a.: Springer.
- Beckmann, H. (2012): Prozessorientiertes Supply Chain Engineering: Strategien, Konzepte und Methoden zur modellbasierten Gestaltung. Wiesbaden: Springer Gabler.
- Beekmann, F.; Chamoni, P. (2006): Verfahren des Data Mining. In: Chamoni, P.; Gluchowski, P. (Hrsg.), Analytische Informationssysteme. Berlin u.a.: Springer, S. 263–282.
- Benz, J.; Höflinger, M. (2011): Logistikprozesse mit SAP®: Eine anwendungsbezogene Einführung - Mit durchgehendem Fallbeispiel - Geeignet für SAP Version 4.6A bis ECC 6.0. Wiesbaden: Vieweg +Teubner, 3. Aufl.
- Bergmann, W. (2008): Werkstofftechnik 1: Grundlagen. Hanser Verlag.
- Berndt, R.; Altobelli, C.F.; et al. (1998): Springers Handbuch Der Betriebswirtschaftslehre 1. Berlin: Springer.
- Berning, G.; Brandenburg, M.; et al. (2004): Integrating collaborative planning and supply chain optimization for the chemical process industry (I)—methodology. In: Computers & chemical engineering, Vol. 28, Nr. 6, S. 913–927.
- Berry, W.L.; Cooper, M.C. (1999): Manufacturing flexibility: methods for measuring the impact of product variety on performance in process industries. In: Journal of Operations Management, Vol. 17, Nr. 2, S. 163–178.
- BGR (2005): Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe: Rohstoffwirtschaftliche Steckbriefe für Metall- und Nichtmetallrohstoffe. Abgerufen Oktober 23, 2011, von <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/P-R/rohstoffwirtschaftliche-steckbriefe,property=pdf,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.pdf>
- Bhagwat, R.; Sharma, M.K. (2007): Performance measurement of supply chain management: A balanced scorecard approach. In: Computers & Industrial Engineering, Vol. 53, Nr. 1, S. 43–62.
- Blasius, J. (2001): Korrespondenzanalyse. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag.
- Bloech, J.; Bogaschewsky, R.; et al. (2003): Einführung in Die Produktion. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 5. Aufl.
- Bolstad, W.M. (2007): Introduction to Bayesian statistics. New Jersey: John Wiley & Sons, 2. Aufl.

- Bornhäuser, M. (2009): Reifegradbasierte Werkstattsteuerung. IPA-IAO Forschung und Praxis. Heimsheim: Jost-Jetter Verlag.
- Bortz, J.; Döring, N. (2006): Forschungsmethoden und Evaluation: für Human- und Sozialwissenschaftler. Heidelberg: Springer, 3. Aufl.
- Boysen, N.; Golle, U.; et al. (2011): The Car Resequencing Problem with Pull-Off Tables. In: BuR - Business Research, Vol. 4, Nr. 2, S. 275–292.
- Boysen, N.; Höck, C.; et al. (2008): Zum Einsatz quantitativer Methoden in der betriebswirtschaftlichen Forschung – Bestandsaufnahme und Perspektiven. In: Höck, M.; Voigt, K.-I. (Hrsg.), Operations-Management in Theorie und Praxis: aktuelle Entwicklungen des industriellen Management. Wiesbaden: DUV, S. 1–25.
- Brewer, P.C.; Speh, T.W. (2000): Using the balanced scorecard to measure supply chain performance. In: Journal of Business logistics, Vol. 21, Nr. 1, S. 75–94.
- Brocke, J.V. (2003): Referenzmodellierung. Jan vom Brocke.
- Bronk, E.; Vogt, V. (2001): Prozessoptimierung durch die Einführung einer dynamischen engpassbasierten Fertigungsplanung. In: PPS Management, Vol. 6, Nr. 4, S. 14–17.
- Browne, J.; Dubois, D.; et al. (1984a): Classification of Flexible Manufacturing Systems. In: The FMS Magazine, Vol. 2, S. 114–117.
- Browne, J.; Dubois, D.; et al. (1984b): Types of flexibilities and classification of flexible manufacturing systems, Working paper no. 367. University of Michigan.
- Bühner, R. (2004): Betriebswirtschaftliche Organisationslehre. München: Oldenbourg Verlag, 10. Aufl.
- Bullinger, H.-J.; Kühner, M.; et al. (2002): Analysing supply chain performance using a balanced measurement method. In: International Journal of Production Research, Vol. 40, Nr. 15, S. 3533–3543.
- Bullinger, H.-J.; Warnecke, H.-J.; et al. (2003): Neue Organisationsformen im Unternehmen: ein Handbuch für das moderne Management: mit 653 Abbildungen. Berlin, Heidelberg: Springer, 2. Aufl.
- Busch, A.; Dangelmaier, W. (2004): Integriertes Supply Chain Management: Theorie und Praxis effektiver unternehmensübergreifender Geschäftsprozesse. Wiesbaden: Gabler Verlag, 2. Aufl.
- Buzacott, J.; Mandelbaum, M. (2008): Flexibility in manufacturing and services: achievements, insights and challenges. In: Flexible Services and Manufacturing Journal, Vol. 20, Nr. 1, S. 13–58.
- Buzacott, J.A.; Corsten, H.; et al. (2009): Produktionsplanung und-steuerung: Grundlagen, Konzepte und integrative Entwicklungen. München: Oldenbourg Verlag.
- Camphausen, B. (2007): Strategisches Management: Planung, Entscheidung, Controlling. München: Oldenbourg Verlag, 2. Aufl.
- Chamoni, P.; Gluchowski, P.; et al. (2005): Business Information Warehouse: Perspektiven betrieblicher Informationsversorgung und Entscheidungsunterstützung auf der Basis von SAP-Systemen. Berlin u.a.: Springer.

- Chen, L.-D.; Sakaguchi, T.; et al. (2000): Data Mining Methods, Applications, and Tools. In: Information Systems Management, Vol. 17, Nr. 1, S. 1–6.
- Choudhary, A.K.; Harding, J.A.; et al. (2008): Data mining in manufacturing: a review based on the kind of knowledge. In: Journal of Intelligent Manufacturing, Vol. 20, Nr. 5, S. 501–521.
- Cios, K.J.; Pedrycz, W.; et al. (2007): Data mining: a knowledge discovery approach. New York: Springer.
- Cleff, T. (2008): Deskriptive Statistik und moderne Datenanalyse: Eine computergestützte Einführung mit Excel, SPSS und STATA. Wiesbaden: Gabler Verlag.
- Correa, H.L. (1992): The links between uncertainty, variability of outputs and flexibility in manufacturing systems, Dissertation. University of Warwick.
- Corsten, D.; Gabriel, C. (2003): Supply Chain Management erfolgreich umsetzen: Grundlagen, Realisierung und Fallstudien. Berlin u.a.: Springer, 2. Aufl.
- Corsten, H.; Gössinger, R. (2012): Produktionswirtschaft: Einführung in das industrielle Produktionsmanagement. München: Oldenbourg Verlag, 13. Aufl.
- Cox, J.F.; Blackstone, J.H.; et al. (1992): APICS Dictionary. Falls Church: APICS Inc., Bd. 7. Auflage.
- Cox, J.F.; Blackstone, J.H. (2005): APICS Dictionary. Amer Production & Inventory, 11. Aufl.
- Crama, Y.; Pochet, Y.; et al. (2001): A discussion of production planning approaches in the process industry, CORE Discussion Paper No. 2001042. Université catholique de Louvain, Center for Operations Research and Econometrics (CORE).
- Davies, R. (1989): The Creation of New Knowledge by Information Retrieval and Classification. In: Journal of Documentation, Vol. 45, Nr. 4, S. 273–301.
- Dennis, D.; Meredith, J. (2000): An Empirical Analysis of Process Industry Transformation Systems. In: Management Science, Vol. 46, Nr. 8, S. 1085–1099.
- Dickmann, P. (2008): Schlanker Materialfluss: mit Lean Production, Kanban und Innovationen. Berlin u.a.: Springer.
- DIN 13306 (2010): DIN EN 13306:2010-12 Instandhaltung - Begriffe der Instandhaltung. .
- Dombrowski, U. (1988): Qualitätssicherung im Terminwesen der Werkstattfertigung. Dissertation Universität Hannover: VDI Verlag.
- Domschke, W.; Scholl, A.; et al. (1993): Produktionsplanung - ablauforganisatorische Aspekte. Berlin u.a.: Springer Verlag.
- Domschke, W.; Scholl, A. (2007): Grundlagen Der Betriebswirtschaftslehre: Eine Einführung Aus Entscheidungsorientierter Sicht. Berlin u.a.: Springer, 3. Aufl.
- Düsing, R. (2006): Knowledge Discovery in Databases. In: Chameni, P.; Gluchowski, P. (Hrsg.), Analytische Informationssysteme. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 241–262.
- Dworatschek, S. (1989): Grundlagen der Datenverarbeitung. Berlin: Walter de Gruyter, 8. Aufl.

