



Dissertation

**Komplexitätsmanagement mittels Optimierungsmo-
dell in der Ersatzteillogistik aus der
Sicht des Prozessanlagenbetreibers in der
Stahlindustrie**

eingereicht an der
Montanuniversität Leoben

erstellt am
Lehrstuhl Industriellistik

Vorgelegt von:

Mag. Horst Leeb, MSc

Betreuer:

Univ.-Prof. Dr. Helmut Zsifkovits

Univ.-Prof. Dr. Ulrich Bauer

Leoben, Juli 2018

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig angefertigt, andere als die angegebenen Quellen nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Die Arbeit wurde bisher an keiner anderen universitären Einrichtung vorgelegt und ist noch nicht veröffentlicht.

Ort, Datum

Unterschrift

Diese Arbeit wurde durch die voestalpine Stahl Donawitz GmbH unterstützt.

Gleichheitsgrundsatz

Aus Gründen der Lesbarkeit wurde in dieser Arbeit darauf verzichtet, geschlechtsspezifische Formulierungen zu verwenden. Es wird ausdrücklich festgehalten, dass die bei Personen verwendeten maskulinen Formen für beide Geschlechter zu verstehen sind.

Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als Einkaufsleiter bei der voestalpine Stahl Donawitz GmbH. Mit dem Thema Komplexität und Variantenvielfalt hatte ich erste praktische Berührungspunkte im Fachbereich der Ersatzteilwirtschaft. Dies war auch der Anlass dafür, mich mit der vorliegenden Themenstellung genauer zu befassen. Mein Dank gilt der voestalpine Metal Engineering, die mir im Zuge des Projektes „Bestandsmanagement“ den praktischen Teil der vorliegenden Arbeit erst ermöglichte. Ganz besonders möchte ich mich diesbezüglich bei den Instandhaltungsabteilungen sowie den Firmenpartnern bedanken, die mich in der praktischen Evaluierung mit ihrer fachspezifischen Expertise unterstützten. Besonderer Dank gilt der Abteilung Materialwirtschaft und dem Einkaufscontrolling, welche meinen Daten- und Informationsbedarf aus dem ERP-System deckten.

Überaus großen Dank möchte ich meinem Doktorvater Hm. Prof. Zsifkovits aussprechen: für seine Unterstützung während meines Dissertationsvorhabens und für sein Vertrauen, das er in mich setzte, dieses überaus komplexe Vorhaben am zweiten Bildungsweg zu bestreiten. Durch seine menschliche und fachliche Kompetenz, die mir während meiner Gespräche mit ihm widerfuhr, trug er sehr viel zum Gelingen dieser Arbeit bei. Bedanken möchte ich mich an dieser Stelle auch bei Herrn Prof. Bauer, der mir mit seinen Anregungen zum Thema „Durchführung der praktischen Evaluierung“ eine wertvolle Inspiration gewesen ist.

Der größte Dank gebührt jedoch meiner Familie, die durch ihr stetes Interesse am Fortgang der Arbeit, ihre aufmunternden Worte sowie ihre uneingeschränkte Zuversicht einen entscheidenden Beitrag dazu leisteten, dass ich nie den Glauben an einen erfolgreichen Abschluss der Dissertation verlor. In diesem Sinne möchte ich mich von Herzen bei meiner Frau Barbara und meinen Kindern Marcus, Martina und Anna-Maria bedanken, weil ich in den letzten Jahren während der Erstellung dieser Arbeit sehr wenig Zeit für sie hatte. Wie keine andere erlebte meine Frau Barbara alle Höhen und Tiefen mit, die während des berufsbegleitenden Schreibens einer Dissertation zu durchlaufen sind. Ihr ist diese Arbeit aus ganzem Herzen gewidmet.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
1.1 Motivation und Ausgangssituation	1
1.2 Relevanz der Thematik für die Wissenschaft	6
1.3 Relevanz der Thematik für die betriebliche Praxis	9
2 Fragestellung und Forschungsdesign	12
2.1 Literaturstudie	12
2.2 Forschungsfrage und Zielsetzung der Arbeit	14
2.3 Aufbau der Arbeit	15
2.4 Begriffsbestimmung und Abgrenzung logistischer Subsysteme	19
3 Wissenschaftstheoretische Grundlagen	21
3.1 System und Komplexität aus der systemtheoretischen Betrachtung	21
3.1.1 Systemdefinition und Systemeigenschaften	21
3.1.2 Definition und Kennzeichen der Komplexität	23
3.1.3 Komplexe Struktur	25
3.1.4 Komplexes Verhalten	27
3.1.5 Stufen der Komplexität	30
3.1.6 Komplexitätsreduktion	32
3.1.7 Zusammenfassung	33
3.2 Komplexität hervorgerufen durch Vielfalt	34
3.2.1 Vielfalt/Varietät	35
3.2.2 Variante/Variantenvielfalt	35
3.2.3 Variantenspektren	37
3.2.4 Komplexitätstreiber	37
3.2.5 Variantenkreislauf	40
3.2.6 Kundennutzen der Produktvielfalt	41
3.2.7 Kostenauswirkung der Variantenvielfalt	42
3.3 Komplexitätsmanagement der Variantenvielfalt	46
3.3.1 Leitlinien des Komplexitätsmanagements	47
3.3.2 Komplexitätsstrategien	48
3.3.3 Optimaler Komplexitätsgrad	51
3.3.4 Zusammenfassung	52

3.4 Ersatzteillogistik	53
3.4.1 Ersatzteillogistik als Subsystem	53
3.4.2 Bestandsdimensionierung bei Bevorratung	60
3.4.3 Klassifikation von Ersatzteilen	61
3.4.4 Artikelidentifikationssysteme im Materialfluss	68
3.5 Bestandsanalyse und Disposition.....	79
3.5.2 Kennzahlen und Kennzahlensysteme	89
3.5.3 Stellgrößen des Lagerbestands.....	95
3.5.4 Ersatzteildisposition	98
3.6 Kosten in der Ersatzteillogistik.....	118
4 Hypothese	123
5 Operationalisierung der zentralen Begriffe.....	124
5.1 Konzeptionierung und Anforderungen an die Modellierung.....	124
5.2 Komplexitätstreiber	127
5.3 Leitlinien des Komplexitätsmanagements.....	128
5.4 Komplexitätsstrategien.....	129
5.5 Dynamik der Komplexitätsstrategien	131
5.6 Erfolgsindikatoren	132
5.7 Spezifische Handlungsempfehlungen.....	132
5.8 Konkrete Handlungsempfehlungen	134
5.8.1 Detaillierung der konkreten Handlungsempfehlungen beim Erfassen der Komplexität.....	135
5.8.2 Detaillierung der konkreten Handlungsempfehlungen beim Reduzieren der Komplexität.....	137
5.8.3 Detaillierung der konkreten Handlungsempfehlungen beim Beherrschen der Komplexität.....	138
5.8.4 Detaillierung der konkreten Handlungsempfehlungen beim Vermeiden der Komplexität.....	150
6 Modellevaluierung.....	155
6.1 Darstellung der Systemstruktur	155
6.2 Praktische Anwendung des Optimierungsmodells	157
6.2.1 Erfassen der Systemkomplexität.....	158
6.2.2 Reduzieren der Komplexität.....	160
6.2.3 Beherrschen der Komplexität	165
6.2.4 Vermeiden der Komplexität.....	167

7 Verifikation/Falsifikation	171
8 Erklärung des Modells und abschließende Betrachtung	174
9 Resümee.....	177

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Darstellung der Kernaussagen der Experteninterviews	11
Abbildung 2: Aufbau der Arbeit mit den zentralen Schwerpunkten	18
Abbildung 3: Merkmale der statischen Systemkomplexität	25
Abbildung 4: Verschiedene Dimensionen von Komplexität	26
Abbildung 5: Systemzustandsportfolio	29
Abbildung 6: Stufen der Komplexität	31
Abbildung 7: Vielfalt in der Supply Chain.....	35
Abbildung 8: Erzeugung von Varianten zum Anteil der zu tragenden Variantenkosten	44
Abbildung 9: Vier Leitlinien als Basis des Komplexitätsmanagements	47
Abbildung 10: Komplexitätsstrategien	48
Abbildung 11: Wirkung der Komplexitätsstrategien.....	49
Abbildung 12: Vorgehensweise bei der Teilereduktion	50
Abbildung 13: Strategische Handlungsalternativen zum Erlangen des Komplexitätsoptimums	51
Abbildung 14: Übersichtsdarstellung der Unternehmenslogistik.....	53
Abbildung 15: Optimierungsproblem der Ersatzteilwirtschaft.....	55
Abbildung 16: Möglichkeiten der Ersatzteilbevorratung.....	59
Abbildung 17: Kommunikation mit Produktstammdaten.....	64
Abbildung 18: Aufbau Klassifizierungsnummer für die Ersatzteilcodifizierung.....	65
Abbildung 19: Klassifikationsaufbau der NATO-Versorgungsnummer.....	66
Abbildung 20: Gliederung und Aufbau von eCl@ss.....	67
Abbildung 21: Klassifikationsaufbau der Produktklassen von eCl@ss	67
Abbildung 22: Klassifikationsaufbau der Produktklassen von UNSPSC	68
Abbildung 23: Gliederung und Aufbau der UNSPSC Segmente	68
Abbildung 24: Grundstruktur der Identifikationstechnik	70
Abbildung 25: Möglichkeiten der Identifikationsnummerncodierung	71
Abbildung 26: Allgemeiner Aufbau des Strichcodes	72
Abbildung 27: Zeichensequenz „sinus“ im Code 128.....	74

Abbildung 28: Ziffernfolge 4465 im Code 2 aus 5	74
Abbildung 29: 1D-Barcodes im Vergleich	75
Abbildung 30: QR-Code vom Typ mit Text „Hochregallager_RBG_Kommissionierzone“	75
Abbildung 31: Prinzip des Barcodescanners mit rotierendem Polygonspiegel.....	76
Abbildung 32: Klartextschriftprobe OCR-A	77
Abbildung 33: Klartextschriftprobe OCR-B	77
Abbildung 34: Aufbau eines RFID Transpondersystems.....	77
Abbildung 35: Preisklassen und ABC-Analyse des Ersatzteilspektrums.....	85
Abbildung 36: Bestandsklassen und Bestandwertklassen des Ersatzteilspektrums	85
Abbildung 37: Verbrauchsstetigkeit und Langsamdreheranalyse des Ersatzteilspektrums .	86
Abbildung 38: Portfolioanalyse Ladendreher	87
Abbildung 39: Weiter Darstellungsmöglichkeiten von Kennzahlenarten	91
Abbildung 40: Flussdiagramm zur Kennzahlenauswahl.....	92
Abbildung 41: Trichtermodell und Lagerdurchlaufdiagramm	96
Abbildung 42: Lagerbestandsparameter.....	97
Abbildung 43: Einfluss der Bedarfsart auf den Sicherheitsbestand und die Bedarfsgenauigkeit.....	101
Abbildung 44: Methoden der Bedarfsermittlung	101
Abbildung 45: Bestellpunkt-System (s,Q-Politik) und das Optionalsystem (s,S-Politik)	104
Abbildung 46: Bestellzyklussystem (t,Q-Politik) und das Bestellrythmussystem (t,S-Politik)	105
Abbildung 47: Erweitertes Bestellzyklussystem (TsQ-Politik) und erweitertes Bestellrythmussystem (TsS-Politik).....	107
Abbildung 48: Graphische Darstellung der optimalen Bestellmenge	114
Abbildung 49: Logik des Sicherheitsbestandes	116
Abbildung 50: Gaußsche Normalverteilung und MAD.....	117
Abbildung 51: Du-Pont-Schema mit Wertetreibern und Stellgrößen der Logistik	120
Abbildung 52: Aufbau Optimierungsmodell.....	126
Abbildung 53: Komplexitätstreiber in der Ersatzteillogistik	127
Abbildung 54: Leitlinien in der Ersatzteillogistik	129
Abbildung 55: Komplexitätsstrategien der Ersatzteillogistik.....	130
Abbildung 56: PDCA-Zyklus in der Ersatzteillogistik	131

Abbildung 57: Erfolgsindikatoren für die Ersatzteillogistik	132
Abbildung 58: Handlungsempfehlungen in der Ersatzteillogistik.....	133
Abbildung 59: Outsourcing-Entscheidungsprozess.....	139
Abbildung 60: Entscheidungsdiagramm für Stückbestand	144
Abbildung 61: Spare-Part-Gate	152
Abbildung 62: Komplexe Struktur des Systems „Ersatzteillogistik“	156
Abbildung 63: IST-Ladenhüterliste	161
Abbildung 64: SOLL-Ladenhüterliste.....	161
Abbildung 65: IST-Ladendrehermatrix.....	163
Abbildung 66: SOLL-Ladendrehermatrix	164
Abbildung 67: Spare Part Gate	168
Abbildung 68: Auszug Zuliefervorschriften	170
Abbildung 69: Erfolgsindikatoren.....	172

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Auswirkungen der Ersatzteilvielfalt.....	7
Tabelle 2: Werkzeuge zum Umgang mit Vielfalt	8
Tabelle 3: Expertenbefragung zur Situation der Ersatzteillogistik.....	9
Tabelle 4: Variantenmerkmale	36
Tabelle 5: Komplexitätstreiber.....	38
Tabelle 6: Auswirkung der Vielfalt in funktionsübergreifender Darstellung.....	45
Tabelle 7: Handlungsempfehlungen zu den Komplexitätsstrategien	50
Tabelle 8: Auswirkung erhöhter Variantenvielfalt auf Logistiksysteme.....	54
Tabelle 9: Aufbau der European Article Number	73
Tabelle 10: Aufbau des Universal Product Codes.....	73
Tabelle 11: RFID-Merkmale und Ausprägungsformen.....	79
Tabelle 12: ABC-Klassifizierung des Ersatzteilbestandes	81
Tabelle 13: Verbrauchsverhalten schematisiert mittels XYZ-Analyse	82
Tabelle 14: Praxisbeispiel einer ABC-XYZ Analyse	82
Tabelle 15: ABC-XYZ-Analyse.....	84
Tabelle 16: Optimierungspotentiale abgeleitet aus der ABC-XYZ Analyse	88
Tabelle 17: ABC-XYZ-Analyse mit Ersatzteilart	89
Tabelle 18: Kennzahlen zur operativen Lagerbewirtschaftung	93
Tabelle 19: Kostenkennzahlen.....	94
Tabelle 20: Dispositionskennzahlen.....	94
Tabelle 21: Strukturkennzahlen	95
Tabelle 22: Auswahl der Bedarfsermittlung	102
Tabelle 23: ABC-XYZ-Matrix mit Bedarfsermittlung der Dispositionsart.....	102
Tabelle 24: Merkmale der Bestellpolitiken (s,Q-Politik) und (s,S-Politik).....	105
Tabelle 25: Merkmale der Bestellpolitiken (t,Q-Politik) und (t,S-Politik)	106
Tabelle 26: Dispositionspolitiken	108
Tabelle 27: Mittelwertsberechnungsparameter	110
Tabelle 28: Tendenzielle Wirkung unterschiedlicher a-Werte.....	110

Tabelle 29: Losgrößenberechnungsparameter	113
Tabelle 30: Sicherheitsbestandsparameter	116
Tabelle 31: Bilanzdarstellung in Kontoform	121
Tabelle 32: Konkrete Handlungsempfehlungen zur Ersatzteillogistik.....	135
Tabelle 33: Abkürzungen.....	141
Tabelle 34: Fehlbestandswahrscheinlichkeiten je nach Verteilungsfunktion	142
Tabelle 35: Servicegrad gemäß Wertetafel der Standard-Normalverteilung	143
Tabelle 36: Bestandssteuerungsmöglichkeiten.....	144
Tabelle 37: Entscheidungstabelle zur Ersatzteilkritikalität	153
Tabelle 38: Ausgangskonfiguration der Systemstruktur	157
Tabelle 39: Erweiterte Systemkonfiguration	159
Tabelle 40: Systemkonfiguration korrigiert.....	160
Tabelle 41: Mehrfachteile bereinigen	162
Tabelle 42: Systemkonfiguration 2.0	165
Tabelle 43: ABC-XYZ-Analyse der drehenden Teile.....	165
Tabelle 44: Systemkonfiguration 3.0	167
Tabelle 45: Erfolgsindikatoren im SOLL-IST-Vergleich	171

Abkürzungsverzeichnis

AF	Absolute Fehler
BME	Bundesverband Materialwirtschaft, Einkauf und Logistik
BMI	Buyer Managed Inventory
CCD	Charge Coupled Device
CMI	Customer Managed Inventory
DIN	Deutsche Industrie-Norm
EAN	European Article Number
ECR	Efficient Consumer Response
ERP	Enterprise-Resource-Planning
GD	gleitender Durchschnitt
GE	Geldeinheiten
GTIN	Global Trade Item Number
HIBE	Hilfs- und Betriebsstoffe
IBN	Inbetriebnahme
ID	Identification
ICR	Intelligent Character Recognition
KPI	Key Performance Indicator
MAD	Mittlere absolute Differenz
NATO	North Atlantic Treaty Organization
ND	Nicht disponierbar
OCR	Optical Character Recognition
PDCA	Plan-Do-Check-Act
QR	Quick Response
RFID	Radio Frequency Identification
RoCE	Return on Capital Employed
ROI	Return on Investment
RoNA	Return on Net Assets
RTE	Reserveteile elektrisch

SC	Supply Chain
SCM	Supply Chain Management
SF	Sicherheitsfaktor
SG	Servicegrad
SI	Sicherheitsbestand
SMI	Supplier Managed Inventory
TIC	Total Inventory Cost
UNSPSC	United Nations Standards Products and Service Code
UPC	Universal Product Code
VASD	voestalpine Stahl Donawitz GmbH
VMI	Vendor Managed Inventory
3PL	Third Party Logistics

Kurzfassung

Die Identifikation und Steigerung von Potentialen in komplexen Systemen, wie es die Ersatzteillogistik ist, werden für das Supply Chain Management immer bedeutender. Die gegenwärtige zunehmende Automatisierung und Mechanisierung von Produktionsanlagen in der Prozessindustrie führt im Falle einer Produktionsunterbrechung aufgrund eines Anlagenausfalls zu erheblichen finanziellen Einbußen. Um dieses Risikos zu minimieren, gehen Produktionsbetriebe vermehrt dazu über, ihre Ersatzteile direkt vor Ort zu lagern.