- Dyckhoff, H. (2006): Produktionstheorie: Grundzüge industrieller Produktionswirtschaft. Berlin u.a.: Springer, 5. Aufl.
- Dyckhoff, H.; Spengler, T. (2007): Produktionswirtschaft - Eine Einführung für Wirtschaftsingenieure. Berlin u.a.: Springer Verlag, 2. Aufl.
- Eckey, H.-F.; Kosfeld, R.; et al. (2002): Multivariate Statistik Grundlagen - Methoden - Beispiele. Wiesbaden: Gabler.
- Elpelt, B.; Hartung, J. (2007): Multivariate Statistik: Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag, 7. Aufl.
- Erlach, K. (2010): Wertstromdesign: Der Weg Zur Schlanken Fabrik. Heidelberg: Springer, 2. Aufl.
- Ertel, W. (2009): Grundkurs Künstliche Intelligenz: Eine praxisorientierte Einführung. Wiesbaden: Vieweg + Teubner, 2. Aufl.
- Ester, M.; Sander, J. (2000): Knowledge Discovery in Databases: Techniken und Anwendungen. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Fandel, G. (2005): Produktion I: Produktions- und Kostentheorie. Berlin, Heidelberg: Springer, 6. Aufl.
- Fandel, G.; Fistek, A.; et al. (2009): Produktionsmanagement. Berlin u.a.: Springer.
- Fandel, G.; Gubitz, K.-M. (2008): ERP-Systeme für Industrie-, Handels- und Dienstleistungsunternehmen: Grundlagen, Methoden, Software, Marktanalyse. Hagen: AIP-Institut.
- Fayyad, U.; Piatetsky-Shapiro, G.; et al. (1996): From Data Mining to Knowledge Discovery in Databases. In: AI MAGAZINE, Vol. 17, S. 37–54.
- Feldmann, K.; Gergs, H.-J.; et al. (2003): Montage Strategisch Ausrichten - Praxisbeispiele Marktorientierter Prozesse Und Strukturen. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Festel, G.; Hassan, A.; et al. (2001): Betriebswirtschaftslehre für Chemiker: Eine praxisorientierte Einführung. Berlin u.a.: Springer.
- Flidner, G. (2003): CPFR: an emerging supply chain tool. In: Industrial Management & Data Systems, Vol. 103, Nr. 1, S. 14–21.
- Focacci, F.; Simchi-Levi, D. (2009): Bringing Lean Strategies to the Process and Hybrid Industries.PDF. .Abgerufen Oktober 31, 2011, von <ftp://public.dhe.ibm.com/common/ssi/sa/wh/n/wsw14065usen/WSW14065USEN.PDF>
- Forrester, J.W. (1961): Industrial Dynamics. MIT Press.
- Fouche, G.; Langit, L. (2011): Foundations of SQL Server 2008 R2 Business Intelligence. Apress.
- Franke, H.-J. (2002): Variantenmanagement in der Einzel- und Kleinserienfertigung. München: Carl Hanser Verlag.
- Friedag, H.R.; Schmidt, W. (2007): Balanced Scorecard. München: Haufe Verlag, 3. Aufl.

- Friedli, T. (2005): *Technologiemanagement: Modelle zur Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit*. Berlin u.a.: Springer.
- Friedrich, S. (2004): Stand der IT-Unterstützung für das Supply Chain Management in der Prozessindustrie. In: Spengler, T.; Voss, S.; et al. (Hrsg.), *Logistik Management: Prozesse, Systeme, Ausbildung*. Heidelberg: Pysica-Verlag, S. 145–160.
- Fröhling, M. (2006): *Zur taktisch-operativen Planung stoffstrombasierter Produktionssysteme: dargestellt an Beispielen aus der stoffumwandelnden Industrie*. Wiesbaden: DUV.
- Gabriel, R.; Pastwa, A.; et al. (2009): *Data Warehouse & Data Mining*. Herdecke, Witten: W3I GmbH.
- Gamsweger, J.; Jöbstl, O. (2012): Six Sigma. In: Kamiske, G.F. (Hrsg.), *Handbuch QM-Methoden*. München: Hanser, S. 235–279.
- Geiger, W.; Kotte, W. (2008): *Handbuch Qualität*. Wiesbaden: Vieweg, 5. Aufl.
- Gesamtverband der Aluminiumindustrie e.V. (Hrsg.) (2008): *Bestellung von Aluminiumerzeugnissen nach EN-Normen*. Düsseldorf: GDA, 3. Aufl.
- Goldratt, E.M.; Cox, J.; et al. (2004): *The Goal: A Process of Ongoing Improvement*. Gower, 3. Aufl.
- Gollwitzer, M.; Karl, R. (1998): *Logistik-Controlling*. München: Langen Müller/Herbig.
- Görtz, M.H., Marcus (2009): *ERP-Systeme im Einsatz: Bearbeitung typischer Geschäftsvorfälle mit Microsoft Dynamics NAV 5.0*. Herdecke, Witten: W3I GmbH.
- Görz, G. (2003): *Handbuch der Künstlichen Intelligenz*. München: Oldenbourg Verlag, 4. Aufl.
- Grabner, T. (2012): *Operations Management*. Wiesbaden: Springer.
- Grigoroudis, E.; Orfanoudaki, E.; et al. (2012): Strategic performance measurement in a healthcare organisation: A multiple criteria approach based on balanced scorecard. In: *Omega*, Vol. 40, Nr. 1, S. 104–119.
- Gronau, N. (2004): *Enterprise Resource Planning und Supply Chain Management*. München: Oldenbourg Verlag.
- Gronau, N. (2012a): Ist die diskrete Fertigung langweilig? In: *Productivity Management*, Vol. 17, Nr. 5, S. 3.
- Gronau, N. (2012b): Analytic Manufacturing - Gesteigerte Wettbewerbsfähigkeit durch optimale Nutzung von Fertigungsdaten. In: *Productivity Management*, Vol. 17, Nr. 5, S. 19–21.
- Gronau, N. (2012c): *Handbuch der ERP-Auswahl*. Berlin: GITO mbH Verlag.
- Große-Heitmeyer, V.; Wiendahl, H.-P. (2004): Einführung. In: Wiendahl, H.-P.; Gerst, D.; et al. (Hrsg.), *Variantenbeherrschung in der Montage: Konzept und Praxis der flexiblen Produktionseinstufe*. Berlin u.a.: Springer, S. 3–20.
- Gudehus, T. (2006): *Logistik 1: Grundlagen, Verfahren und Strategien*. Berlin, Heidelberg: Springer, 3. Aufl.