Allerdings führt ein unkontrolliertes Vorhalten von Ersatzteilen aufgrund der Teileanzahl/Artikelanzahl und deren Beziehungen (einerseits zu den Einbauplätzen und Lagerorten sowie andererseits zueinander) in der Ersatzteillogistik der Betriebe zu Komplexität.

Eine hinsichtlich der Komplexität effektive und effiziente Ersatzteillogistik sichert nicht nur eine geringe Kapitalbindung sondern auch eine höhere Anlagenverfügbarkeit und geringere Verschrottungskosten.

Um dieses Ziel zu erreichen, ist es erforderlich ein theoretisches Modell zu entwickeln, das zeigt, wie die vorhandene Komplexität im System Ersatzteillogistik mithilfe eines Komplexitätsmanagementprozesses optimiert werden kann, um brachliegende Potentiale zu nutzen.

Ausgehend von der Theorie des Variantenmanagements und der Logistik, mit dem Schwerpunkt Ersatzteillogistik und Materialwirtschaft, und den dort gewonnenen theoretischen Erkenntnissen, wird ein Optimierungsmodell mit konkreten Handlungsempfehlungen erstellt, das – unter Einhaltung des vorgegebenen Servicegrades – eine verringerte Komplexität im System Ersatzteillogistik einstellt. Die dabei verwendeten konkreten Handlungsempfehlungen beschreiben das Vorgehen beim „Erfassen, Reduzieren, Beherrschen und Vermeiden“ der Systemkomplexität des bestehenden Ersatzteilbestandes.

In der praktischen Evaluierung wird das Optimierungsmodell, als Ausschnitt der Realität, auf ein definiertes Variantenspektrum aus zwei Systemen angewendet. In Zusammenarbeit mit der Materialwirtschaft, der Instandhaltung sowie Großhändlern/Herstellern werden die besten Maßnahmen aus den konkreten Handlungsempfehlungen für den jeweiligen Artikel umgesetzt.

Abschließend wird anhand der Erfolgsindikatoren gezeigt, wie sich die komplexe Struktur anhand der Konnektivität und Varietät entlang der einzelnen Optimierungsschritte, korreliert zu den Bestandskosten, reduziert hat.

Abstract

The identification and raising of potentials in complex systems, such as spare parts logistics, are becoming more and more important for supply chain management. The current increase in automation and mechanisation of production lines in the processing industry leads to considerable financial losses, due to line failure, if production is interrupted. In order to minimise this risk, more and more production companies are switching to storing their spare parts directly on site.

However, companies will experience complexity in their spare parts logistics if the storage of spare parts is allowed to proliferate unchecked as the result of the quantities of parts and articles involved, taking account – firstly – of their relationships with their installation positions storage locations and – secondly – taking account of how they relate to each other.

However, a spare parts logistics system that is effective and efficient in terms of complexity will secure not only low capital tie-up but also greater line availability and lower scrapping costs.

This objective can be achieved subject to developing a theoretical model which points the way forward in terms of unlocking the potential for simplification of a spare parts logistics system by applying a complexity management process.

Proceeding from the starting point of the theory of variant management and logistics – especially spare parts logistics and materials management – and applying the resultant theoretical knowledge, we prepare an optimisation model with specific recommendations for action, and we successfully optimise the level of complexity in the spare parts logistics system whilst fulfilling the stipulated level of service. The specific actions that are recommended (and correspondingly applied) effectively define the procedure for "recording, reducing, mastering and avoiding" system complexity within existing spare parts stocks.

In the practical evaluation taken as the basis for this paper, a defined variant spectrum from two systems is taken as a reality pick and is loaded into the optimisation model, followed by the application – in co-operation with materials management operators, with servicing providers and with wholesalers/manufacturers – of the best solutions from the specific procedural recommendations for each respective article, and this in turn provides the basis for setting the system's optimised TARGET complexity as derived from the consideration of ACTUAL complexity.

Finally, success indicators are used to show how a complex structure has been improved in correlation to the existing value thanks to connectivity and variety along the individual optimisation steps.

1 Einleitung

1.1 Motivation und Ausgangssituation

Die zunehmende Automatisierung und Mechanisierung von Produktionsanlagen (und deren Verkettung untereinander) führt im Falle einer Produktionsunterbrechung aufgrund eines Anlagenausfalls zu erheblichen finanziellen Einbußen für das betroffene Unternehmen. Dies trifft vor allem auf Unternehmen der Prozessindustrie zu, da dort der Materialfluss von verfahrenstechnischen Bedingungen gekennzeichnet ist; als Beispiele seien einzuhaltende zeitliche Abstände zwischen den Bearbeitungsstufen, begrenzte Puffer- und Lagermöglichkeiten und verschiedenartig geprägte Materialflussverläufe genannt. Daher ist es eine der wesentlichen Anforderungen an die Instandhaltung, dass – nach dem Ausfall einer Produktionsanlage – diese ohne Verzögerung mit Ersatzteilen instand gesetzt und kurzfristig wieder in Betrieb genommen werden kann.¹ Aufgrund hoher Produktionsausfallkosten und der Zunahme der Anlagennutzungszeiten, wie z.B. nachts und an Wochenenden (Schichtbetrieb bzw. kontinuierlicher Betrieb), gehen Produktionsbetriebe vermehrt dazu über, potentielle Ersatzteile direkt vor Ort zu lagern, um ungeplante Betriebsunterbrechungen in Folge eines Anlagenausfalls rasch mit der eigenen Instandhaltung beheben zu können. Oder sie nutzen in dieser Situation alternative Logistikkonzepte, um im Ernstfall rasch Zugriff auf benötigte Ersatzteile und Serviceleistungen zu haben. Gerade durch die engen Produktionspläne gibt es immer weniger geplante Anlagenstillstandszeiten, die zum Kompensieren (vorbeugende/geplante Instandhaltungstätigkeiten) von Ausfällen verwendet werden können.

Erfahrungsberichte aus Industrie- und Forschungsprojekten zeigen, dass in diesem Zusammenhang die Bedeutung, welche der Ersatzteillogistik und dem After Sales Service als Geschäftsmodell beigemessen wird, in Unternehmen (selbst innerhalb einer Branche) unterschiedlich groß ist. Der Umsatzanteil im Maschinen- und Anlagenbau reicht beispielsweise von 3% (durch reine Ersatzteilverkäufe) bis hin zu über 45% (Ersatzteilverkäufe in Kombination mit weiteren Service-Produkten).² Lehmann beschreibt in ihrer Studienarbeit die große Bedeutung des Ersatzteilgeschäftes für Unternehmen und quantifiziert den Anteil des Ersatzteilgeschäftes am gesamten Servicegeschäft mit bis zu 70%.³ Diese Tendenz ist im Bereich des Servicemarktes längst stark verbreitet. Seit 2006 überwiegt diesbezüglich der Serviceanteil den Produktionsanteil beim Sozialprodukt westlicher Volkswirtschaften.⁴ Folgende Erkenntnis dazu wurde nach Expertenge-

¹ Vgl. Biedermann, H. (2008), S. 1f. Krenn hat in ihrer Einleitung die Charakteristika des Materialflusses in der Prozessindustrie zusammenfassend dargestellt. Vgl. Krenn, B. (2008), S. 1.

² Vgl. Industriemagazin, <http://industriemagazin.at/a/ersatzteillogistik-erfolgsmotor-im-internationalen-wettbewerb> (Zugriff: 27.03.2016).

³ Vgl. Lehmann, S. (2005), S. 3.; Schwab, Ch. (2011), S. 6ff. Schwab spricht in diesem Zusammenhang auch von dem Begriff Umsatzträger „Ersatzteil-Service“.

⁴ Vgl. Barkawi, K. et al. (2006), Vorwort. Barkawi et al. unterstreicht damit die marktwirtschaftliche Relevanz des Servicegeschäftes.

sprachen, die im Zuge dieser Arbeit mit Mitarbeitern global tätiger Unternehmen (Industrieanlagenbauer für Prozessanlagen in der Stahlindustrie) geführt wurden, welche im technischen Anlagenbau für die Prozessindustrie/Schwerindustrie tätig sind, gewonnen: Der Anteil des Ersatzteilgeschäfts am Gesamtumsatz dieser Anlagenbauer in der Eisen- und Stahlindustrie liegt zwischen 6,3% und 10%. Mit 20% stellt das Unternehmen SMS hierbei einen Ausreißer dar, wobei auch das klare Bestreben einer weiteren Umsatzsteigerung in diesem Geschäftsbereich seitens SMS besteht. Dies ist ein Indikator für die Wichtigkeit des Ersatzteilgeschäfts im After Sales Bereich.⁵

Entlang der horizontalen Integration seitens der Anlagenbauer wird der Fokus immer mehr auf die Lebenszyklus-basierte Servicierung von Anlagen gelegt. In der Branche des Industrieanlagenbaus (Einzelfertigung-Loosgröße 1) ist es üblich, dass ein Erstausrüstungsersatzteilpaket zur Risikominimierung bei der Inbetriebnahme- und Hochfahrphase vor Ort ist. Umfang und Inhalt des Ersatzteilpaketes entsprechen der Erfahrung des Anlagenbauers. Aufgrund der teilweise sehr langen Lieferzeiten (von einigen Wochen bis hin zu Monaten je nach Ersatzteil) ist es üblich, diese vorab nach der Detail-Engineering-Phase zu beschaffen, um eine rechtzeitige Lieferung zu garantieren und sie zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme verfügbar zu haben. Weitere Erkenntnisse bezüglich des Bedarfs aller benötigten Ersatzteile lassen sich erst aufgrund des Ausfallsverhaltens (sowie des Verschleiß- und Abnutzungsverhalten im laufenden Betrieb der Anlage gewinnen).

In dieser Betrachtung muss allgemein zwischen der Ersatzteillogistik des Herstellers (Anbieter von Ersatzteilen) und der Ersatzteillogistik des Verwenders (Abnehmer von Ersatzteilen) unterschieden werden.⁶ Das heißt, die Ersatzteilwirtschaft gehört einerseits zu den Aufgaben des Herstellers der Ersatzteile, andererseits aber auch zum Anwender der Ersatzteile, welcher zum Zwecke der Instandhaltung Ersatzteile bevorratet, um seine Anlagennutzungsbereitschaft zu sichern bzw. zu erhöhen.⁷

Die Aufgabe der Ersatzteillogistik des Herstellers ist es, die Ersatzteilversorgung der Anlagenverwender unter Wahrung eines optimalen Verhältnisses von Lieferserviceniveau und Logistikkosten zu gewährleisten. Ziel ist es, durch eine gute Versorgung der Anlagenverwender diese als Wiederkäufer oder als Neukunden zu gewinnen (Ersatzteillogistik als Marketinginstrument, auch herstellerunabhängig). Aus finanzieller Sicht leistet die Ersatzteillogistik (als phasenspezifisches Subsystem der Logistik) neben dem primären

⁵ Vgl. Narholz, T. (2016) Expertengespräch; Flick, A. (2016) Expertengespräch; Theelen, N. (2016) Expertengespräch; Farid, A. (2016) Expertengespräch.

⁶ Vgl. Pfohl, H. C. (2010), S. 210. Das Wesen der Ersatzteillogistik wird in der Praxis häufig mit der Bezeichnung Ersatzteilwirtschaft umschrieben. Gabler Wirtschaftslexikon, <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/82517/ersatzteillogistik-v7.html> (Zugriff: 27.03.2016). Zur detaillierteren Differenzierung im Spannungsfeld Anbieter/Abnehmer gilt es Originalersatzteile seitens der Hersteller bzw. Nachbauersatzteile zu unterscheiden. Des Weiteren tritt auch der Anlagenbauer bei einer Vielzahl der Ersatzteile (Standardteile, C-Artikel) als Händler auf. Die Herausforderung in der Beschaffung des Ersatzteilabnehmers liegt in diesem Fall im Eruierten des Originalherstellers, um kostengünstiger zu beschaffen.

⁷ Vgl. Matyas, K. (2013), S. 158f. Matyas zählt zusätzlich zu der Hersteller-Ersatzteillogistik und der Betreiber-Ersatzteillogistik unabhängige Ersatzteillogistik-Dienstleister auf. Hierbei handelt es sich um ein „third party“-Modell zwischen drei beteiligten Firmen (Hersteller, Betreiber und Dienstleister). Vgl. Bruckner, A., Stich, V. (2000), S. 68f.

logistischen Leistungserstellungsprozess einen wertvollen Beitrag zur Sicherung der eigenen wirtschaftlichen Überlebensfähigkeit.⁸ Vor diesem Hintergrund wird die steigende Komplexität infolge zunehmender Variantenvielfalt und Vorhaltdauer der unterschiedlichen Ersatzteile mehr und mehr zur Herausforderung in der Ersatzteillogistik.⁹ Strunz nennt in diesem Zusammenhang zusätzlich zur zunehmenden Variantenvielfalt kürzer werdende Produktlebenszyklen als große Herausforderung für die Ersatzteillogistik.¹⁰

Der Fokus der vorliegenden Arbeit liegt ausschließlich auf dem Ersatzteilabnehmer und der Komplexitätsoptimierung im Umgang mit Ersatzteilen. Die Ersatzteillogistik des Abnehmers hat die Aufgabe der Beschaffung, Lagerung und Bereitstellung von Ersatzteilen zur Instandhaltung der Betriebsmittel. Entsprechend den unterschiedlichen Zielsetzungen bei Hersteller und Abnehmer werden die einzelnen Subsysteme der Ersatzteillogistik (Auftragsabwicklung, Lagerhaltung, Bestandsmanagement, Verpackung, Transport) unterschiedlich gestaltet. Ein unkoordiniertes Vorhalten von Ersatzteilen (beim Abnehmer) kann jedoch dieselbe Herausforderung der zunehmenden Variantenvielfalt analog zum Ersatzteillager des Herstellers erzeugen.¹¹ Je mehr die Rohstoff-, Energie- und Kostenaspekte bei der Anlagennutzung in den Vordergrund treten, desto größer wird die Wichtigkeit der Ersatzteilversorgung und desto eher wird ein Unternehmen dazu neigen, die ausfallsrelevanten Ersatzteile selbst zu bevorraten.¹²

Bäck postuliert in diesem Zusammenhang eine Größenordnung von 15% bis 30% an überhöhten Ersatzteilbeständen, die in den Unternehmen der Ersatzteilbezieher vorhanden sind.¹³ Die Wirtschaftsrelevanz wurde auf der ersten Österreichischen Ersatzteiltagung deutlich¹⁴. Eine der Kernaussagen des Veranstalters ist: „Unsere Erfahrungen zeigen auch hier, dass teilweise Ersatzteilbestände in hohen sechsstelligen Bereichen und nicht selten im Millionenbereich in den Lagern liegen. Gerade bei Beziehern von Ersatzteilen sichert ein effizientes Ersatzteilmanagement nicht nur eine geringe Kapitalbindung, sondern auch eine höhere Anlagenverfügbarkeit und geringere Verschrottungskosten.“¹⁵ Die Relevanz der Thematik bekräftigend unterstreicht z.B. Pawellek zum Thema Ersatz-

⁸ Vgl. Voss, H. (2006), S. 1.; Bruckner, A., Stich, V. (2000), S. 67ff.; Industriemagazin, <http://industriemagazin.at/a/ersatzteillogistik-erfolgsworter-im-internationalen-wettbewerb> (Zugriff: 27.03.2016); Kestel, R. (1995), S. 15; Strunz, M. (2012), S. 571.

⁹ Vgl. Voss, H. (2006), S. 8. Generell gilt im logistischen Leistungserstellungsprozess, dass eine Erhöhung der Anzahl von Produktvarianten die Erschließung weiterer Kundenkreise, Kundenwünsche und Marktsegmente und somit eine Steigerung des Unternehmensumsatzes bewirkt. Demgegenüber stehen aber die kostenerhöhenden Wirkungen der zunehmenden Variantenvielfalt im Bereich der Primärprodukte sowie im dazugehörigen After Sales Service.

¹⁰ Vgl. Strunz, M. (2012), S. 573.

¹¹ Vgl. Bandow, G., Kuhn, A. (2008), S. 27ff. Auch Pfohl zeigt auf, dass neben der Wahl der optimalen Instandhaltungsstrategie in Bezug auf die Lagerhaltung die wichtigste Frage die Festlegung der Art und der Anzahl der bevorrateten Ersatzteile ist. Vgl. Pfohl, H. C. (2010) S. 212.

¹² Vgl. Biedermann, H. (2008), S. 6; Pfohl, H. C. (2010), S. 210.

¹³ Vgl. Bäck, H. (1987), S. 210.

¹⁴ Veranstalter war das Unternehmen Factory gemeinsam mit dem Geschäftsbereich Produktions- und Logistikmanagement von Fraunhofer Austria.

¹⁵ Vgl. Factory, <https://factorynet.at/a/alles-zur-1-ersatzteiltagung-oesterreichs?img=10457> (Zugriff: 27.03.2016).

teillogistik die wachsende Bedeutung von optimierten Beständen mit einem möglichen Optimierungspotential von 20%–70%.¹⁶ Biedermann hält fest, dass Ersatzteillager (speziell in der Prozessindustrie) Größenordnungen erreichen, die mit dem Jahresbudget der Instandhaltung vergleichbar sind. Dadurch wird ersichtlich, mit welchen Kosten die durch die Bevorratung von Ersatzteilen gewonnene Anlagenverfügbarkeit erkaufte wird.¹⁷ Anders formuliert bedeutet dies, dass sich für die Bevorratung von Ersatzteilen Werte ergeben, die sich auf ca. 1,5% des Anlagenwertes belaufen.¹⁸ Auf der anderen Seite gilt es zu jedoch bedenken, dass die Folgekosten durch einen Produktionsausfall aufgrund der Nichtverfügbarkeit eines Ersatzteiles das Hundert- bis Tausendfache des Teilewertes übersteigen können.¹⁹ Die dabei in der Ersatzteilausrüstung auftretende hohe Vielfalt stellt für die Ersatzteillogistik die größte Herausforderung dar, denn eine hohe Artikelverfügbarkeit und eine hohe Prozessstabilität in der Ersatzteillogistik müssen aufgrund der hohen Ausfallkosten sichergestellt sein. Demgegenüber stehen wirtschaftliche Überlegungen, wie die Senkung der Prozesskosten in der Lagerbewirtschaftung sowie die Optimierung der Lagerbestände, im Vordergrund. Beide Erfordernisse (in der Form von konkurrierenden Zielen) in ein wirtschaftlich optimales Verhältnis zu bringen, ist die Hauptaufgabe der Ersatzteillogistik.²⁰

Aus dem Blickwinkel des Lean Maintenance gelten vermeidbare Bestände klar als Verschwendung. Bestände sind in diesem Zusammenhang unnötige Ersatzteile bzw. ihre übertriebene Bevorratung. Als Verschwendung gelten unnötiges Kapital, das für die Anschaffung aufgewendet wurde, sowie unnötig belegte Lagerräume²¹ und die Verschrottung von nicht mehr benötigten Ersatzteilen. Baader et al. spricht von jährlichen Verschrottungsraten von bis zu 40% der Anschaffungswerte.²²

Diese eingangs dargestellte Sachlage „Produktionsausfallkosten versus Ersatzteilverfügbarkeit“ lässt beispielsweise die voestalpine²³ Metal Engineering dazu übergehen,

¹⁶ Vgl. Pawellek, P. (2013), S. 2f. Pawellek beschreibt die Bestandsoptimierung des Ersatzteilbestandes in Verbindung mit einer Optimierung der Instandhaltungsstrategie und betrachtet die Ersatzteillogistik als einen Teilbereich der integrierten Instandhaltung. Wobei die Hauptstoßrichtung für die Bestandsoptimierung aus der Wahl der optimalen Dispositionspolitik resultiert, welche jedoch nur in Verbindung mit der passenden Instandhaltungsstrategie festgelegt werden kann.

¹⁷ Vgl. Biedermann, H. (2008), S. 2.

¹⁸ Vgl. Biedermann, H. (2008), S. 5f. Diese Kennzahl ist naturgemäß abhängig von unternehmenstypischen Rahmenbedingungen wie: Branche, Anlagenwert, Automatisierungs- und Verkettungsgrad, Instandhaltbarkeit der Anlage und Organisation der Ersatzteilbewirtschaftung.

¹⁹ Vgl. Matyas, K. (2013). S. 155f.

²⁰ Vgl. Logistikbranche, <http://www.logistikbranche.net/dossier/ersatzteillogistik.html> (Zugriff: 27.03.2016).

²¹ Vgl. Matyas, K. (2013), S. 175; Zu den sieben Arten der Verschwendung, im Japanischen als „Muda“ bezeichnet, gehört auch der überhöhte Lagerbestand. Vgl. Dombrowski, U. et al. (2009), S. 39.

²² Vgl. Baader, A. et al. (2006), S. 11.

²³ voestalpine ist ein Premiumstahlerzeuger, der in seinen Geschäftsbereichen der weltweit führende Technologie- und Industriegüterkonzern mit kombinierter Werkstoff- und Verarbeitungs-kompetenz ist. Vgl. voestalpine, <http://www.voestalpine.com/group/de/> (Zugriff: 10.07.2016).

Ersatzteile für die Produktionsanlagen selbst auf Lager vorzuhalten.²⁴ Nachfolgend werden treffende Beispiele aus voestalpine Anlagenprojekten aus jüngster Vergangenheit angeführt. Für das Projekt „Walzwerk Neu“ wurden 13,9% des Beschaffungsvolumens (in Geldeinheiten [GE]) der Hauptanlage (~53 Mio. EUR) in die Erstersatzteilausrüstung investiert, um sie für alle möglichen Gebrechen während des Start-up-Betriebes ab der Inbetriebnahme-Phase (IBN-Phase) zur Verfügung zu haben.²⁵ Für das Projekt „Hubbalckenofen Neu“ wurden 3,25% des Beschaffungsvolumens (in GE) der Hauptanlage (~21 Mio. EUR) in die Erstersatzteilausrüstung investiert.²⁶ Für das Projekt „Wärmebehandlungsanlage Neu“ wurden 4,5% des Beschaffungsvolumens (in GE) der Hauptanlage (~20 Mio. EUR) in die Erstersatzteilausrüstung investiert.²⁷

Die oben diskutierte steigende Variantenvielfalt ist nicht nur das Problem einer einzelnen Branche, sondern ein industrieweites Phänomen. Typisch dabei ist, dass jeweils beinahe die gesamte Struktur des Unternehmens von den Auswirkungen der zunehmenden Artikelvielfalt betroffen ist. So ist beispielsweise mit einer steigenden Artikelvielfalt im Ersatzteillager eine steigende Ein- und Auslagerbewegung festzustellen, da mehr Artikel in kleineren Mengen bewegt werden. Die Artikelvielfalt wirkt in diesem Fall über den Lagerbestand auf die Systemgestaltung der Ersatzteillistik. Hinzu kommt der Umstand, dass es parallel zum Anstieg der Materialbewegung zu einem Anstieg des Informationsflusses sowie des Belegflusses kommt.²⁸ In manchen Unternehmen werden meist mehrere Tausend Ersatzteile bewirtschaftet, die sich in ihren technischen und logistischen Eigenschaften unterscheiden. Viele Ersatzteile können in mehreren Maschinen verbaut werden, einige unterliegen einem hohen Verbrauch, andere liegen als reine Risikoreserve auf Lager. Da sich die Anforderungen an die Teile unterscheiden, sollten auch nicht alle Ersatzteile gleichbehandelt werden. Manche Ersatzteile benötigen mehr Aufmerksamkeit und Aufwand als andere, deren Prozesskosten den Materialwert oft deutlich übersteigen. Deshalb ist es wichtig, unterschiedliche Materialwirtschaftsstrategien für Ersatzteile zu verwenden, damit die Ersatzteillistik effektiv und effizient arbeiten kann.²⁹ Somit ist die Art des Managements der Bewirtschaftung in der Ersatzteillistik äußerst relevant und herausfordernd.

Aus finanzieller Sicht führen überhöhte Ersatzteilbestände dazu, dass Kapital unnötig gebunden ist und nicht für andere Verwendungszwecke, wie z.B. für Investitionen, zur Verfügung steht. Verstärkend kann noch der Faktor der Fremdfinanzierung bei Ersatzteilbeschaffung im Zuge einer fremdfinanzierten Anlageninvestition aufgrund der Kapital-

²⁴ Vgl. Biedermann, H. (2008), S. 2; Heuer, G. (1992) S. 453; Fraunhofer-Gesellschaft, <http://www.iml.fraunhofer.de/de/themengebiete/anlagenmanagement/ersatzteilmanagement/best.html> (Zugriff: 27.03.2016).

²⁵ Vgl. Korp, G. F. (2016) Expertengespräch.

²⁶ Vgl. Zorn, J. (2016) Expertengespräch.

²⁷ Vgl. Wernigg, H. (2016) Expertengespräch.

²⁸ Vgl. Kestel, R. (1995), S. 1–3.

²⁹ Vgl. Fraunhofer-Gesellschaft, <http://www.iml.fraunhofer.de/de/themengebiete/anlagenmanagement/ersatzteilmanagement/erboras.html> (Zugriff: 27.03.2016).

verzinsung hinzukommen.³⁰ Laut Strunz wäre der theoretische Idealfall der vollkommene Verzicht auf jegliche Lagerhaltung von Ersatzteilen. Die Kapitalbindung wäre in diesem Fall gleich Null, allerdings beinhaltet eine solche Strategie hohe Logistikkosten und hohe Zuschläge für die Ersatzteilbereitstellung seitens des Anbieters sowie hohe Ausfallkosten für nicht sofort lieferbare Ersatzteile. Dementsprechend ist dieses idealisierte Bild aus wirtschaftlicher Sicht nicht zu vertreten.³¹ In der Ersatzteillogistik benötigen Unternehmen eine wettbewerbsfähige Kostenstruktur, dies gilt vor allem in den Bereichen der Bestands- und Versorgungsoptimierung.³² Dabei ist nicht die Bestandshöhe allein ausschlaggebend, sondern auch zahlreiche weitere logistische Einflussfaktoren sind relevant. Allerdings besitzt die Bestandswertverringerung im Vergleich zu den anderen Stellgrößen im Allgemeinen eine weitaus höhere positive Hebelwirkung.³³

Die Literaturrecherche zu dieser Thematik zeigte, dass unter dem Begriff Ersatzteillogistik hauptsächlich das Vorhalten der Ersatzteile im eigenen Lager und die daraus resultierenden Nachteile (im Sinne Bestandswert) verstanden werden. Das bedeutet, dass in der Ersatzteillogistik des Ersatzteilabnehmers die Ersatzteilvielfalt als primärer Komplexitätstreiber wirkt, auf den das Komplexitätsmanagement für Optimierungen abgestimmt werden muss.

1.2 Relevanz der Thematik für die Wissenschaft

Ausgehend von der Erkenntnis, dass eine hohe Variantenvielfalt an Produkten zu einer hohen Komplexität führt – dies trifft unter anderem auch im Bereich des After Sales Service zu –, sollen zu Beginn dieses Abschnitts nochmals Gedanken zur Ersatzteilvielfalt thematisiert werden. Zunächst eine Definitionserweiterung zum Thema Ersatzteile: „Ersatzteile werden als Sekundärprodukte bezeichnet, die nicht selbstständig nutzbar sind, sondern in einem Primärprodukt der Funktion dessen verbaut sind.“³⁴ Gerade für Hersteller von Primärprodukten bietet sich, wie bereits eingangs erwähnt, das Ersatzteilgeschäft im After Sales Bereich als lukrativer zusätzlicher Umsatzbringer bzw. als mögliches Alleinstellungsmerkmal und/oder Wettbewerbsvorteil gegenüber Mitbewerbern an.³⁵ Tabelle 1 aus Firchau et al. zeigt auszugsweise, welche Auswirkungen eine hohe Variantenvielfalt bei einem Ersatzteilproduzenten im Bereich des After Sales Service hat.

³⁰ Vgl. Wagner, M. (2003), S. 8f.

³¹ Vgl. Strunz, M. (2012), S. 573.

³² Vgl. Bundesvereinigung Logistik, <http://www.bvl.de/fel> (Zugriff: 27.03.2016).

³³ Vgl. Hoppe, M. (2012), S. 24 ff.; Hartmann, H. (2005), S. 55.

³⁴ Vgl. Schwab, Ch. (2011), S. 5.

³⁵ Vgl. Schwab, Ch. (2011), S. 4; Kesper, H. (2012), S. 48f. Neben der Einträglichkeit des Ersatzteilgeschäftes für den Ersatzteilhersteller ist es jedoch nicht möglich, dass eine Produktvielfalt, die einmal „im Markt“ ist, aus vertraglichen und wirtschaftlichen Gründen substituiert oder gar gestrichen wird, auch wenn dies die Variantenvielfalt des Ersatzteilherstellers – betrachtet über den Zeitverlauf – erheblich reduzieren würde.