- Günther, H.-O.; Tempelmeier, H. (2005): Produktion und Logistik. Berlin u.a.: Springer, 6. Aufl.
- Gutenberg, E. (1983): Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre - Die Produktion. Berlin u.a.: Springer, 24. Aufl.
- Haberfellner, R.; Daenzer, W.F. (2002): Systems engineering. Zürich: Verlag Industrielle Organisation.
- Hagemann, S. (2008): Maßzahlen für die Assoziationsanalyse im Data Mining: Fundierung, Analyse und Test. Hamburg: Diplomica Verlag.
- Hahn, D.; Laßmann, G. (1999): Produktionswirtschaft - Controlling industrieller Produktion: Band 1+2: Grundlagen, Führung und Organisation, Produkte und Produktprogramm, Material und Dienstleistungen, Prozesse. Heidelberg: Physica Verlag.
- Handl, A. (2002): Multivariate Analysemethoden. Berlin u.a.: Springer.
- Hannemann, N. (2010): Data Mining als Steuerungsansatz im Vertriebscontrolling. Norderstedt: GRIN Verlag.
- Hansmann, K.-W. (2006): Industrielles Management. München: Oldenbourg Verlag, 8. Aufl.
- Harding, J.A.; Shahbaz, M.; et al. (2006): Data Mining in Manufacturing: A Review. In: Journal of Manufacturing Science and Engineering, Vol. 128, Nr. 4, S. 969–976.
- Harel, D.; Koren, Y. (2004): Graph Algorithms And Applications 3. In: Liotta, G.L.; Tamassia, R.; et al. (Hrsg.), Graph Algorithms and Applications 3: Editors Giuseppe Liotta, Roberto Tamassia, Ioannis G. Tollis. Singapore: World Scientific Publishing, S. 179–202.
- Hartmann, E.H. (2007): TPM - Effiziente Instandhaltung und Maschinenmangement: Stillstandzeiten verringern, Maschinenleistungen steigern, Betriebszeiten erhöhen. München: mi-Fachverlag, 3. Aufl.
- Hartung, J.; Elpelt, B.; et al. (2005): Statistik: Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag, 14. Aufl.
- Heinen, E. (1991): Industriebetriebslehre als entscheidungsorientierte Unternehmensführung. In: Heinen, E. (Hrsg.), Industriebetriebslehre. Wiesbaden: Gabler, 9. Aufl., S. 1–72.
- Hellingrath, B.; Kuhn, A. (2002): Supply Chain Management: Optimierte Zusammenarbeit in der Wertschöpfungskette. Berlin u.a.: Springer.
- Hering, E.; Frick, G. (2003): Betriebswirtschaft in Fallbeispielen. München, Wien: Hanser Verlag.
- Hering, N.; Schenk, M.; et al. (2012): Unternehmensübergreifendes Bestandsmanagement. In: Schuh, G.; Stich, V. (Hrsg.), Produktionsplanung und -steuerung 2 - Evolution der PPS. Berlin u.a.: Springer, 4. Aufl., S. 390–415.
- Hertel, J.; Zentes, J.; et al. (2011): Supply-Chain-Management und Warenwirtschaftssysteme im Handel. Heidelberg u.a.: Springer, 2. Aufl.
- Hilbrans, H.; Bargel, H.-J. (2009): Werkstoffkunde. Berlin u.a.: Springer, 10. Aufl.
- Hippner, H.; Wilde, K.D. (Hrsg.) (2004): IT-Systeme im CRM. Wiesbaden: Gabler.

- Holland, H. (2011): Direktmarketing: Im Dialog mit dem Kunden. München: Vahlen, 3. Aufl.
- Homburg, C. (2000): Quantitative Betriebswirtschaftslehre: Entscheidungsunterstützung durch Modelle. Mit Beispielen, Übungsaufgaben und Lösungen. Gabler Verlag.
- Hompel, M. ten; Heidenblut, V. (2011): Taschenlexikon Logistik: Abkürzungen, Definitionen und Erläuterungen der wichtigsten Begriffe aus Materialfluss und Logistik. Heidelberg u.a.: Springer, 3. Aufl.
- Höppner, F. (1999): Fuzzy cluster analysis: methods for classification, data analysis, and image recognition. Chichester: John Wiley and Sons.
- Hussy, W.; Schreier, M.; et al. (2009): Forschungsmethoden in Psychologie und Sozialwissenschaften - für Bachelor. Berlin u.a.: Springer.
- Jacob, H. (1974): Flexibilität und Unsicherheit. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, Vol. 44, S. 299–326, 403–448, 505–526.
- Jalali Naini, S.G.; Aliahmadi, A.R.; et al. (2011): Designing a mixed performance measurement system for environmental supply chain management using evolutionary game theory and balanced scorecard: A case study of an auto industry supply chain. In: Resources, Conservation and Recycling, Vol. 55, Nr. 6, S. 593–603.
- Jie, L. (2003): Die Beherrschung der Variantenvielfalt im Vertriebsprozess mit Hilfe des Variantenkonfigurators am Beispiel der Implementierung der „SAP R/3 Variantenkonfiguration“, Dissertation. Universität Mannheim.
- Jodlbauer, H. (2008): Produktionsoptimierung: Wertschaffende sowie kundenorientierte Planung und Steuerung. Wien: Springer, 2. Aufl.
- Jung, H. (2006): Allgemeine Betriebswirtschaftslehre. München: Oldenbourg Verlag.
- Jung, H. (2007): Controlling. München: Oldenbourg Verlag.
- Jung, R.; Winter, R. (2001): Ökonomischer Beurteilung von Projekten im Umfeld des Data Warehousing. In: Schutte, R.; Rotthowe, T.; et al. (Hrsg.), Data Warehouse Managementhandbuch: Konzepte, Software, Erfahrungen. Berlin u.a.: Springer, S. 26–38.
- Kaluza, B. (1989): Erzeugniswechsel als unternehmenspolitische Aufgabe: Integrative Lösungen aus betriebswirtschaftlicher und ingenieurwissenschaftlicher Sicht. Berlin: Schmidt Verlag.
- Kaluza, B.; Blecker, T. (2005a): Flexibilität - State of the Art und Entwicklungstrends. In: Kaluza, B.; Blecker, T. (Hrsg.), Erfolgsfaktor Flexibilität: Strategien und Konzepte für wandlungsfähige Unternehmen. Berlin: Erich Schmidt Verlag GmbH, S. 1–28.
- Kaluza, B.; Blecker, T. (Hrsg.) (2005b): Erfolgsfaktor Flexibilität: Strategien und Konzepte Für Wandlungsfähige Unternehmen. Berlin: Erich Schmidt Verlag GmbH.
- Kalweit, A.; Paul, C.; et al. (2006): Handbuch für Technisches Produktdesign: Material und Fertigung Entscheidungsgrundlagen für Designer und Ingenieure. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Kanani, N. (2006): Werkstoffkunde für Oberflächentechniker und Galvaniseure: 700 Fragen und Antworten. München: Hanser Verlag.