Tabelle 1: Auswirkungen der Ersatzteilvielfalt³⁶

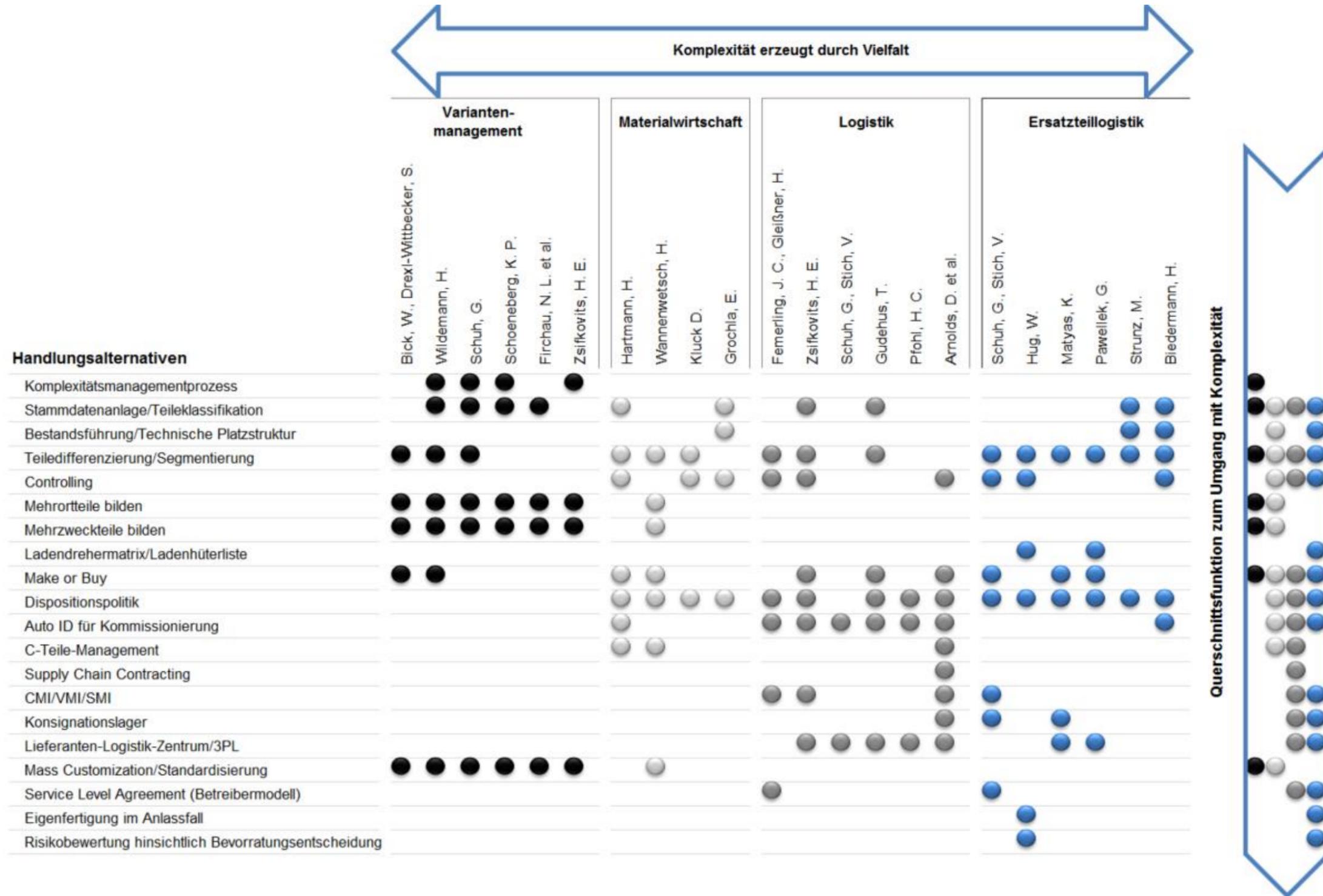
AUSWIRKUNGEN	EINKAUF/LOGISTIK	SERVICE/INSTANDHALTUNG
	•Erschwerte Materialbedarfsermittlung	•Anspruchsvollere Ausbildung des
	•Erhöhte Einstandspreise durch kleinere Stückzahlen	Instandhaltungspersonals
	•Erhöhte Anzahl von Bestellvorgängen	•Zusätzliche Wartungs-, Service- und
	•Höhere Ersatzteillagerbestände zur Aufrechterhaltung	Instandhaltungsvorschriften
	des Produktionsprozesses	•Vergrößerung des Reklamationsrisikos
•Zusätzliche Lieferantensuche und -auswahl		

Unter Berücksichtigung der vorangegangenen theoretischen Überlegungen lässt sich folgendes Resümee ableiten. Wenn ein hoher Ersatzteilbestand beim Produzenten Komplexität erzeugt³⁷, so gilt diese Annahme auch für den Abnehmer der Ersatzteile, sofern es sich auch in dessen Haus ebenfalls um hohe Ersatzteilbestände (große Vielfalt) handelt. Die Variantenvielfalt an Produkten aus dem Bereich des After Sales Service übernimmt somit in dieser Arbeit eine Brückenfunktion bei der inhaltlichen Verknüpfung des Variantenmanagements mit der Ersatzteillogistik und transformiert den Komplexitätsmanagementansatz aus dem Variantenmanagement in die Ersatzteillogistik. Damit wird nun ein Komplexitätsmanagementansatz aus der Produktion zur Umsetzung unterschiedlichster Materialwirtschaftsstrategien –herangezogen und auf ein Ersatzteilspektrum angewandt, wobei die vielfaltsinduzierte Komplexität hierbei die geistige Klammer über den verschiedensten logistischen Fachrichtungen entlang dieser Transformation bildet. Mit Blick auf diese Transformation wird nun versucht, die unterschiedlichsten Handlungsalternativen zum Management von Vielfalt je Fachrichtung innerhalb dieser Klammer zu erfassen. Tabelle 2 zeigt ausgehend vom Variantenmanagement über die Materialwirtschaft und die Logistik bis hin zur Ersatzteillogistik die unterschiedlichsten Handlungsalternativen, bezogen auf das Management von Vielfalt, unabhängig vom jeweiligen zeitlichen Wirkungsbereich. Eine darauf aufgesetzte Querschnittsfunktion fasst diese State-of-the-Art Handlungsalternativen zusammen und extrahiert auf diesem Wege diejenigen Werkzeuge, die für das Management der Vielfalt für die Ersatzteillogistik geeignet sind. Ersichtlich aus dieser Darstellung ist, dass aus dem Fachbereich der Ersatzteillogistik nur einzelne operative Maßnahmen zum Bearbeiten der vielfaltsinduzierten Komplexität herangezogen werden, während aus dem Variantenmanagement ein Managementprozess hervorgeht, der im Vergleich zur Ersatzteillogistik zusätzlich zukunftsorientierte präventive Maßnahmen hinsichtlich Standardisierung enthält. Zusammenfassend bedeutet dies, dass zum einen der prozessuale Aufbau eines vielfaltsinduzierten Komplexitätsmanagements sowie zum anderen zukunftsorientierte vielfaltseinschränkende Maßnahmen gemäß unterschiedlichster Materialwirtschaftsstrategien für die Ersatzteillogistik noch nicht im Fokus der Betrachtungen lagen. Somit zeigt sich – hinsichtlich der Frage nach der wissenschaftlichen Relevanz – durchaus eine Lücke in der Fragestellung der Übertragbarkeit des Komplexitätsmanagements aus dem Bereich des Variantenmanagements in die Ersatzteillogistik.

³⁶ Quelle: Firchau, N. L. et al. (2002), S. 7.

³⁷ Von besonderer Komplexität geprägt ist die Logistikorganisation im After Sales Bereich, die die Ersatzteilversorgung sicherstellen soll. Vgl. Baader, A. et al. (2006), S. 11.

Tabelle 2: Werkzeuge zum Umgang mit Vielfalt³⁸



³⁸ Vgl. Hartmann, H. (2005), S. 1ff.; Wannenwetsch, H. (2010), S. 1ff.; Kluck, D. (2008), S. 1ff.; Grochla, E. (1990), S. 1ff.; Gudehus, T. (2010), S. 1ff.; Arnolds, D. et al. (2008), S. 1ff.; Zsifkovits, H. E. (2012), S. 1ff.; Pfohl, H. C. (2010), S. 1ff.; Femerling, J. C., Gleißner, H. (2012), S. 1ff.; Schuh, G., Stich, V. (2013), S. 1ff.; Schuh, G. (2005), S. 1ff.; Bick, W., Drexl-Wittbecker, S. (2008), S. 1ff.; Firchau, N. L. et al. (2002), S. 1ff.; Schoeneberg, K. P. (2014), S. 1ff.; Biedermann, H. (2008), S. 1ff.; Matyas, K. (2013), S. 1ff.; Strunz, M. (2012), S. 1ff.; Hug, W. (1986), S. 1ff.; Pawellek, P. (2013), S. 1ff.; Wildemann, H. (2013), S. 1ff.

1.3 Relevanz der Thematik für die betriebliche Praxis

In diesem Abschnitt wird die Relevanz der Thematik „Ersatzteillogistik“ für die betriebliche Praxis anhand einer IST-Analyse evaluiert. Zu diesem Zweck wird jeweils ein Interview (Expertenbefragung aus der Stahlindustrie, [Prozessindustrie]) mit Hilfe eines Fragebogens zur Thematik „Ersatzteillogistik“ geführt. Die Fragen sind in Tabelle 3 aufgelistet und betreffen die Ersatzteillogistik der Abnehmer von Ersatzteilen. Die gewählte offene Interviewform stellt – durch die Möglichkeit eines freien Referierens des Interviewten – ein gewisses Maß an Ausführlichkeit der Antworten sicher, um mögliche relevante Einflussfaktoren zu diesem Themengebiet erfassen zu können.

Tabelle 3: Expertenbefragung zur Situation der Ersatzteillogistik

Thema Ersatzteillogistik-Fragenkatalog	
EXPERTENBEFRAGUNG	Wem obliegt die organisatorische Verantwortung im Unternehmen?
	Gibt es einen definierten Prozess zur Ersatzteillogistik im betreffenden Unternehmen?
	Werden Ersatzteile bestandsgeführt, und wenn ja wie?
	Gibt es Kennzahlen zur Ersatzteillogistik im betreffenden Unternehmen?
	Wie oft werden diese Kennzahlen erhoben im betreffenden Unternehmen?
	Auf wie viel % vom Anlagenbestand (in GE) beläuft sich der Ersatzteilbestand?
	Wie viele Ersatzteile (Artikel, Teile) sind vorrätig?
	Welche Relevanz hat die Ersatzteilbestandshöhe in betriebswirtschaftlicher Hinsicht für Ihr Unternehmen?
Gibt es Optimierungsbemühungen bezüglich des Ersatzteilbestandes?	
Welche Optimierungsbemühungen sind dies?	

In dieser Befragung wurden acht Unternehmen aus der Stahlindustrie zu ihrer aktuellen IST-Situation befragt.³⁹ Die Interviewpartner sind Führungskräfte mit Kostenstellenverantwortung aus dem Bereich Ersatzteilwirtschaft und Instandhaltung.⁴⁰ Die Ersatzteilbestandshöhe wird von allen Interviewten als Kostentreiber der Ersatzteillogistik identifiziert. Dies bedeutet in konkreten Zahlen am Beispiel der voestalpine Stahl Donawitz GmbH (VASD), dass aktuell ca. 22.000 unterschiedliche Artikel mit einem Volumen von ca. 21,5 Mio. Euro auf Lager vorrätig sind. In diesem Ersatzteilkonglomerat ist das gesamte Spektrum vom simplen C-Artikeln in der Form eines O-Ringes bis hin zu einem hochkomplexen Maschinenteil im Wert eines sechsstelligen Eurobetrags enthalten. Aus regelmäßigen Bestandsauswertungen in der VASD lässt sich die Entwicklung und Ten-

³⁹ Vgl. Goldgruber, P. (2016) Expertengespräch; Köhler, J. (2016) Expertengespräch; Prammer, H. (2016) Expertengespräch; Pichler, T. (2016) Expertengespräch; Vecera, G. (2016) Expertengespräch; Sorg, R. (2016) Expertengespräch; Wiehler, K. (2016) Expertengespräch; Domschke, M. (2016) Expertengespräch.

⁴⁰ Je nachdem, wo die Ersatzteillogistik organisatorisch angesiedelt ist.

denz ableiten, dass der Lagerbestand in Form von Artikelanzahl, Teileanzahl und Artikelvarianten kontinuierlich ansteigt.⁴¹

Dementsprechend werden laut Expertenbefragung auch alle Optimierungsmaßnahmen, soweit vorhanden, dahingehend orientiert. Bezüglich eventueller Outsourcing-Bemühungen beschäftigt nur ein Unternehmen einen externen Dienstleister – und dies ausschließlich für den innerbetrieblichen Ersatzteiltransport zu den Bedarfsstellen. Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten sowie die Ersatzteillagerbewirtschaftung werden generell durch das eigene Personal erbracht. Grundsätzlich sehen alle Unternehmen die Optimierung der Ersatzteilbestandshöhe und der Ersatzteilbestandsführung als strategisches Ziel hinter dem Begriff Ersatzteillogistik. Diejenigen Unternehmen, die ihre Ersatzteile bereits bestandsführen und das gesamte Ausmaß der Bestandssituation über Kennzahlen belegen und analysieren können, haben konkrete Bestrebungen, den Ersatzteilbestand zu senken. Demgegenüber beginnt die andere Gruppe von Unternehmen erst damit, die nicht bestandsgeführten Lager aufzulösen und stattdessen eine bestandsgeführte Ersatzteilverwaltung aufzubauen. Somit zeigt sich aus der Prozesssicht, dass im ersten Schritt eine Bestandsführung als Ziel vorliegt, um Key Performance Indicators (KPIs) bezüglich des Ersatzteilbestands generieren zu können und dann darauf aufbauend im zweiten Schritt mithilfe dieser Analysebasis diverse Optimierungsschritte durchzuführen. Aus organisatorischer Sicht lässt sich aus der Expertenbefragung der Schluss ableiten, dass jeweils dort, wo die Ersatzteillogistik in der Instandhaltung verankert ist, nicht bestandsgeführte dezentrale Lager vorherrschen, während bei zentral angesiedelten Ersatzteilwirtschaftsorganisationseinheiten bereits eine Bestandsführung der Artikel erfolgt.⁴²

Abbildung 1 veranschaulicht die Kernaussagen der Expertenbefragungen und spiegelt die Relevanz der Thematik für die interviewten Unternehmen wider, da fast alle Betriebe das betriebswirtschaftliche Potential erkannt und dementsprechend Optimierungsbemühungen gestartet haben bzw. bereits durchführen. Ein Beispiel hierzu ist die voestalpine Stahl Linz, die insgesamt 150 Mio. EUR in Form von Ersatzteilen vorrätig hat und deren interne Zielvorgabe lautet, den bestehenden Ersatzteilbestand um 1% (in GE) jährlich zu reduzieren.

⁴¹ Als Produkte werden in diesem Zusammenhang all jene Erzeugnisse verstanden, die bezüglich aller relevanten Produktmerkmale nicht die gleiche Ausprägung aufweisen oder gar keine idente Ausprägung besitzen. Unterschiedliche Produktvarianten sind Elemente einer Produktart, in der die Merkmale der zugehörigen Produkte Ähnlichkeiten in Bezug auf ihre Ausprägung besitzen, sich die einzelnen Varianten jedoch in geringem Maße voneinander unterscheiden. Die Festlegung der relevanten Produktmerkmale sowie die Abgrenzung der Varianten und ihre Zuordnung zu einer Produktart erfolgen subjektiv und relativ aus Sicht des Unternehmens. In dieser Arbeit wird der Begriff „Artikel“ synonym zum Begriff „Produkt“ verwendet, der Begriff „Teil“ beschreibt hierbei die „Anzahl der Elemente eines Artikels“. Vgl. Kesper, H. (2012), S. 22f.; Kestel, R. (1995), S. 5-10.

⁴² Vgl. Goldgruber, P. (2016) Expertengespräch; Köhler, J. (2016) Expertengespräch; Prammer, H. (2016) Expertengespräch; Pichler, T. (2016) Expertengespräch; Vecera, G. (2016) Expertengespräch; Sorg, R. (2016) Expertengespräch; Wiehler, K. (2016) Expertengespräch; Domschke, M. (2016) Expertengespräch.