- Kaplan, R.S.; Norton, D.P. (1992): The balanced scorecard—measures that drive performance. In: Harvard business review, Vol. 70, Nr. 1, S. 71–79.
- Kaplan, R.S.; Norton, D.P. (1997): Balanced Scorecard: Strategien erfolgreich umsetzen. Stuttgart: Schäffer-Poeschel.
- Kaßmann, M. (2011): Grundlagen der Verpackung: Leitfaden für die fächerübergreifende Verpackungsausbildung. Berlin u.a.: Beuth Verlag.
- Kaya, M. (2007): Verfahren der Datenerhebung. In: Albers, S.; Klapper, D.; et al. (Hrsg.), Methodik der empirischen Forschung. Wiesbaden: Gabler, S. 49–64.
- KDnuggets (2007): Poll: Data Mining Methodology. .Abgerufen Januar 10, 2012, von [http://www.kdnuggets.com/polls/2007/data\\_mining\\_methodology.htm](http://www.kdnuggets.com/polls/2007/data_mining_methodology.htm)
- KDnuggets (2011a): Poll: What do you call analyzing data? .Abgerufen Januar 10, 2012, von <http://www.kdnuggets.com/polls/2011/what-do-you-call-analyzing-data.html>
- KDnuggets (2011b): Poll: Which methods/algorithms did you use for data analysis in 2011? .Abgerufen Januar 10, 2012, von <http://www.kdnuggets.com/polls/2011/algorithms-analytics-data-mining.html>
- Kennemann, M.; Eickemeyer, S.; et al. (2010): Produktionskennlinien im dynamischen Umfeld | ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb. In: ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Vol. 105, Nr. 10, S. 865–869.
- Kiener, S. (2009): Produktions-Management: Grundlagen der Produktionsplanung und-steuerung. München: Oldenbourg Verlag, 9. Aufl.
- Kiener, S.; Maier-Scheubeck, N.; et al. (2006): Produktions-Management: Grundlagen der Produktionsplanung und-steuerung. München, Wien: Oldenbourg Verlag, 8. Aufl.
- Kieser, A.; Kurbel, K. (1996): Fertigungsorganisation. In: Kern, W. (Hrsg.), Handwörterbuch der Produktionswirtschaft, Enzyklopädie der Betriebswirtschaftslehre. Stuttgart: C.E. Poeschel Verlag, Bd. 7, S. 586–595.
- Kistner, K.-P.; Steven, M. (2001): Produktionsplanung. Heidelberg: Physica Verlag, 3. Aufl.
- Klaus, P.; Krieger, W. (2008): Gabler Lexikon Logistik: Management logistischer Netzwerke und Flüsse;[A- Z]. Wiesbaden: Gabler, 4. Aufl.
- Klein, M. (2001): Einfuehrung in die DIN-Normen: mit 793 Tabellen. Stuttgart u.a.: Teubner, 13. Aufl.
- Kleinert, A.; Sontow, K. (2010): MES-Lösungen - Ersatz oder Ergänzungen von ERP/PPS-Systemen. In: Productivity Management, Vol. 15, Nr. 2, S. 29–32.
- Kletti, J. (2006): MES Manufacturing Execution System. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Kletti, J.; Deisenroth, R. (2012): MES-Kompodium. Berlin u.a.: Springer.
- Kletti, J.; Schumacher, J. (2011): Die perfekte Produktion: Manufacturing Excellence durch Short Interval Technology (SIT). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Koch, K.-R. (2000): Einführung in die Bayes-Statistik. Berlin: Springer.

- Köksal, G.; Batmaz, İ.; et al. (2011): A review of data mining applications for quality improvement in manufacturing industry. In: Expert Systems with Applications, Vol. 38, Nr. 10, S. 13448–13467.
- Konrad, B.; Lieber, D.; et al. (2013): Striving for Zero Defect Production: Intelligent Manufacturing Control Through Data Mining in Continuous Rolling Mill Processes. In: Windt, K. (Hrsg.), Robust Manufacturing Control, Lecture Notes in Production Engineering. Berlin u.a.: Springer, S. 215–229.
- Kotsiantis, S.B. (2007): Supervised Machine Learning: A Review of Classification Techniques. Informatica 31:249–268. .
- Kromrey, H. (2006): Empirische Sozialforschung. Stuttgart: Lucius & Lucius, 11. Aufl.
- Küpper, H.-U. (1996): Produktionstypen. In: Kern, W. (Hrsg.), Handwörterbuch der Produktionswirtschaft. Stuttgart: C.E. Poeschel Verlag, S. 1636–1647.
- Kurbel, K. (1992): Entwicklung und Einsatz von Expertensystemen: Eine anwendungsorientierte Einführung in wissensbasierte Systeme. Berlin, Heidelberg: Springer, 2. Aufl.
- Kurbel, K. (2005): Produktionsplanung und -steuerung im Enterprise Resource Planning und Supply Chain Management. München: Oldenbourg Verlag.
- Larose, D.T. (2006): Data mining methods and models. New Jersey: John Wiley and Sons.
- Lassen, S. (2006, Januar 1): Gestaltung der Informationsflüsse der Auftragskoordination in Lieferketten mit hybriden Produktionsstrukturen. Aachen : Shaker.
- Laux, H. (2005): Entscheidungstheorie. Berlin u.a.: Springer, 6. Aufl.
- Lenz, T. (2008): Supply Chain Management und Supply Chain Controlling in Handelsunternehmen. Bremen, Hamburg: Salzwasser-Verlag.
- Liao, T.W. (2008): Enterprise Data Mining: A Review and Research Directions. In: Liao, T.W.; Triantaphyllou, E. (Hrsg.), Recent advances in data mining of enterprise data: algorithms and applications. Singapore: World Scientific.
- Lödding, H. (2008): Verfahren der Fertigungssteuerung Grundlagen, Beschreibung, Konfiguration. VDI-Buch. Berlin u.a.: Springer, Bd. 2. Auflage.
- Lödding, H.; Yu, K.-W.; et al. (2003): Decentralized WIP-oriented manufacturing control (DEWIP). In: Production Planning & Control, Vol. 14, Nr. 1, S. 42–54.
- Loos, P. (1997): Produktionslogistik in der chemischen Industrie - Betriebstypologische Merkmale und Informationsstrukturen. Wiesbaden: Gabler Verlag.
- MacLennan, J.; Tang, Z.; et al. (2009): Data Mining with Microsoft SQL Server 2008. Indianapolis: Wiley.
- Maimon, O.Z. (2008): Soft computing for knowledge discovery and data mining. New York: Springer.
- Mascarenhas, M.B. (1981): Planning for flexibility. In: Long Range Planning, Vol. 14, Nr. 5, S. 78–82.

- Matthes, J.P. (Hrsg.) (2012): Innovative Lösungen für die Prozesstechnik. In: chemie&chemie, Vol. 3.
- Mehanna, W.; Stasius, C. (2008): Implementierung von BI-Software: Strukturiertes Vorgehen unter Berücksichtigung von Erfolgs- und Risikofaktoren. In: Controlling Berater, S. 853–870.
- Mettinger, A.; Oberhuemer, P.; et al. (2006): eLearning an der Universität Wien: Forschung - Entwicklung - Einführung. Waxmann Verlag.
- Missbauer, H. (1998): Bestandsregelung als Basis für eine Neugestaltung von PPS-Systemen. Heidelberg: Physica Verlag.
- Miyoshi, A. (1994): Maximizing Production Effectiveness. In: Suzuki, T. (Hrsg.), TPM in Process Industries. New York: Productivity Press, S. 21–44.
- Moeller, E. (2008): Handbuch Konstruktionswerkstoffe: Auswahl, Eigenschaften, Anwendung. München: Carl Hanser Verlag.
- Mollenhauer, J.-P.; Staudter, C.; et al. (2007): Design for Six Sigma+lean Toolset: Innovationen Erfolgreich Realisieren. Berlin: Springer, 2. Aufl.
- Mönch, L. (2006): Agentenbasierte Produktionssteuerung komplexer Produktionssysteme. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag.
- Morik, K.; Deuse, J.; et al. (2010): Data Mining in Sensordaten verketteter Prozesse. In: ZWF: Zeitschrift für Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Vol. 105, Nr. 1, S. 106.
- Moser, H. (1977): Praxis der Aktionsforschung: Ein Arbeitsbuch. München: Kösel Verlag.
- Moss, L.T.; Atre, S. (2003): Business Intelligence Roadmap: The Complete Project Lifecycle for Decision-Support Applications. Addison-Wesley Professional.
- Mühlenbruch, H.; Olbrich, W. (2003): Montagetechnologien zur Beherrschung der variantenreichen Serienfertigung. In: wt Werkstattstechnik online, Vol. 3, S. 186–197.
- Müller, H. (1991): Industrielle Abfallbewältigung. Wiesbaden: Gabler.
- Muster, F. (2007): Rotschlamm. Reststoff aus der Aluminiumoxidproduktion- Ökologischer Rucksack oder Input für Produktionsprozesse? kassel university press GmbH.
- Nebel, T. (2007): Produktionswirtschaft. München: Oldenbourg Verlag, 6. Aufl.
- Nieß, P.S. (1996): Flexible Fertigungssysteme. In: Kern, W. (Hrsg.), Handwörterbuch der Produktionswirtschaft, Enzyklopädie der Betriebswirtschaftslehre. Stuttgart: C.E. Poeschel Verlag, Bd. 7, S. 604–618.
- Nonaka, I.; Takeuchi, H. (1995): The knowledge-creating company: how Japanese companies create the dynamics of innovation. New York: Oxford University Press.
- Norbert, G.; Marcus, L. (2010): Einführung in das Produktionsmanagement. GITTO mbH Verlag.
- Nyhuis, P. (2008): Produktionskennlinien — Grundlagen und Anwendungsmöglichkeiten. In: Nyhuis, P. (Hrsg.), Beiträge zu einer Theorie der Logistik. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 185–218.

- Nyhuis, P.; Wiendahl, H.-P. (2002): *Logistische Kennlinien: Grundlagen, Werkzeuge und Anwendungen*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2. Aufl.
- Nyhuis, P.; Wiendahl, H.-P. (2010): *Ansatz zu einer Theorie der Produktionstechnik*. In: *ZWF Zeitschrift fuer Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, Vol. 105, Nr. 1-2, S. 15–20.
- Nyhuis, P.; Wiendahl, H.-P. (2012): *Logistische Kennlinien*. VDI-Buch. Berlin, Heidelberg: Springer, 3. Aufl.
- Oehler, K. (2006): *Corporate Performance Management: Mit business intelligence Werkzeugen*. München: Hanser Verlag.
- Ohno, T. (2009): *Das Toyota-Produktionssystem*. Frankfurt am Main: Campus Verlag.
- Olhager, J. (2003): *Strategic positioning of the order penetration point*. In: *International Journal of Production Economics*, Vol. 85, Nr. 3, S. 319–329.
- Olson, D.L.; Delen, D. (2008): *Advanced data mining techniques*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Ostermann, F. (2007): *Anwendungstechnologie Aluminium*. Berlin u.a.: Springer.
- Otte, R.; Otte, V.; et al. (2004): *Data Mining für die industrielle Praxis*. München, Wien: Hanser.
- Partsch, H. (2010): *Requirements-Engineering systematisch: Modellbildung für softwaregestützte Systeme*. Heidelberg u.a.: Springer, 2. Aufl.
- Pawellek, G. (2007): *Produktionslogistik: Planung- Steuerung- Controlling*. München: Hanser Verlag.
- Peters, H.; Ebel, A.; et al. (2012): *Industrielles Data Mining in der Stahlindustrie*. In: *Stahl und Eisen*, Vol. 132, Nr. 2, S. 29–37.
- Peters, S.; Brühl, R. (2005): *Betriebswirtschaftslehre: Einführung*. München: Oldenbourg Verlag, 12. Aufl.
- Petersohn, H. (2005): *Data Mining: Verfahren, Prozesse, Anwendungsarchitektur*. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag.
- Petra, von B.; Volker, K. (Hrsg.) (2009): *Forum Bauinformatik 2009 : 23. bis 25. September 2009, Universität Karlsruhe (TH)*. Karlsruhe: KIT Scientific Publishing.
- Pfaff, D. (2005): *Competitive Intelligence in der Praxis*. Frankfurt am Main: Campus Verlag.
- Pfohl, H.-C. (2004): *Logistikmanagement: Konzeption und Funktionen*. Berlin u.a.: Springer, 2. Aufl.
- Pfohl, H.-C. (2009): *Logistiksysteme: Betriebswirtschaftliche Grundlagen*. Berlin u.a.: Springer, 8. Aufl.
- Pfohl, H.-C.; Flickinger, B.H. (1998): *Kundennahe Logistik Wertschöpfend-Beziehungsorientiert-Agil*. Berlin: Erich Schmidt Verlag.
- Piekenbrock, D. (Hrsg.) (2013): *Gabler Kompakt-Lexikon Wirtschaft*. Wiesbaden: Springer, 11. Aufl.
- Piller, F.T. (2006): *Mass Customization: Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter*. Wiesbaden: DUV, 4. Aufl.

- Pilzecker, S. (2011): Konzepte der wertorientierten Unternehmensführung: die DAX 30 Unternehmen: Eine vergleichende Auswertung. Hamburg: Diplomica Verlag.
- Popper, K.R. (1962): Die Logik der Sozialwissenschaften. In: Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozial-Psychologie, Nr. 14, S. 233–248.
- Preißler, P.R. (2008): Betriebswirtschaftliche Kennzahlen: Formeln, Aussagekraft, Sollwerte, Ermittlungsintervalle. München: Oldenbourg Verlag.
- Prinz, O.; Lehmann, P.; et al. (Hrsg.) (2009): Mittellateinisches Wörterbuch bis zum ausgehenden 13. Jahrhundert. München: C.H.Beck.
- Qian, Y.; Chen, J.; et al. (2012): Information sharing in a competitive supply chain with capacity constraint. In: Flexible Services and Manufacturing Journal, Vol. 24, Nr. 4, S. 549–574.
- Quinlan, J.R. (1993): C4.5: Programs for Machine Learning. San Mateo: Morgan Kaufmann.
- Rainer, C. (2012): Wissensbasierte Produktionsplanung in der flexibilitätsorientierten Prozessindustrie. In: BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte, Vol. 157, Nr. 8-9, S. 354–359.
- Rainer, C. (2013): Data mining as technique to generate planning rules for manufacturing control in a complex production system. In: Windt, K. (Hrsg.), Robust Manufacturing Control - Lecture Notes in Production Engineering. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 203–214.
- Rasch, A.A. (2000): Erfolgspotential Instandhaltung: Theoretische Untersuchung und Entwurf eines ganzheitlichen Instandhaltungsmanagements. Berlin: Erich Schmidt Verlag.
- Rau, T. (2004): Planung, Statistik und Entscheidung: Betriebswirtschaftliche Instrumente für die Kommunalverwaltung. München: Oldenbourg Verlag.
- REFA (Hrsg.) (1990): Planung und Gestaltung komplexer Produktionssysteme. München: Carl Hanser, 2. Aufl.
- Reinecke, J.; Tarnai, C. (Hrsg.) (2000): Angewandte Klassifikationsanalyse in den Sozialwissenschaften. Münster: Waxmann Verlag.
- Reiter, G. (1991): Nichtmetrische mehrdimensionale Skalierung als Instrument zur Lösung betrieblicher Entscheidungsprobleme. Berlin: Duncker & Humblot.
- Riebel, P. (1955): Die Kuppelproduktion: Betriebs- und Marktprobleme. Köln: Westdeutscher Verlag.
- Riebel, P. (1963): Industrielle Erzeugungsverfahren in betriebswirtschaftlicher Sicht. Wiesbaden: Gabler Verlag.
- Rogalski, S. (2009): Entwicklung einer Methodik zur Flexibilitätsbewertung von Produktionssystemen: Messung von Mengen-, Mix- und Erweiterungsflexibilität zur Bewältigung von Planungsunsicherheiten in der Produktion. Universitätsverlag Karlsruhe.
- Rogalski, S. (2011): Flexibility Measurement in Production Systems: Handling Uncertainties in Industrial Production. Heidelberg: Springer.