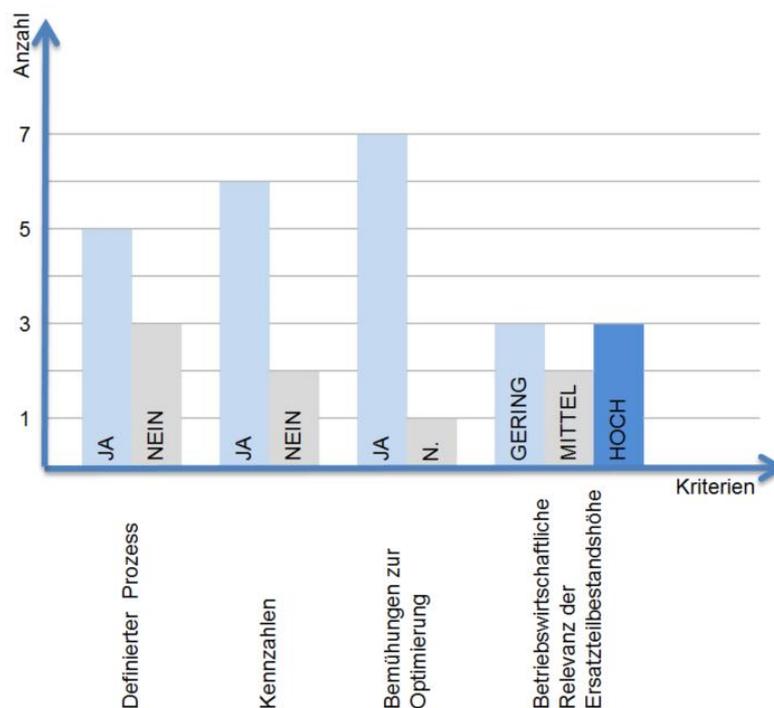


Abbildung 1: Darstellung der Kernaussagen der Experteninterviews⁴³

Eine wesentliche Erkenntnis, die im Zuge der Expertenbefragung und der Literaturrecherche gewonnen wurde, ist, dass die Ersatzteillogistik des Herstellers im Vergleich zur Ersatzteillogistik des Abnehmers technisch und organisatorisch viel stärker weiterentwickelt und ausgeprägt ist. Das Kostenbewusstsein des After Sales Service im Sinne eines eigenen Geschäftsfeldes ist bei der Ersatzteillogistik des Herstellers dementsprechend stärker repräsentativ.

Die eingangs dargestellten Erkenntnisse und die durch die Expertenbefragung generierten Ergebnisse lassen hinsichtlich der vorherrschenden Problematiken in der Ersatzteillogistik den Schluss zu, dass durch die im Rahmen dieser Dissertation behandelten Fragestellungen ein wesentlicher Beitrag zur nachhaltigen Verbesserung der aktuellen Situation in der Ersatzteillogistik des Abnehmers geleistet wird. Vor allem aber ist die ganzheitliche Betrachtung und Abbildung – quer über alle zeitlichen und betrieblichen Wirkungsbereiche, die die Ersatzteillogistik betreffen – die Zielsetzung des in dieser Arbeit zu erstellenden Modells⁴⁴. Einerseits soll dabei das Modell den vorherrschenden Schnittstellen und Wechselwirkungen zwischen Instandhaltungsabteilungen, Engineeringabteilungen, Investitionsabteilungen, Materialwirtschaft mit den Dispositionsabteilungen und den Lieferanten hinsichtlich der Komplexitätsbetrachtung gerecht werden und andererseits soll ebenfalls ein dementsprechenden Mehrwert entlang dieser Kette generiert werden.

⁴³ Quelle: eigene Darstellung.

⁴⁴ Hiermit soll explizit der Umstand hervorgehoben werden, dass Ersatzteile nicht ausschließlich ein Thema für die Instandhaltungsabteilungen sind. Vielmehr werden auch indirekte Entscheidungen darüber, welche Ersatzteile benötigt werden, meist schon beim Engineering und bei der Auslegung der Anlagen determiniert und üben somit einen bedeutenden Einfluss auf das Gesamtsystem Ersatzteil aus.

2 Fragestellung und Forschungsdesign

2.1 Literaturstudie

Die Literaturstudie, die die geistige Klammer um das Themengebiet bildet, setzt sich aus Publikationen zu folgenden Bereichen zusammen:

Systemtheorie (Kybernetik): In diesem Abschnitt wird definiert, was Komplexität ist und mit welchen Facetten diese im Allgemeinen auftritt. Wesentlich ist die systemtheoretische Erklärung hinsichtlich der komplexen Strukturen von Systemen. Vor allem erfolgt die Plausibilisierung des komplexen Verhaltens für die weitere Betrachtung im Zusammenhang mit der selbstorganisierenden Kritikalität und dem Phasenübergang zum Systemzustand des Chaos. Nach der Betrachtung des Einflusses der Zeit auf ein komplexes System wird das Kapitel mit allgemeinen Ansätzen zur Komplexitätsreduktion abgeschlossen.

Variantenmanagement: Im Bereich des Managements der Variantenvielfalt existieren sehr viele Publikationen, die das Phänomen „Komplexität erzeugt durch Vielfalt“ erklären, berechnen und dementsprechende Prozesse und Tools entwickelt haben, um diese Komplexität zu managen. Als maßgebender Komplexitätstreiber wird in der Literatur die Eigenschaft Vielfalt identifiziert. Die Begriffserklärung des Phänomens Komplexität erfolgt in diesem Fall anhand der systemtheoretischen Beschreibung aus der Kybernetik. Klar ersichtlich ist, dass dieser Ansatz ausschließlich produktionsseitig, im Sinne einer Produktkomplexität, verwendet wird. Unternehmen erwarten sich dadurch eine verbesserte Wettbewerbsposition und/oder den Aufbau von Markteintrittsbarrieren und/oder eine eigenständige strategische Erfolgsposition. Lediglich in geringem Maße betrachten Autoren die gesamte betriebliche Querschnittsfunktion inkl. des After Sales Service. Hier zeigt sich bereits, dass aufgrund der geringen Anzahl von gefundenen Veröffentlichungen zum Thema Variantenmanagement im After Sales Bereich (hinsichtlich der Fokussierung auf den Nutzer des After Sales Service im Bereich Ersatzteillieferung oder, anders formuliert, aus Sicht des Ersatzteilverwenders) Forschungsbedarf in diesem Bereich besteht.

Logistik (Ersatzteillogistik aus Herstellersicht): In diesem Kontext wird die Ersatzteillogistik eher weniger innerbetrieblich in der Unternehmensebene als vielmehr auf der volkswirtschaftlichen Ebene betrachtet. Die Herausforderung dabei ist, dass weltweit immer mehr Ersatzteile an einer steigenden Anzahl an Orten bereitgestellt werden müssen. Zu den Hauptgründen zählen die zunehmende Produktvielfalt, unterschiedliche Lebenszyklen von Einzelkomponenten, der parallele Einsatz unterschiedlicher Technologien, lange Gewährleistungs- und Versorgungszeiträume, eine globale Kundenstruktur, die Forderung nach kurzen Lieferzeiten sowie Pönalen bei Produktausfall bzw. Anlagenstillstand.⁴⁵ Wie von DHL bezeichnet, wird die Ersatzteillogistik auch die Königsklasse

⁴⁵Vgl. Industriemagazin, <http://industriemagazin.at/a/ersatzteillogistik-erfolgskriterium-im-internationalen-wettbewerb> (Zugriff: 27.03.2016).

der Logistik genannt.⁴⁶ Hierbei wird nach der optimalen Logistikhaltung für den Ersatzteilhersteller geforscht, der Hubs bzw. Kunden unter Einbeziehung der 6 Rs versorgt.⁴⁷

Ersatzteillogistik aus Abnehmersicht auf Unternehmensebene: In Bezug auf dieses Thema liegt der Schwerpunkt der wissenschaftlichen Forschung im Bereich der Kopplung der Ersatzteilbewirtschaftung mit der Instandhaltungsstrategie.⁴⁸ Die Thematik Komplexität wird hierbei in der Literatur auch aufgrund der Teilevielfalt angesprochen, jedoch existiert noch kein Ansatz, der ident zu den Ansätzen aus dem Variantenmanagement im Sinne eines Komplexitätsmanagementprozesses der Produktion ist. Eher ist in der Literatur aufgrund der zentralen Frage „Was wird wann benötigt“ die Verschmelzung zwischen Ersatzteilmanagement und Anlagenmanagement zu beobachten, bzw. sind nur rudimentär Publikationen über die teiledifferenzierte Bewirtschaftung von Ersatzteilen zu finden. Dieser zweite Ansatz zielt darauf ab, dass nicht alle Ersatzteile idente Bewirtschaftungsstrategien benötigen, da sie eine unterschiedliche Verbrauchscharakteristik und Wertigkeit haben. Somit sind auch Logistikkonzepte wie Konsignationslager, C-Artikel-Management und dergleichen implementierbar. Zusammenfassend lässt sich der Schluss ziehen, dass Veröffentlichungen zum Begriff Ersatzteilwirtschaft bisher eher zur Anlagenwirtschaft zählen und Publikationen zur Ersatzteillogistik eher im Fokus der Betrachtungen zu After Sales Service stehen. Auf die entscheidende Frage, ob Variantenmanagementprozesse bzw. Werkzeuge daraus auf die Ersatzteilwirtschaft übertragbar sind, konnte im Zuge der Literaturrecherche jedoch keine Antwort gefunden werden.

Materialwirtschaft: Der Grund für die Betrachtung des Forschungsgebietes der Materialwirtschaft ist zum einen unter dem Schlagwort Lagerhaltungskosten und zum anderen in den Lagerbewirtschaftungspolitiken zu suchen. In der Materialwirtschaft liegt der Forschungsschwerpunkt, bezogen auf Lagerhaltungskosten, in der Untersuchung der optimalen Dispositionspolitik, um Lagerbestände gering zu halten und eine rasche Lagerdrehung bei höchstmöglichem Servicegrad zu erreichen.⁴⁹ Maßgeblich handelt es sich in diesen Betrachtungsbereichen um Halb- und Fertigwarenlager bzw. Roh-, Hilfs- und Betriebsstofflager. Diese Artikel unterliegen jedoch auch schnelleren Lagerdrehungen und Teileanzahlen, als dies bei Ersatzteilen der Fall ist. Die stochastische Disposition, welche für Ersatzteile maßgeblich ist, wird in diesem Forschungsgebiet eher am Rande betrachtet.

Des Weiteren sind Gedankenansätze des **Supply-Chain-Management** zur Möglichkeit der Einbindung von Großhändlern/Lieferanten und Logistikprovidern in die Wertschöpfungskette „Ersatzteil“ sowie des **Lean Management** zur Vermeidung von Verschwendung im Hinblick auf die Aufgabenstellung eingeflossen.

⁴⁶ Vgl. DHL, https://www.dhl-discoverlogistics.com/cms/de/course/processes/spare_part_logistics/definition.jsp (Zugriff: 27.03.2016).

⁴⁷ Definition der 6 Rs: Bereitstellung der richtigen Güter, in der richtigen Menge, am richtigen Ort, zur richtigen Zeit, im richtigen Zustand, zu den richtigen Kosten. Vgl. Haasis, H. D. (2008), S. 5.

⁴⁸ Dies bedeutet auch, dass das Ersatzteillager organisatorisch bei der Instandhaltung verankert ist.

⁴⁹ Best-Practice-Unternehmen können einen Servicegrad von über 95% vorweisen. Vgl. Wannenwetsch, H. (2010), S. 514.

2.2 Forschungsfrage und Zielsetzung der Arbeit

Die Forschung im Bereich solcher Arbeiten hat laut Kirchhof drei methodische Schwerpunkte: erstens die qualitative Forschung (Forschung im Entstehungszusammenhang), zweitens die quantitative Forschung (Forschung im Begründungszusammenhang) und drittens die anwendungsorientierte Forschung (Forschung im Anwendungszusammenhang). Die dritte Form der Forschung beschäftigt sich vor allem mit der Verwertung der Forschungsergebnisse in der unternehmerischen Praxis.⁵⁰ Eben darauf zielt auch diese Arbeit ab, deren Ziel es ist, den größtmöglichen Praxisnutzen zu generieren.

Globales Ziel dieser Arbeit ist es, einen Beitrag zum wissenschaftlichen Diskurs in der dritten Forschungsform zum Thema Komplexitätsmanagement mittels Optimierungsmodell in der Ersatzteillogistik zu leisten, der die Komplexität und ihre Auswirkung in der Ersatzteillogistik für die betriebliche Anwendung in den Mittelpunkt stellt.⁵¹ Zur Zieldefinition dieser Arbeit folgt in diesem Abschnitt die Formulierung der Forschungsfrage und der daraus resultierenden Nebenfragen. Die Herausforderung hierzu ist es, eine praktikable Methodik in Form eines Optimierungsmodells zum Reduzieren von Komplexität in der Ersatzteillogistik zu entwickeln und dieses Modell mit Blick auf seine Anwendbarkeit und den Nutzen in der betrieblichen Praxis zu evaluieren. In weiterer Folge werden auch die zeitlichen Aspekte der eingetretenen Effekte betrachtet, um eventuelle irrelevante Effekte bzw. zu vernachlässigende Effekte aufgrund des Zeithorizontes für die praktische Anwendung auszuklammern. In diesem Zusammenhang ist es wichtig, die Nachhaltigkeit der Optimierungsmaßnahmen ebenfalls sicherzustellen. Eine umfangreiche Verifikation über mehrere Jahre hinweg wird hierbei als ideale Verifikation angesehen, würde den Rahmen dieser Arbeit jedoch sprengen.⁵²

Wissenschaftliche Forschungsfrage:

Wie muss der Aufbau eines Optimierungsmodells für das Komplexitätsmanagement der Ersatzteillogistik eines Prozessanlagenbetreibers in der Stahlindustrie sein, um die Ersatzteilbestandskosten nachhaltig zu reduzieren?

Verknüpft mit der oben gestellten Forschungsfrage ergeben sich weitere Nebenfragen:

- Was erzeugt Komplexität (Identifikation von Komplexitätstreibern) in der Ersatzteillogistik des Anlagenbetreibers?
- Welche Rahmenbedingungen (Leitlinien) müssen für ein effizientes Ersatzteilmanagement gewährleistet sein?
- Welche Komplexitätsstrategien lassen sich für einen Komplexitätsmanagementprozess einsetzen?

⁵⁰ Vgl. Kirchhof, R. (2003), S. 4f.

⁵¹ Vgl. Blockus, M. O. (2010), S. 37.

⁵² Vgl. Schröder, W. (2010), S. 20.

- Wie sieht ein Optimierungsmodell für die Ableitung von Handlungsempfehlungen aus?
- Welche konkreten Handlungsempfehlungen im Sinne eines Maßnahmenkataloges können im Optimierungsmodell verwendet werden?
- Welche traditionellen Logistikkonzepte können im Komplexitätsmanagement integriert eingesetzt werden?
- Welche Erfolgsindikatoren zur Messung der Zielerreichung können verwendet werden?

Im weiteren Sinne soll diese Arbeit dazu dienen, Forschungsergebnisse hinsichtlich von Best-Practice-Ansätzen in der Ersatzteillogistik zu nutzen. Es ist ein Ziel des Autors, die Lücke zwischen Literatur und Praxis zu diesem Themengebiet weiter zu schließen und entsprechende konkrete Handlungsempfehlungen für eine praktikable Umsetzung zur Verfügung zu stellen.⁵³

Reduktionsansätze im Sinne des Komplexitätsmanagementprozesses sind ausschließlich unter der Prämisse einer maximalen Kosteneinsparung bei den Ersatzteillogistikskosten unter Berücksichtigung einer maximalen Ersatzteilverfügbarkeit gemäß dem geforderten Servicegrad zu sehen.⁵⁴

2.3 Aufbau der Arbeit

Zur Bearbeitung der Fragestellung wird auf existierenden Vorarbeiten zum Komplexitätsmanagement aus dem Fachbereich Variantenmanagement aufgebaut, von welchem die Transformation des Komplexitätsmanagementansatzes ausgeht, um dann in weiterer Folge sukzessive diesen in die Ersatzteillogistik zu implementieren und anschließend zu evaluieren. Folgender Ablauf im Arbeitsaufbau wird diesbezüglich gewählt.

Aufbauend auf der Einleitung in **Kapitel eins**, in der die Motivation zur Themenbearbeitung anhand der Bedeutung der Ersatzteillogistik aus Produktionssicht dargestellt wird, erfolgt die Betrachtung dieses Themas aus der Ersatzteilabnehmer- und Ersatzteilanbieterperspektive. In beiden Sichten werden die Relevanz und das Potential des Themas durch Experteninterviews und durch die Lücke in der Fragestellung hinsichtlich der Übertragbarkeit des Komplexitätsmanagementansatzes untermauert. Außerdem wird erstmals die Artikel- und Teilevielfalt genannt, die als Treiber Komplexität erzeugt; dahingehend wird auch der Ansatz einer teiledifferenzierenden Betrachtungsweise erwähnt.

In **Kapitel zwei** erfolgt ein Überblick zu den Theorieabschnitten der Systemtheorie (Kybernetik), des Variantenmanagements, der Ersatzteillogistik und der Materialwirtschaft. Diese Fachbereiche umspannen das Themengebiet, das diese Arbeit beinhaltet. Weiters werden im zweiten Kapitel die Forschungsfrage nebst Nebenfragen gestellt und die Zielsetzung der Arbeit formuliert. Nochmals erwähnt sei an dieser Stelle, dass die Ausrichtung der Arbeit großen Wert auf die praktische Anwendbarkeit und Umsetzbarkeit der

⁵³ Vgl. Schröder, W. (2010), S. 18.

⁵⁴ Vgl. Matyas, K. (2006), S. 41. Dies auch im Sinne einer Lean Production, also Vermeidung von Verschwendung in allen Produktionsbereichen. Ganz besonders ist hier die Verschwendung durch zu hohe Bestände hervorzuheben.

Ergebnisse legt. Da ein vollständiger Überblick über die gesamte Literatur im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich ist, beschränken sich die Ausführungen auf die für diese Arbeit relevanten Forschungsbemühungen.⁵⁵ Den Abschluss in Kapitel zwei bildet die Darstellung des Arbeitsaufbaus mit den zentralen Schwerpunkten.

Kapitel drei stellt überblicksmäßig die theoretische Diskussion und Aufbereitung der wissenschaftlichen Basis vor, welche das theoretische Fundament für die darauffolgenden Kapitel bildet. Begonnen wird mit den Grundlagen der Systemtheorie, um den Begriff der Komplexität zu erläutern sowie dessen Erscheinungs- und Ausprägungsformen darzustellen. Aufbauend auf diesen Ergebnissen wird das Thema Variantenvielfalt, welches im Kontext mit Produktvarianten als der Komplexitätstreiber schlechthin gilt, erörtert. Danach gilt es, die Diskussion hinsichtlich Komplexitätsmanagementstrategien in Bezug auf Variantenvielfalt zu führen. Des Weiteren werden Überlegungen zum optimalen Komplexitätsgrad angestellt. Die Ausführungen in diesem Abschnitt sollen die grundsätzlichen Begriffe und Konzepte aus dem Bereich Komplexitätsmanagement mit dem Schwerpunkt Variantenmanagement abbilden. Dabei wird versucht, nicht zu tief in den Bereich des Variantenmanagements eines Produktionsbetriebes einzutauchen; es soll primär aufgezeigt werden, dass eine Vielzahl von Varianten entlang des Leistungserstellungsprozesses Komplexität erzeugt, und dass – wenn diese Komplexität nicht beherrscht wird – ein Unternehmen in letzter Konsequenz in den Ruin getrieben werden kann. Als Brückenschlag von den Anbietern zu den Abnehmern der Ersatzteile wird hierbei die Komplexität der Variantenvielfalt im After Sales Bereich verwendet. Dazu wird vorab das Fachgebiet der Ersatzteillogistik und dessen Begrifflichkeiten sowie deren Ausprägungen diskutiert. Anschließend wird die Materialwirtschaft allgemein beleuchtet und die Thematik der Lagerlogistik im Allgemeinen sowie die Lagerbewirtschaftung für Ersatzteile erläutert. Die betriebswirtschaftlichen Auswirkungen der Ersatzteillogistik werden anhand von ROI-Schemata bzw. Bilanz betrachtet. Durch die Verbindung zur Ersatzteillogistik aus dem Fokus des Ersatzteilverwenders liegt der Schwerpunkt dieser Arbeit auf der Artikel- und Teilevielfalt mit ihren Interdependenzen sowie deren zeitlicher Veränderung aufgrund des Produktlebenszyklus und versucht diese Komplexitätstreiber mit gezielten Maßnahmen positiv zu beeinflussen.

In **Kapitel vier** erfolgt die Erstellung der Hypothese auf Basis der theoretischen Vorüberlegungen für die Beantwortung der Forschungsfrage.

Anschließend an die Hypothese erfolgt in **Kapitel fünf** der Aufbau der Methodik zum Komplexitätsmanagement in der Ersatzteillogistik. Dazu wird ein Ordnungsrahmen zur Differenzierung der verschiedenen Bereiche der Ersatzteillogistik entwickelt. Darauf aufbauend wird ein Komplexitätsmanagementmodell generiert, welches Erkenntnisse des Variantenmanagements mit Erkenntnissen aus dem Ersatzteilmanagement zu einem Lösungsansatz kombiniert. Dies bildet wiederum einen Prozess ab, der die Komplexitätsreduktion durch Vorwärts- und Rückwärtsstandardisierung sowie Komplexitätsbeherrschung letztendlich durch konkrete Handlungsempfehlungen an der Höhe des Ersatzteilbestandes sichtbar macht. Ein wesentlicher Punkt hierbei ist die Definition einer einfachen und praktikablen Methode zur Messung der vorhandenen Ersatzteilkomplexität und ihrer Veränderung aufgrund von durchgeführten Optimierungsansätzen.

⁵⁵ Vgl. Blockus, M. O. (2010), S. 41.

Kapitel sechs dient der empirischen Überprüfung der vorangegangenen theoretischen Überlegungen zum Entwurf des Modells (Hypothese) am Praxisbeispiel der Ersatzteillogistik in der voestalpine Stahl Donawitz GmbH und der voestalpine wire rod GmbH anhand des Variantenspektrums Elektrotechnik. Zu diesem Zweck erfolgt in diesem Kapitel die empirische Datenerhebung (Datenumfang sowie Datenqualität) in der Form einer IST-Systemanalyse. Hierbei wird die Datenausgangsbasis (System und Systemumwelt) eingefroren und die zu evaluierende Systemstruktur vorgestellt. Aufbauend auf dieser Ausgangskonfiguration der Systemstruktur werden die jeweiligen zum Variantenspektrum passenden spezifischen und konkreten Handlungsempfehlungen aus dem Optimierungsmodell angewendet und die daraus resultierende Optimierung in der Systemkonfiguration dokumentiert. Ziel dieses Kapitels ist es, die Anwendbarkeit und Praktikabilität des entwickelten Modells zu überprüfen und die ersten empirischen Ergebnisse in Bezug auf die Ersatzteillogistik zu generieren.

Im **Kapitel sieben** werden das Ergebnis der Evaluierungsschritte und die daraus resultierenden Erkenntnisse den Erwartungen aus der Hypothese gegenübergestellt und deren Wirksamkeit bezogen auf das Variantenspektrum bestätigt bzw. falsifiziert. Des Weiteren wird die Diskussion hinsichtlich der Erfolgsindikatoren aus dem Optimierungsmodell durchgeführt und die Soll-Situation vergleichend der IST-Situation gegenübergestellt, bzw. es wird der Einfluss der jeweiligen Komplexitätsstrategie auf die einzelnen Erfolgsindikatoren dargestellt. Das Kapitel schließt mit der Darstellung der Komplexitätskosten in Bezug auf die Modellevaluierung.

In **Kapitel acht** werden die empirischen Resultate der einzelnen konkreten Handlungsschritte interpretiert und in Bezug auf ihre Praxistauglichkeit abgehandelt. Hierbei soll auch das Thema der Praktikabilität der Umsetzbarkeit der theoretischen Lösungsansätze aus dem Bereich der Logistik erörtert werden, welche über die Querschnittsfunktion zum Umgang mit Komplexität herangezogen wurden. Am Ende dieses Kapitels erfolgt der Ausblick auf weiterführende Fragen und mögliche Untersuchungsschwerpunkte zum Themengebiet.

Kapitel neun schließt mit der Zusammenfassung der wesentlichen Erkenntnisse dieser Arbeit und gibt einen hypothetischen monetären Ausblick, bezogen auf das gesamte Variantenspektrum, das eingangs in Kapitel 6 angeführt ist, bei Anwendung des Optimierungsmodells.

Abbildung 2 zeigt hierzu – in grafischer Form – überblicksmäßig den Arbeitsaufbau und gibt die Schwerpunkte der Arbeit wieder.

Weiterführende Diskussionen betreffend wird in dieser Arbeit Komplexität als Systemeigenschaft und Ersatzteillogistik als System verstanden.

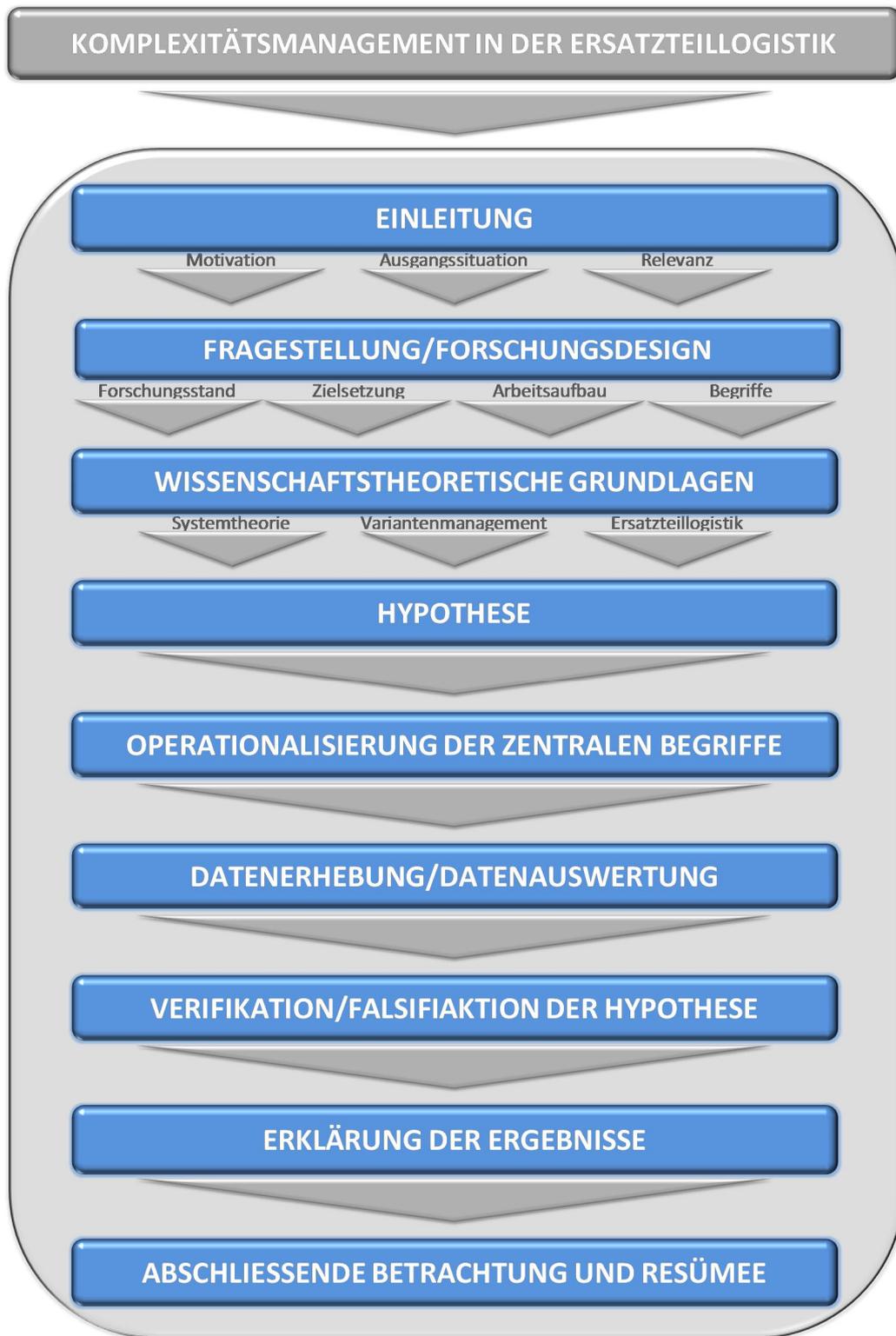


Abbildung 2: Aufbau der Arbeit mit den zentralen Schwerpunkten⁵⁶

⁵⁶ Quelle: in Anlehnung an Eversheim, W., Schuh, G. (2005), S. 95.

2.4 Begriffsbestimmung und Abgrenzung logistischer Subsysteme

In der Literatur werden zum Thema Ersatzteile je nach Betrachtungswinkel der Autoren unterschiedliche Oberbegriffe für die thematische Begriffsabgrenzung verwendet, die eine gedankliche Klammer über das Fachgebiet spannen. Im Folgenden findet sich eine taxative Aufstellung mit kurzer Erläuterung der verwendeten Begriffe.

- **Logistik:** Der Begriff Logistik stammt historisch aus dem militärischen Bereich. Darunter wurde Transport, Unterbringung und Versorgung der Truppen verstanden.⁵⁷ Die aktuelle Definition der Logistik lautet zum einen, dass es sich dabei um die wissenschaftliche Lehre der Planung, Steuerung und Optimierung der Material-, Personen-, Energie- und Informationsflüsse in Netzen, Systemen und Prozessen handelt. Zum anderen ist der Begriff eine Branchenbezeichnung, die alle Unternehmen und Unternehmensteile bezeichnet, die logistische Dienstleistungen wie Transport, Umschlag, Lagerung und logistische Mehrwertdienste (Value-added Services) erbringen.⁵⁸ Die Logistik wurde ursprünglich als Hauptfunktion der Materialwirtschaft verstanden. Aktuell wird sie als betriebliche Querschnittsfunktion über die Bereiche Beschaffung, Produktion und Absatz gesehen.⁵⁹
- **Materiallogistik (Intralogistik):** Beinhaltet den räumlichen, zeitlichen und mengenmäßigen Transfer der in der Produktion eingesetzten Verbrauchsfaktoren von den Lieferanten bis hin zur Verarbeitung in einem Produktionsprozess bzw. bis zur Einlagerung im Fertigproduktlager eines Produktionsunternehmens.⁶⁰
- **Materialwirtschaft:** Der Begriff der Materialwirtschaft beinhaltet die Beschaffung, Vorhaltung (Lagerung), Disposition und den innerbetrieblichen Transport der benötigten Güter.⁶¹ Heuer ergänzt die taxative Aufzählung in diesem Zusammenhang um Entsorgungsaktivitäten und schließt Personal und Kapital aus, da es sich bei diesen nicht um Objekte der Materialwirtschaft handelt.⁶²
- **Bestandsmanagement:** Das Bestandsmanagement umfasst alle Entscheidungen und Handlungen, die einen Einfluss auf Lagerbestände haben. Das Bestandsmanagement ist in den letzten Jahren zu einem wesentlichen Parameter der wirtschaftlichen Gestaltung logistischer Systeme geworden.⁶³

⁵⁷ Vgl. Freund, C., Ryll, F. (2010), S. 38.

⁵⁸ Vgl. Heidenblut, V., Hompel, M. ten. (2006), S. 138.

⁵⁹ Vgl. Haasis, H. D. (2008), S. 5.

⁶⁰ Vgl. Gabler Wirtschaftslexikon, <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/84112/materiallogistik-v8.html> (Zugriff: 23.02.2018).

⁶¹ Vgl. Bichler, K. (1984), S. 15–16.

⁶² Vgl. Heuer, M. F. (1988), S. 32–33.

⁶³ Vgl. Gabler Wirtschaftslexikon, <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/72968/lagerbestandsmanagement-v8.html> (Zugriff: 17.10.2016).