- Röhrig, M. (2002): Variantenbeherrschung mit hochflexiblen Produktionsendstufen, Dissertation. Universität Hannover, VDI Verlag.
- Rother, M.; Shook, J. (1999): Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate MUDA. Lean Enterprise Institute.
- Ruge, J.; Wohlfahrt, H. (2007): Technologie der Werkstoffe - Herstellung Verarbeitung Einsatz. Wiesbaden: Vieweg Verlag, 8. Aufl.
- Rumois, U.H. (2007): Studienbuch Wissensmanagement: Grundlagen der Wissensarbeit in Wirtschafts-, Non-Profit- und Public-Organisationen. Zürich: Orell Füssli.
- Runkler, T.A. (2010): Data Mining: Methoden und Algorithmen intelligenter Datenanalyse. Wiesbaden: Vieweg + Teubner.
- Sabel, C.F.; Zeitlin, J. (2002): Stories, strategies, structures: rethinking historical alternatives to mass production. In: Sabel, C.F.; Zeitlin, J. (Hrsg.), World of possibilities: Flexibility and mass production in Western industrialization. Cambridge: Cambridge University Press.
- Sainis, P. (1975): Ermittlung von Durchlaufzeiten in der Werkstattfertigung aus Daten des Fertigungsprogrammes mit Hilfe der Warteschlangentheorie, Dissertation. Technische Universität Hannover.
- Schäppi, B.; Andreasen, M.M.; et al. (2005): Handbuch Produktentwicklung. München, Wien: Carl Hanser Verlag.
- Scharkow, M. (2012): Automatische Inhaltsanalyse und maschinelles Lernen. Berlin: epubli.
- Schenk, M.; Wirth, S.; et al. (2004): Fabrikplanung und Fabrikbetrieb: Methoden für die wandlungsfähige und vernetzte Fabrik. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Schenk, M.; Wojanowski, R. (2003): SILKE - SCM hautnah erleben und gestalten. Supply Chain Management: Strategien Und Entwicklungstendenzen in Spitzenunternehmen. Berlin u.a.: Springer, S. 123–144.
- Scherer, E. (1996): Wege zur Gestaltung des Werkstattmanagements: Betrachtung zur Werkstatt als soziotechnischem System. In: Scherer, E.; Schönsleben, P.; et al. (Hrsg.), Werkstattmanagement - Organisation und Informatik im Spannungsfeld zentraler und dezentraler Strukturen. Zürich: vdf Hochschulverlag.
- Scherer, E.; Weik, S.; et al. (1996): Autonomy And Control In Decentralized Production Systems. In: Manufacturing Agility and Hybrid Automation-II, .
- Schieck, A. (2008): Internationale Logistik: Objekte, Prozesse und Infrastrukturen grenzüberschreitender Güterströme. München: Oldenbourg Verlag.
- Schiefer, E. (2009): Wertschöpfungsorientierte Produktionsplanung und -steuerung in der Prozessindustrie: Ein Konzept zur Optimierung von logistischen Zielgrößen, Dissertation. Montanuniversität Leoben, Lehrstuhl für Wirtschafts- und Betriebswissenschaften.
- Schiefer, E.; Markiewicz, P. (2009): BHM Wertschöpfungsorientierte Optimierung logistischer Zielgrößen am Beispiel eines Walzwerks. In: Berg- und Hüttenmännische Monatshefte, Vol. 154, Nr. 3, S. 94–100.

- Schiewer, F. (1996): IT in der Prozeßindustrie/: Integrierte Systeme nicht offen für Integration. .Abgerufen Dezember 26, 2012, von <http://www.computerwoche.de/a/integrierte-systeme-nicht-offen-fuer-integration,1108823>
- Schmidt, Gunter; Schmidt, Günter (2002): Prozeßmanagement. Berlin u.a.: Springer, 2. Aufl.
- Schmidt, J.G.; Kostezka, K. (2004): Produktionsendstufe für Kfz-Bedienteile. In: Wiendahl, H.-P.; Gerst, D.; et al. (Hrsg.), Variantenbeherrschung in der Montage: Konzept und Praxis der flexiblen Produktionsendstufe. Berlin u.a.: Springer, S. 209–228.
- Schneider, U.; Bruckner, H.; et al. (2002): Aluminium/Glas - Baustoffe und ihre Anwendungen. Wien: Springer.
- Schnell, R.; Hill, P.B.; et al. (2008): Methoden der empirischen Sozialforschung. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag, 8. Aufl.
- Scholten, B. (2007): The Road to Integration: A Guide to Applying the ISA-95 Standard in Manufacturing. ISA.
- Schomburg, E. (1980): Entwicklung eines betriebstypologischen Instrumentariums zur systematischen Ermittlung der Anforderung an EDV-gestützte Produktionsplanungs- und-steuerungssysteme im Maschinenbau, Dissertation. RWTH Aachen.
- Schoner, P. (2007): Operative Produktionsplanung in der verfahrenstechnischen Industrie. Kassel: kassel university press GmbH.
- Schönsleben, P. (2007): Integrales Logistikmanagement - Operations und Supply Chain Management in umfassenden Wertschöpfungsnetzwerken. Berlin u.a.: Springer, 5. Aufl.
- Schönsleben, P. (2008): Zweidimensionale Darstellungen für Beziehungen und Auswahl von Methoden der Produktionsplanung und -steuerung. In: Nyhuis, P. (Hrsg.), Beiträge zu einer Theorie der Logistik. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 235–248.
- Schönsleben, P. (2011): Integrales Logistikmanagement: Operations und Supply Chain Management innerhalb des Unternehmens und unternehmensübergreifend. Heidelberg: Springer, 6. Aufl.
- Schreyögg, G.; Koch, J. (2007): Grundlagen des Managements: Basiswissen für Studium und Praxis. Wiesbaden: Gabler.
- Schrödl, H. (2009): Business Intelligence mit Microsoft SQL Server 2008: BI-Projekte erfolgreich umsetzen. München: Hanser Verlag, 2. Aufl.
- Schuh, G. (2006): Produktionsplanung und -steuerung: Grundlagen, Gestaltung und Konzepte. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Schuh, G.; Gierth, A. (2006): Gestaltungsaufgaben in der PPS. Produktionsplanung und -steuerung: Grundlagen, Gestaltung und Konzepte. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 295–303.
- Schulte, C. (2005): Logistik: Wege zur Optimierung der Supply Chain. München: Vahlen.
- Schulte, G. (2001): Material- und Logistikmanagement. München: Oldenbourg, Bd. 2. Aufl.

- Schütte, R.; Rotthowe, T.; et al. (2001): *Data Warehouse Management Handbook: Konzepte, Software, Erfahrungen*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Seifert, D. (2003a): *Collaborative Planning, Forecasting, and Replenishment: How to Create a Supply Chain Advantage*. New York: AMACOM.
- Seifert, D. (2003b): *Supply Chain Management für KMU - mit CPFR zu bezahlbaren Lösungen für die Logistik*. In: Stahl, H.K.; Hinterhuber, H.H. (Hrsg.), *Erfolgreich im Schatten der Großen: Wettbewerbsvorteile für kleine und mittlere Unternehmen*. Berlin: Erich Schmidt Verlag GmbH, S. 263–280.
- Sethi, A.K.; Sethi, S.P. (1990): *Flexibility in manufacturing: A survey*. In: *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, Vol. 2, Nr. 4, S. 289–328.
- Seyedhosseini, S.M.; Taleghani, A.E.; et al. (2011): *Extracting leanness criteria by employing the concept of Balanced Scorecard*. In: *Expert Systems with Applications*, Vol. 38, Nr. 8, S. 10454–10461.
- Shah, N. (2005): *Process industry supply chains: Advances and challenges*. In: *Computers & Chemical Engineering*, Vol. 29, Nr. 6, S. 1225–1236.
- Shearer, C. (2000): *The CRISP-DM model: the new blueprint for data mining*. In: *Journal of Data Warehousing*, Vol. 5, Nr. 4, S. 13–22.
- Shmueli, G.; Patel, N.R.; et al. (2011): *Data Mining for Business Intelligence: Concepts, Techniques, and Applications in Microsoft Office Excel with XLMiner*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons.
- Sommer, S. (2008): *Taschenbuch automatisierte Montage-und Prüfsysteme: Qualitätstechniken zur fehlerfreien Produktion*. Hanser Verlag.
- Stachowiak, H. (1973): *Allgemeine Modelltheorie*. Wien u.a.: Springer.
- Steinlein, U. (2004): *Data Mining als Instrument der Responseoptimierung im Direktmarketing: Methoden zur Bewältigung niedriger Responsequoten*. Cuvillier Verlag.
- Stern, J.M.; Stewart, G.B.; et al. (1995): *The EVA financial management system*. In: *Journal of Applied Corporate Finance*, Vol. 8, Nr. 2, S. 32–46.
- Stigler, G. (1939): *Production and distribution in the short run*. In: *The Journal of Political Economy*, Vol. 47, Nr. 3, S. 305–327.
- Teich, T. (2002): *Extended Value Chain Management: Ein Konzept zur Koordination von Wertschöpfungsnetzen*, Habilitation. TU Chemnitz.
- Tempelmeier, H. (2006): *Material-Logistik: Modelle und Algorithmen für die Produktionsplanung und -steuerung in Advanced Planning-Systemen*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Tempelmeier, H.; Kuhn, H. (1993): *Flexible Fertigungssysteme: Entscheidungsunterstützung für Konfiguration und Betrieb*. Berlin u.a.: Gabler Wissenschaftsverlage.
- The Aluminum Association (2007): *Rolling Aluminum: From the Mine Through the Mill*. Arlington: Aluminum Association.

- Thonemann, U. (2010): Operations Management: Konzepte, Methoden und Anwendungen. München: Pearson, 2. Aufl.
- De Toni, A.; Tonchia, S. (1998): Manufacturing flexibility: A literature review. In: International Journal of Production Research, Vol. 36, Nr. 6, S. 1587–1617.
- Töpfer, A.; Swen, G. (2008): Mehrere Wege zu verschwendungsfreien Prozessen und Null-Fehler-Qualität: Einführung und Überblick über die Beiträge. In: Töpfer, A. (Hrsg.), Lean Six Sigma: Erfolgreiche Kombination von Lean Management, Six Sigma und Design for Six Sigma. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 3–24.
- Ullmann, G. (2009): Ganzheitliche Produktionssysteme: IPH-Methodensammlung. Hannover: IPH.
- Ulrich, P.; Hill, W. (1976): Wissenschaftliche Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre (Teil II). In: WiSt Wirtschaftswissenschaftliches Studium, Vol. 8, S. 345–350.
- Upton, D.M. (1995): What Really Makes Factories Flexible? - Harvard Business Review. In: Harvard Business Review, .
- Vahrenkamp, R. (2005): Logistik: Management und Strategien. München: Oldenbourg Verlag, 5. Aufl.
- VDI 5600 (2007): VDI-Richtlinie VDI 5600: Blatt 1: Fertigungsmanagementsysteme. Berlin: Beuth Verlag.
- Völker, R.; Neu, J. (2008): Supply Chain Collaboration: Kollaborative Logistikkonzepte für Third- und Fourth-Tier-Zulieferer. Heidelberg: Physica Verlag.
- Wang, K. (2007): Applying data mining to manufacturing: the nature and implications. In: Journal of Intelligent Manufacturing, Vol. 18, Nr. 4, S. 487–495.
- Wang, L. (2005): Support Vector Machines: Theory and Applications. Springer.
- Wannenwetsch, H. (2005): Vernetztes Supply Chain Management: SCM-Integration über die gesamte Wertschöpfungskette. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Wannenwetsch, H. (2007): Integrierte Materialwirtschaft und Logistik: Beschaffung, Logistik, Materialwirtschaft und Produktion. Berlin, Heidelberg: Springer, 3. Aufl.
- Wannenwetsch, H. (2009): Integrierte Materialwirtschaft und Logistik: Beschaffung, Logistik, Materialwirtschaft und Produktion. Heidelberg u.a.: Springer, 4. Aufl.
- Wegner, U. (1993): Organisation der Logistik.: Prozeß- und Strukturgestaltung mit neuer Informations- und Kommunikationstechnik. Berlin: Erich Schmidt Verlag.
- Weißbach, W. (2007): Werkstoffkunde - Strukturen, Eigenschaften, Prüfung. Vieweg Verlag, Bd. 16. Aufl.
- Wemhöner, N. (2006): Flexibilitätsoptimierung zur Auslastungssteigerung im Automobilrohbau. Aachen: Shaker Verlag, 1. Aufl.
- Westkämper, E. (2006): Einführung in die Organisation der Produktion. Berlin u.a.: Springer.
- Wiendahl, H.-H. (2011): Auftragsmanagement der industriellen Produktion Grundlagen, Konfiguration, Einführung. VDI-Buch. Berlin, Heidelberg: Springer.

- Wiendahl, H.-P. (2002a): Wandlungsfähigkeit–Schlüsselbegriff der zukunftsfähigen Fabrik. *wt Werkstattstechnik online* 92 (2002) Nr. 4, S. 122–127. In: Internet: [www.werkstattstechnik.de](http://www.werkstattstechnik.de). Düsseldorf: Springer-VDI-Verlag, .
- Wiendahl, H.-P. (2002b): Erfolgsfaktor Logistikqualität: Vorgehen, Methoden und Werkzeuge zur Verbesserung der Logistikleistung. Berlin [u.a.]: Springer, 2. Aufl.
- Wiendahl, H.-P. (2010): Betriebsorganisation für Ingenieure. München: Hanser Verlag, 7. Aufl.
- Wight, O.W. (1995): Manufacturing resource planning: MRP II: unlocking America's productivity potential. New Jersey: Wiley.
- Windt, K. (2008): Ermittlung des angemessenen Selbststeuerungsgrades in der Logistik — Grenzen der Selbststeuerung. In: Nyhuis, P. (Hrsg.), Beiträge zu einer Theorie der Logistik. Berlin: Springer, S. 349–372.
- Windt, K.; Hütt, M.-T. (2011): Exploring due date reliability in production systems using data mining methods adapted from gene expression analysis. In: *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Vol. 60, Nr. 1, S. 473–476.
- Windt, K.; Knollmann, M.; et al. (2011): Anwendung von Data Mining Methoden zur Wissensgenerierung in der Logistik - Kritische Reflexion der Analysefähigkeit zur Termintreueverbesserung. In: Spath, D. (Hrsg.), Wissensarbeit - Zwischen strengen Prozessen und kreativem Spielraum. Berlin: GITO, S. 223–249.
- Wirth, R.; Hipp, J. (2000): CRISP-DM: Towards a standard process model for data mining. In: *Proceedings of the 4th International Conference on the Practical Applications of Knowledge Discovery and Data Mining 2000*, S. 29–39.
- Witt, A. (2004): Produktionsplanung und -steuerung in der Stahlindustrie. Tenea Verlag Ltd.
- Womack, J.P.; Jones, D.T.; et al. (2007): The machine that changed the world: the story of lean production -- Toyota's secret weapon in the global car wars that is revolutionizing world industry. Simon & Schuster.
- World Steel Association (2012): World Steel in Figures 2012. Brussels: World Steel Association.
- Wu, I.-L.; Chang, C.-H. (2012): Using the balanced scorecard in assessing the performance of e-SCM diffusion: A multi-stage perspective. In: *Decision Support Systems*, Vol. 52, Nr. 2, S. 474–485.
- Wu, X.; Kumar, V.; et al. (2007): Top 10 algorithms in data mining. In: *Knowledge and Information Systems*, Vol. 14, Nr. 1, S. 1–37.
- Wycisk, C. (2009): Flexibilität durch Selbststeuerung in logistischen Systemen: Entwicklung eines realoptionsbasierten Bewertungsmodells. Wiesbaden: Gabler.
- Zäpfel, G. (2000): Taktisches Produktions-Management. München, Wien: Oldenbourg Verlag, 2. Aufl.
- Zäpfel, G. (2001): Grundzüge des Produktions- und Logistikmanagement. München, Wien: Oldenbourg, 2. Aufl.