- **Ersatzteillogistik:** Die Ersatzteillogistik enthält die Planung und Durchführung von Maßnahmen zur optimalen Beschaffung sowie die Gestaltung der Bereitstellung von Ersatzteilen.⁶⁴
- **Ersatzteilmanagement:** Das Ersatzteilmanagement umfasst folgende Aufgaben: Anlagenbewirtschaftung und Betriebsmittelplanung, Einkauf, Disposition, Lagerhaltung, Rechnungswesen und Controlling.⁶⁵
- **Ersatzteilwirtschaft:** Die Ersatzteilwirtschaft koordiniert Bereitstellung, Instandhaltung, Bevorratung, Einsatz und Entsorgung/Verwertung von Ersatzteilen.⁶⁶
- **Supply Chain Management:** Supply Chain Management beinhaltet das Management aller logistischen Vorgänge und Funktionen innerhalb einer Versorgungskette. Durch die prozesskettenübergreifende Kommunikation und gemeinsame Planungsprozesse aller Beteiligten wird das Ziel verfolgt, neben der effizienten Gestaltung von Produktions- und Transportkosten auch die Bestände entlang der Supply Chain zu reduzieren, Überreaktionen wie den Bullwhip-Effekt zu vermeiden und das Service für den Endkunden zu erhöhen.⁶⁷ Somit determiniert die Gestaltung von Supply Chains einen maßgeblichen Anteil der langfristigen Kostensituation der Logistik.⁶⁸

In der vorliegenden Arbeit wird der Begriff der Ersatzteillogistik verwendet, da neben der operativen auch die strategische Komponente in der Begriffsbeschreibung enthalten ist.⁶⁹ Als Begriffserweiterung muss jedoch auch zusätzlich die Komponente der Entsorgung/Verwertung von Ersatzteilen berücksichtigt werden.

⁶⁴ Vgl. Freund, C., Ryll, F. (2010), S. 40.

⁶⁵ Vgl. Strunz, M. (2012), S. 575.

⁶⁶ Vgl. Hug, W. (1986), S.8; Reitz, A. (2008), Glossar

⁶⁷ Vgl. Heidenblut, V., Hompel, M. ten. (2006), S. 220f.

⁶⁸ Vgl. Haasis, H. D. (2008), S. 57.

⁶⁹ In der praktischen Evaluierung des Modellansatzes taucht der Begriff Materialwirtschaft auf. Dies ist die historische Organisationsbezeichnung jener Abteilung, die in der voestalpine Stahl Donawitz unter anderem für die Ersatzteillogistik zuständig ist.

3 Wissenschaftstheoretische Grundlagen

Im folgenden Kapitel werden die zum Verständnis der Arbeit erforderlichen Grundlagen in den Bereichen Systemtheorie (Kybernetik), Variantenmanagement, Ersatzteillogistik und Materialwirtschaft erarbeitet. Zunächst wird die Eigenschaft der Komplexität aus dem grundlagenorientierten theoretischen Blickwinkel der Systemtheorie diskutiert sowie erörtert, in welchem Zusammenhang dazu Vielfalt und ihre Ausprägungsarten und -formen stehen. Ebenso wird die allgemeine Frage nach der Nützlichkeit der Komplexität und nach einer Skalierbarkeit der Komplexität gestellt.

3.1 System und Komplexität aus der systemtheoretischen Betrachtung

Das Kapitel beginnt mit der Definition der Begrifflichkeit, um ein einheitliches Verständnis für die weitere Diskussion des Themenfeldes Komplexität zu schaffen. Die Ausführungen zu Komplexität im wirtschaftlichen Kontext bauen auf allgemeinen theoretischen Grundlagen und Begrifflichkeiten auf; diese werden in den folgenden Abschnitten erarbeitet. Der Grundgedanke der Systemtheorie liegt darin, die Mechanismen der Autoregulation und Steuerung mithilfe von Analogieschlüssen, von z.B. biologischen Systemen, auf ökonomische Systeme zu übertragen.⁷⁰

3.1.1 Systemdefinition und Systemeigenschaften

Die Definition des Begriffs System aus der Sicht der Systemtheorie ist sehr stark von der jeweiligen fachlichen Ausrichtung abhängig, also in welchem Zusammenhang die Begriffsverwendung steht.⁷¹ Eine allgemeine verbale Definition gemäß Patzak lautet: „Ein System besteht aus einer Menge von Elementen, welche Eigenschaften besitzen und welche durch Relationen miteinander verknüpft sind“.⁷² Eine etwas detailliertere allgemeine Definition hierfür liefert Sedlacek. Ein System besteht aus Systemgrenze, Systemkern, Systemelementen, dem Zusammenwirken dieser Elemente sowie aus Energie und Signalen. Dabei wirken Systemelemente in ihrem abgegrenzten Bereich so zusammen, dass ein vollständiges, sinnvolles, zweck- und zielgerichtetes Zusammenwirken in einem funktionellen Sinne erzielbar wird.⁷³ Im Folgenden werden zusätzlich zur Eigenschaft der Komplexität von Systemen weitere fundamentale Begrifflichkeiten und Charakterisierungsmerkmale von Systemen kurz erläutert.

⁷⁰ Vgl. Lammers, T. (2012), S. 11.

⁷¹ Vgl. Patzak, G. (1982), S. 18f. Patzak führt zur genaueren Beschreibung eines Systems noch folgende Unterbegriffe auf: Elemente (Teile eines Systems), Eigenschaften (Merkmale eines Systems), Beziehungen (Relationen, Interaktionen zwischen den Elementen oder verschiedener Systemen), Menge (abgegrenzte Anordnung).

⁷² Patzak, G. (1982), S. 19.

⁷³ Vgl. Sedlacek, K. D. (2010), S. 17–18.

Aufgrund der Beziehung eines Systems mit seiner Umwelt kann ein solches als offenes oder geschlossenes System betrachtet werden. Theoretisch findet bei einem geschlossenen System keine Wechselwirkung mit der Umwelt statt und es geht in einen Gleichgewichtszustand über. In der Praxis hat es sich jedoch gezeigt, dass auch geschlossene Systeme in geringem Maße mit ihrer Umwelt interagieren. Dies äußert sich in einer Austauschbeziehung von Materie, Energie und/oder Informationen. Daher wird als wesentliches Unterscheidungskriterium für Systeme die Art des Gleichgewichtes, in dem es sich befindet, herangezogen. Das heißt, geschlossene Systeme befinden sich in einem zeitunabhängigen Zustand, in dem kein nennenswerter Zu- oder Abfluss von Materie, Energie und/oder Informationen erfolgt. Offene Systeme dagegen können sich maximal in einem sogenannten Fließgleichgewicht befinden. In diesem interagiert das System in einer konstanten Austauschbeziehung mit seiner Umwelt.⁷⁴ Was wiederum theoretisch anzustreben wäre, jedoch bei komplexen Systemen aufgrund der vorherrschenden Umweltdynamik nicht realisierbar ist.

Die Systemgrenze ist die Abgrenzung eines Systems gegenüber seiner Umwelt, der sogenannten Systemumwelt, und kann in der Form von Zusammenfassen, bzw. Gruppieren von bestimmten Elementen erfolgen. Diese Abgrenzung erfolgt unter dem Gesichtspunkt der Zweckmäßigkeit und/oder der vorherrschenden Problemstellung. Die Systemumwelt kann nun in der Form von Störungen, welche zeitlich und größenmäßig nicht vorhersehbar sind, auf ein System einwirken.⁷⁵

Die Kenngröße der Variabilität beschreibt die Reaktions- und Aktionsfähigkeit eines Systems, welches in Wechselwirkung mit seiner Systemumwelt steht, und wird über verschiedene Systemverhaltensweisen und -zustände, basierend auf der Eigenschaft der Konnektivität (Beziehungsvielfalt) und der Varietät (Elementevielfalt), definiert.⁷⁶ Der Begriff der Agilität beschreibt lediglich die Schnelligkeit, mit der ein System auf Veränderung reagiert.⁷⁷ Die Stabilität beschreibt die Fähigkeit der Resistenz des Systems gegenüber Störungen von außen, während die Flexibilität die Anpassungsfähigkeit des Systems auf eine sich ändernde Umwelt kennzeichnet.⁷⁸

Der Begriff Emergenz beschreibt das Phänomen des Entstehens von Strukturen und Eigenschaften auf Systemebene (Makroebene), die sich nicht durch die Beschreibung der einzelnen Systemelemente (Mikroebene) ableiten lassen, sondern erst durch das

⁷⁴ Vgl. Richter, K., Rost, J. M. (2002), S. 47.; S. 6.; Patzak, G. (1982), S. 20.

⁷⁵ Vgl. Patzak, G. (1982), S. 25f.

⁷⁶ Vgl. Gabler Wirtschaftslexikon, <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/3210/system-v12.html> (Zugriff: 17.08.2016), Patzak, G. (1982), S. 26f.

⁷⁷ Vgl. Lammers, T. (2012), S. 21.

⁷⁸ Vgl. Patzak, G. (1982), S. 27.

Zusammenwirken der einzelnen Systemelemente entstehen.⁷⁹ Es handelt sich somit um nicht prognostizierbare, überraschend auftretende Verhaltensmuster, welche sich aus der Gesamtheit aller Elemente und Beziehungen über den Zeitverlauf ergeben.⁸⁰

Die Interaktion von Einzelteilen eines Gesamtsystems führt ohne äußeren Einfluss auf das System zu Erscheinungsformen, die neuen Ordnungsprinzipien unterliegen. Das Gesamtsystem verhält sich organisierter und geordneter (Phasenübergang von instabil zu stabil), als es die Gesetze, die das Verhalten der Einzelteile bestimmen, vorschreiben würden.⁸¹ Die selbstorganisierende Kritikalität beschreibt das Hinbewegen (ausschließlich durch systeminternen Einfluss) des Systems zu dem kritischen Punkt, an dem die Ausprägung der Komplexität maximal ist. Dieser Punkt ist zwar noch stabil (Rand des Chaos), kann aber leicht in den instabilen Bereich abgleiten.⁸²

Der zentrale Begriff der Kybernetik ist die Rückkopplung. Ein kybernetisches Systemelement ist eine Blackbox mit Input, internen Prozessen und einem Output.⁸³ Rückkopplungseffekte beschreiben ein Systemverhalten, bei dem sich die Ausgangsgröße (Output) einer Systemauswirkung als Eingangsgröße (Input) nachfolgender Systemkonfiguration innerhalb des identen Systems im nächsten Zeitschritt fortsetzt. Erfolgt die Rückkopplung negativ, wechselt das System in einen stabilen Zustand. Positive Rückkopplungen bringen das System aus dem Gleichgewicht.⁸⁴

3.1.2 Definition und Kennzeichen der Komplexität

Ausgehend von der Definition des Begriffs System soll im Weiteren nun die Systemeigenschaft „Komplexität“ genauer betrachtet werden.⁸⁵ Im Duden wird das Substantiv Komplexität mit Vielschichtigkeit, dem Ineinandergreifen und Wirken vieler Merkmale beschrieben.⁸⁶

⁷⁹ Vgl. Sedlacek, K. D. (2010), S. 44f. Der Begriff der Emergenz stammt ursprünglich aus der Philosophie und bedeutet im logistischen Kontext die Erreichung einer höheren Entwicklungsstufe durch die Kommunikation niedriger Entwicklungsstufen. Vgl. Heidenblut, V., Hompel, M. ten. (2006), S. 63.

⁸⁰ Vgl. Krenn, B. (2008), S. 84.

⁸¹ Vgl. Richter, K., Rost, J. M. (2004), S. 28ff.

⁸² Vgl. Richter, K., Rost, J. M. (2004), S. 55.

⁸³ Vgl. Schulz, C. (2014), S. 48.

⁸⁴ Vgl. Bliss, C. (2000), S. 25.; Kirchof, R. (2003), S. 22.

⁸⁵ Wobei Komplexität formal als strukturbeschreibendes Merkmal eines Systems verwendet wird. Vgl. Patzak, G. (1982), S. 21.

⁸⁶ Vgl. Duden, <http://www.duden.de/rechtschreibung/Komplexitaet> (Zugriff: 14.04.2013).

Als allgemeine Kennzeichen der Komplexität führt Riedl Folgendes an:⁸⁷

- Komplexität enthält Formen von Ordnung,
- Komplexität enthält spezifische Kennzeichen,
- Komplexität tritt überall in Erscheinung.

Bei genauerer Analyse des Begriffes muss man allerdings rasch erkennen, dass Komplexität wie auch der Systembegriff in unterschiedlichen Bereichen, wie z.B. in der Systemtheorie, Technik, Informatik oder in der Volkswirtschaft, unterschiedliche Definitionen besitzt, was bedeutet, dass der Zustand der Komplexität polymorph ist.⁸⁸ Daraus folgt, dass die wissenschaftliche Anwendung der Definition interdisziplinär ist.⁸⁹ Laut Dittes gibt es keine allgemein gültige Definition von Komplexität, ihre Beschreibung ist abhängig vom jeweiligen Betrachtungswinkel, und wo Komplexität in unserer Umwelt auftritt.⁹⁰ Krenn analysiert in ihrer Arbeit verschiedene Definitionsarten von Komplexität und kommt zu folgender Aussage. Es gibt viele einzelne auf die jeweilige Fragestellung des Fachgebietes passende Definitionen der Komplexität. Einige Definitionen stellen dabei die Anzahl der Elemente in den Vordergrund, während andere die Anzahl der unterscheidbaren Zustände hervorheben.⁹¹ Somit zeigt sich, dass für eine eindeutige Definition immer ein Konnex zu entsprechenden Fachgebiet notwendig ist.

Im logistischen Leistungserstellungsprozess definiert sich Komplexität laut Zsifkovits folgendermaßen: „Komplexität bezeichnet eine große Anzahl von Elementen und Zuständen, die untereinander in einer Vielzahl von Beziehungen stehen, die in Typ und Ausprägung sehr unterschiedlich sind und deren Anzahl und Verschiedenartigkeit darüber hinaus zeitlichen Schwankungen unterworfen ist.“⁹² Charakteristisch für komplexe Systeme ist das Auseinanderfallen des offensichtlichen Zusammenhangs von Ursache und Wirkung bei einer Komplexitätszunahme.⁹³

Ergänzend zur Diskussion über die Systemkomplexität ist noch festzuhalten, dass die Komplexität eines Systems einen subjektiven Charakter aufweist, das heißt, vom Betrachter abhängig ist.⁹⁴ In diesem Fall spricht man von einer subjektiven und individualisierten Komplexität. Dies bedeutet zum einen, dass verschiedene Personen den identen realen Komplexitätsgrad unterschiedlich zueinander wahrnehmen, und zum anderen, dass die daraus resultierende Komplexitätsbelastung für jede Person eine unterschiedli-

⁸⁷ Vgl. Riedl, R. (2000), S. 4ff.

⁸⁸ Vgl. Dittes, F. M. (2012), S. 2f. Polymorph bedeutet in diesem Kontext, dass die Bestimmung der Komplexität erst einer Reihe von Merkmalen genügen muss. Vgl. Lammers, T. (2012), S. 15. Lammers stellt in seiner Arbeit ebenfalls auf Basis einer Literaturrecherche fest, dass der Begriff der Komplexität weder einheitlich verwendet noch definiert ist, und je nach Forschungsziel und -methodik weichen diese stark voneinander ab.

⁸⁹ Vgl. Bayer, T. (2010), S. 14.

⁹⁰ Vgl. Dittes, F. M. (2012), S. 2f.; Lammers, T. (2012), S. 15.

⁹¹ Vgl. Krenn, B. (2008), S. 79. Krenn zeigt dabei in Tabelle 7 Ihrer Arbeit wie unterschiedlich der Begriff Komplexität interpretiert wird. Hervorzuheben ist in dieser Darstellung die Erwähnung einer dynamischen Komponente, die den zeitlichen Verlauf eines Systems repräsentiert.

⁹² Zsifkovits, H. E. (2012), S. 328.

⁹³ Vgl. Müller, C., Szinovatz, A. (2014), S. 95.