- Zelewski, S. (1998): Flexibilitätsorientierte Produktionsplanung und -steuerung. In: Corsten, H.; Gössinger, R. (Hrsg.), Dezentrale Produktionsplanungs- und -steuerungs-Systeme. Stuttgart u.a.: Kohlhammer Verlag.
- Zelewski, S.; Hohmann, S.; et al. (2008): Produktionsplanungs- und-steuerungssysteme: Konzepte und exemplarische Implementierungen mithilfe von SAP® R/3®. München: Oldenbourg Verlag.
- Zimmer, T. (2011): Prozessintegration mit SAP NetWeaver® PI 7.1: Eine Einführung in die Architektur der Prozessintegration anhand von Fallstudien unternehmensinterner sowie unternehmensübergreifender Geschäftsprozesse der Logistik. Wiesbaden: Springer.
- Zwicky, F. (1966): Entdecken, Erfinden, Forschen im morphologischen Weltbild. München: D. Knauer.

# Anhang

## Ergebnisse der Einflussfaktorenanalyse

Kategorie	Zeilenanzahl		Mittelwert Durchlaufzeit (in BKT)
Kategorie '1'	3020	28%	1,0
Kategorie '2'	1795	16%	1,2
Kategorie '3'	1101	10%	1,8
Kategorie '4'	972	9%	1,3
Kategorie '5'	747	7%	2,1
Kategorie '6'	739	7%	1,1
Kategorie '7'	624	6%	1,6
Kategorie '8'	491	5%	1,7
Kategorie '9'	481	4%	2,3
Kategorie '10'	462	4%	1,4
Kategorie '11'	296	3%	3,2
Kategorie '12'	173	2%	1,2
Gesamt	10901	100%	1,4

Abbildung 127: Clusterkategorien

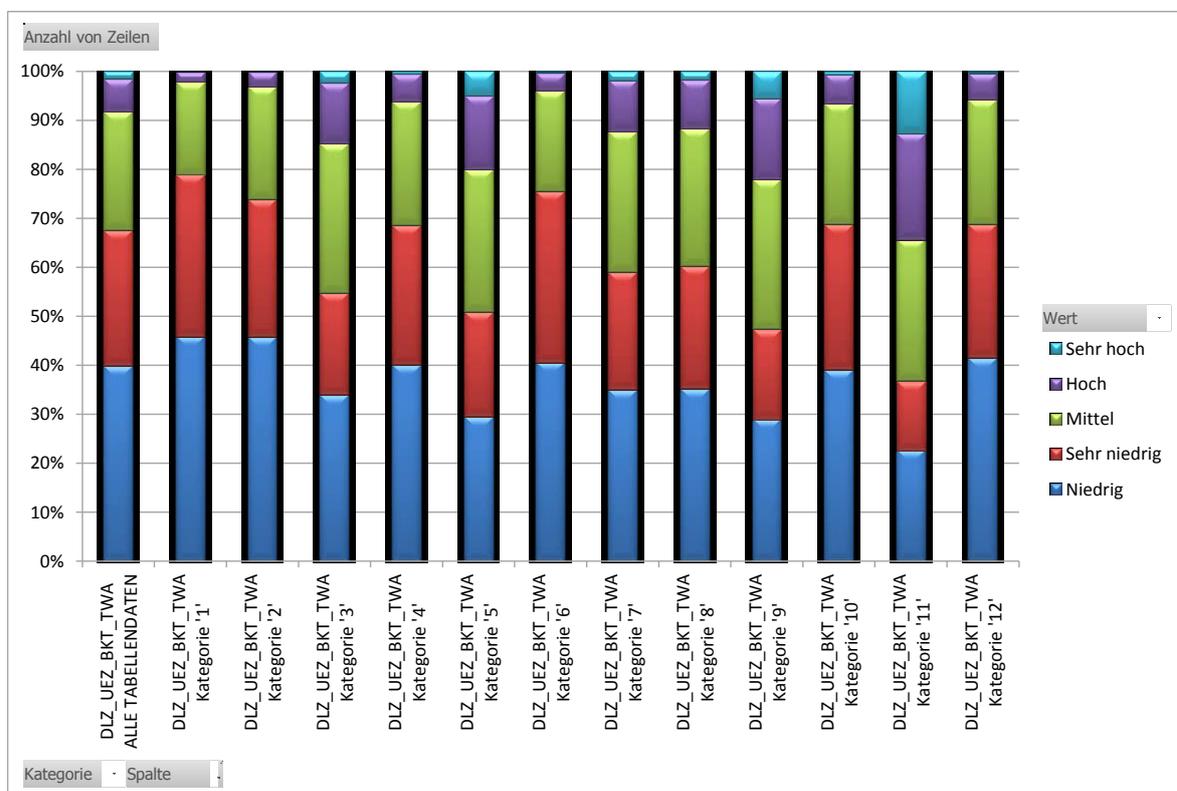


Abbildung 128: Kategoriebericht

Merkmal	Wert	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4	Cluster 5	Cluster 6	Cluster 7	Cluster 8	Cluster 9	Cluster 10	Cluster 11	Cluster 12
Größe		10901	1795	1101	972	747	739	624	491	481	462	296	173
DLZ_UEZ_BKT_TWA	0.67 - 1.77	4345	46%	34%	40%	30%	41%	35%	35%	29%	39%	23%	42%
DLZ_UEZ_BKT_TWA	<0.67	3014	33%	21%	28%	21%	35%	24%	25%	18%	30%	14%	27%
DLZ_UEZ_BKT_TWA	1.77 - 3.12	2644	19%	31%	25%	29%	21%	29%	28%	31%	25%	29%	26%
DLZ_UEZ_BKT_TWA	3.12 - 6.18	740	2%	3%	6%	15%	4%	10%	10%	17%	6%	22%	5%
DLZ_UEZ_BKT_TWA	>=6.18	158	0%	2%	1%	5%	0%	2%	2%	5%	1%	13%	0%
Enddicke	<1.02	7082	100%	15%	100%	8%	0%	7%	21%	30%	99%	94%	31%
Enddicke	1.02 - 2.62	1229	0%	32%	0%	32%	0%	21%	37%	43%	1%	6%	57%
Enddicke	2.62 - 3.67	1197	0%	34%	0%	42%	0%	35%	31%	24%	0%	0%	12%
Enddicke	>=6.23	792	0%	3%	0%	2%	90%	11%	1%	0%	0%	0%	0%
Enddicke	3.67 - 6.23	600	0%	15%	0%	17%	10%	27%	10%	4%	0%	0%	0%
Legierungskategorie	8XXX	3267	92%	0%	45%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	7%	6%
Legierungskategorie	1XXX	3148	7%	100%	0%	0%	100%	8%	38%	0%	0%	0%	90%
Legierungskategorie	3XXX	1590	0%	0%	55%	79%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%
Legierungskategorie	6XXX	1516	0%	0%	93%	0%	0%	3%	0%	99%	0%	0%	0%
Legierungskategorie	7XXX	650	0%	2%	0%	8%	0%	47%	0%	0%	0%	93%	0%
Legierungskategorie	2XXX	369	0%	5%	0%	7%	0%	42%	0%	1%	0%	0%	0%
Legierungskategorie	5XXX	360	0%	0%	0%	7%	0%	0%	62%	0%	0%	0%	4%
Legierungskategorie	4XXX	1	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Oberfläche_T	matt	8252	100%	92%	100%	94%	91%	100%	66%	42%	60%	100%	86%
Oberfläche_T	walzl. / matt	1334	0%	67%	0%	0%	0%	0%	26%	0%	0%	0%	0%
Oberfläche_T	g/zd. / matt	337	0%	18%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	2%
Oberfläche_T	EDT	301	0%	0%	0%	4%	0%	0%	0%	57%	0%	0%	0%
Oberfläche_T	feinmatt	289	0%	0%	7%	2%	0%	1%	0%	1%	40%	0%	0%
Oberfläche_T	supfina / walzbl.	165	0%	9%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	5%
Oberfläche_T	Lumenal / matt	84	0%	5%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Oberfläche_T	beids.Indgeb.	64	0%	0%	0%	0%	9%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Oberfläche_T	semisp. / feinstm.	18	0%	0%	0%	0%	0%	0%	4%	0%	0%	0%	0%

Abbildung 129: Clusterprofile