⁹⁴ Vgl. Krenn, B. (2008), S. 81.; Denk, R., Pfneissl, R. (2009), S.15.

che Beanspruchung darstellt.⁹⁵ In diesem Zusammenhang zitiert Grote den englischen Arzt und Gehirnforscher W. Ross Ashby sinngemäß: „Die Komplexität des Geschehens ist nur durch entsprechende geistige Komplexität zu beherrschen.“⁹⁶ Dementsprechend spaltet Staber in seiner Arbeit die Komplexität von Entscheidungssystemen in eine strukturelle Komplexität (Systemkomplexität) und in eine funktionale Komplexität (subjektive Komplexität). Im Kontext zu Staber ist dabei die funktionale Komplexität als Lücke zwischen Problemlösungsbedarf und Problemlösungskompetenz definiert.⁹⁷ Entscheidend ist bei der Betrachtung von komplexen Phänomenen die unvermeidbare und unaufheb- bare Limitierung des Wissens.⁹⁸

3.1.3 Komplexe Struktur

Komplexität lässt sich abstrakt, wie bereits eingangs erwähnt, durch die Merkmale Konnektivität (Art und Anzahl der Beziehungen im System) und Varietät (Art und Anzahl der Elemente im System) beschreiben und bedeutet zusammenhängend und vielumfassend. Dadurch wird erkenntlich, dass es verschiedenen Dimensionen der Komplexität gibt, die allerdings nicht vollständig unabhängig voneinander definiert werden können. Unter Verwendung einer gegebenen Systemfunktion (z.B. abgeschlossenes System) herrscht eine direkte Korrelation zwischen Konnektivität und Varietät.⁹⁹

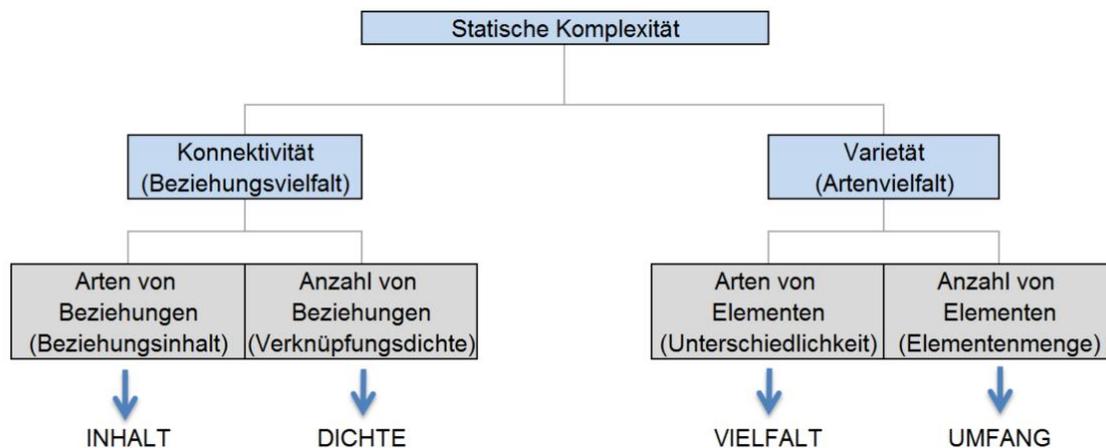


Abbildung 3: Merkmale der statischen Systemkomplexität¹⁰⁰

⁹⁵ Vgl. Reiß, M. (1993), S. 57. Reiß stellt hierzu eine interessante Verbindung zwischen der Komplexität eines Systems und der Fähigkeit Komplexität zu lösen her. Vgl. Reiß, M. (1993), S. 55.

⁹⁶ Grote, H. (1988), S. 14. Der Fachbegriff dieser Eigenschaft, die in diesem Zitat beschrieben wird, lautet Kybernetik, und gilt als die Lehre von der Beherrschung äußerst komplexer Abläufe.

⁹⁷ Vgl. Staber, S. (2008), S. 74f.

⁹⁸ Vgl. Malik, F. (2009), S. 207f.

⁹⁹ Vgl. Patzak, G. (1982), S. 22f. Wobei Patzak die Variabilität (Zeitabhängigkeit) zwar der Klassifikation von Systemen zuweist, jedoch nicht als Merkmal der Komplexität anführt. Vgl. Patzak, G. (1982), S. 21.

¹⁰⁰ Quelle: in Anlehnung an Patzak, G. (1982), S. 23.; Lammers, T. (2012), S. 16.; Nebel, T., Prüß, H. (2006), S. 61. Nebel und Prüß geben als weitere Bestimmungsgröße der Komplexität die „Unsicherheit über die Entwicklung“ der Varietät und Konnektivität an.

Die „statische Komplexität wird hierbei als Systemeigenschaft verstanden, die sich über die Konnektivität und die Varietät eines Systems aus den vier strukturbildenden Aspekten Inhalt, Dichte, Vielfalt und Umfang bestimmen lässt.“¹⁰¹

Dies bedeutet das, dass bei einer Verringerung der Konnektivität eine Erhöhung der Varietät stattfindet. Der Begriff Varietät ist nicht zu verwechseln mit dem Begriff der Variabilität, welche die Qualität der Reaktion/Aktion eines Systems beschreibt.¹⁰²

Abbildung 3 zeigt ein System (zeitunabhängige Betrachtung), das aus den grundlegenden Elementen besteht, die in Relation zueinanderstehen. Der Grad der Komplexität kann aufgrund der unterschiedlichen Möglichkeiten zwischen Varietät und Konnektivität zunehmen. Ausgeklammert ist in dieser Darstellung die Vieldeutigkeit und Veränderlichkeit. Im Rahmen der Ersatzteillogistik handelt es sich bei den Elementen beispielweise um verschiedene Lagerorte, Lagerplätze oder Einbauplätze, während die zwischen ihnen auftretenden Beziehungen als Material-, Beleg- oder Informationsfluss gekennzeichnet sind.

Im Rahmen der Graphentheorie lassen sich Systeme zwischen Elementen (Knoten) als gerichtete Graphen darstellen.

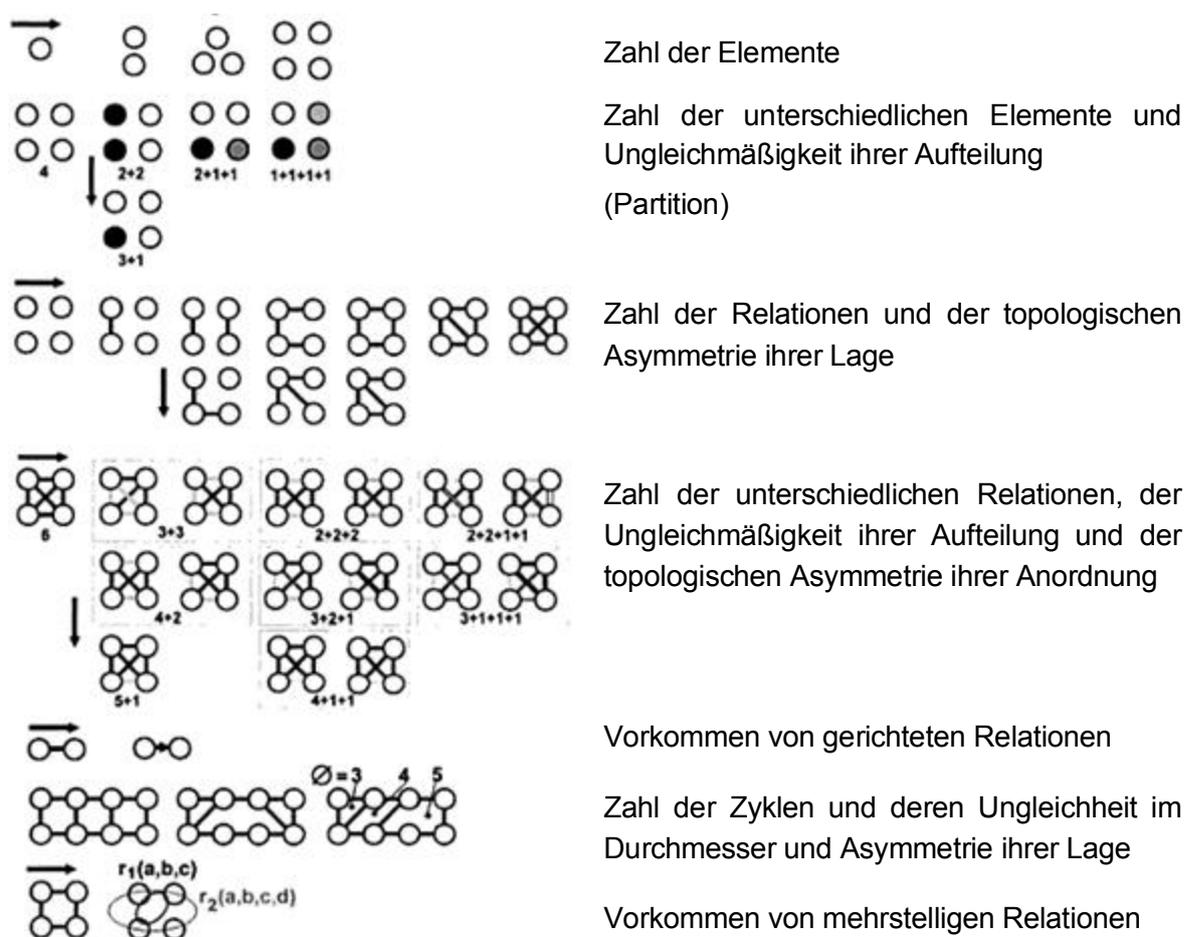


Abbildung 4: Verschiedene Dimensionen von Komplexität¹⁰³

¹⁰¹ Lammers, T. (2012), S. 17.

¹⁰² Vgl. Patzak, G. (1982), S. 22ff.

Die Darstellung von komplexen Strukturen erfolgt hierbei als gerichteter bzw. bewerteter Graph in Form eines Netzwerkes mit Knoten und Kanten.¹⁰⁴ Die Komplexität der dargestellten Graphen in Abbildung 4 nimmt aufgrund des Systemaufbaus und der stattfindenden Wechselwirkung der Elemente untereinander in der Darstellung von oben nach unten zu.

3.1.4 Komplexes Verhalten

Unter dem Gesichtspunkt der Systemtheorie ist die **erste Rahmenbedingung**, die für das Entstehen von komplexen Systemen erfüllt werden muss, dass die beteiligten Komponenten untereinander in Verbindung stehen.¹⁰⁵ Entscheidend ist aber der Umstand, dass sich die Komplexität vieler Systeme über einen zeitlichen Verlauf scheinbar unaufhaltsam erhöht. Dieser Umstand ist grundsätzlich – aus dem theoretischen Blickwinkel – auch von Vorteil, da bei der Komplexitätszunahme eines Systems im Allgemeinen auch der Nutzen am System zunimmt. Zudem besitzt ein System mit zunehmender Komplexität mehr Möglichkeiten bzw. Ausprägungen. Allerdings erfolgt mit wachsender Komplexität ein Streben hin zu einem kritischen Punkt. Bis zum Erreichen dieser Grenze zeigt das System stabiles Verhalten, beim Überschreiten wird es instabil.¹⁰⁶ Häufig entsteht dieses Anwachsen der Komplexität durch wiederholtes Anwenden einfacherer Prozeduren durch die sogenannte Iteration.¹⁰⁷ Dieser Phasenübergang von stabil zu instabil wird als Kritikalität definiert und bietet einen entscheidenden Vorteil. Denn unmittelbar am kritischen Punkt bietet das System die größtmögliche Vielfalt an Strukturen, sprich das Systemverhalten ist optimal.¹⁰⁸ Interessant dabei ist die Tatsache, dass viele Systeme schon von sich aus nahe am kritischen Punkt liegen und somit ein Maximum an Komplexität besitzen.¹⁰⁹ Diese selbstorganisierende Kritikalität ist die **zweite Rahmenbedingung** zur Bildung von Komplexität.¹¹⁰ Der Nachteil am kritischen Punkt ist, dass das Systemverhalten von einem Muster in ein anderes umschlägt (stabil zu instabil).¹¹¹ Das System be-

¹⁰³ Quelle: Franke, H. J. (1998), S. 4.

¹⁰⁴ Vgl. Franke, H. J. (1998), S. 4.; Dittes, F. M. (2012), S. 104ff.; Hummell, H. J. et al. (2011), S. 17ff. Laut Dittes sind Netze das einfachste System, das Komplexität ausbilden kann, und bestehen grundsätzlich aus zwei Arten von Komponenten. Erstes aus Knoten und zweitens aus Kanten, die die Knoten miteinander verbinden und den Zusammenhalt des Netzes sicherstellen. Diese Kanten können möglicherweise zusätzliche Eigenschaften und Restriktionen aufweisen. Der Begriff Relation bedeutet im Kontext des Netzwerkes, dass eine Beziehung zwischen den Elementen des Netzwerkes besteht. Die Varianz ist eine Kennzahl, die angibt, wie viele Kanten von einem Knoten ausgehen. Die Topologie ist die systematische Beschreibung der räumlichen Beziehung zueinander.

¹⁰⁵ Vgl. Dittes, F. M. (2012), S. 7.

¹⁰⁶ Vgl. Dittes, F. M. (2012), S. 4ff.

¹⁰⁷ Vgl. Richter, K., Rost, J. M. (2002), S. 9. In diesem Zusammenhang haben Informatiker und Logiker den Begriff der „logischen Tiefe“ geprägt. Dies Maß formuliert im Zusammenhang mit der Iteration einen niedrigen Komplexitätsgrad für komplexe Systeme.

¹⁰⁸ Vgl. Dittes, F. M. (2012), S. 23. ; Richter, K., Rost, J. M. (2002) S. 4–6.

¹⁰⁹ Vgl. Dittes, F. M. (2012), S. 45. ; Richter, K., Rost, J. M. (2002) S. 4–6.

¹¹⁰ Vgl. Dittes, F. M. (2012), S. 48.

¹¹¹ Vgl. Dittes, F. M. (2012), S. 26.

wegt sich auf einen Zustand zu, der in der Literatur als Chaos bezeichnet wird.¹¹² Obwohl Komplexität und Chaos häufig synonym verwendet werden, haben sie kaum etwas gemeinsam. Die Welt ist laut Gioja et al. nicht chaotisch sondern kompliziert.¹¹³ Als Chaos wird in der wissenschaftlichen Terminologie unregelmäßiges und unvorhersehbares Systemverhalten bezeichnet (Henri Poincaré prägte in diesem Zusammenhang den Begriff „deterministisches Chaos“).¹¹⁴ Der Übergang eines Systems von der Regularität hin zur Irregularität erfolgt über den Chaosrand und ist die **dritte Voraussetzung** für Komplexität.¹¹⁵ Starke Kausalität verbunden mit positiver Rückkopplung, welche Nichtlinearität erzeugt, ist somit für die chaotische Entwicklung komplexer Systeme verantwortlich.¹¹⁶

Wie anhand der zuvor genannten Erläuterungen deutlich wird, ist ein Zielkonflikt unvermeidbar. Der Nutzen eines Systems soll bei noch beherrschbarer Komplexität maximiert werden. Das, abzudriften in den kritischen Bereich, in dem ein System mehr oder weniger ausgeprägte Anzeichen von chaotischen Verhalten zeigt, und somit die kausalen Ursachen-Wirkungs-Beziehungen nicht mehr vorhanden sind ist zu vermeiden. Schlussendlich ist der Mensch wieder bestrebt Komplexität einzudämmen, er will sie reduzieren, um sie beherrschbar zu halten.¹¹⁷

Folglich äußert sich Komplexität gemäß der systemtheoretischen Denkweise in zwei Ausprägungsformen. Zum einen ist es die komplexe Struktur, die eine große Anzahl von vielfältigen Elementen beinhaltet, die zueinander in intensiver Wechselwirkung, in Relation stehen. Zum anderen ist es das komplexe Verhalten, das die Vielfalt der Reaktionsmöglichkeiten der Elemente miteinander im Sinne einer Vieldeutigkeit und Veränderlichkeit beschreibt. Schuh spricht in diesem Zusammenhang einerseits von Komplexität der Masse (Vielzahl, Vielfalt) bzw. von einer statischen Komponente und andererseits von Komplexität der Dynamik (Veränderlichkeit, Vieldeutigkeit), also von einer zeitlich dynamischen Komponente.¹¹⁸ „Dynamische Komplexität wird als eine Systemeigenschaft

¹¹² Vgl. complexity-research, <http://www.complexity-research.com/KomplexiChaos.htm> (Zugriff: 09.08.2016).

¹¹³ Vgl. Gioja, L. et al. (2002), S. 17f. Ein komplexes System trägt chaotische Züge, jedoch gilt nicht automatisch, dass ein chaotisches System auch komplex ist. Vgl. Richter, K., Rost, J. M. (2002), S. 4.

¹¹⁴ Vgl. Greschik, S. (2005), S. 11. Im Allgemeinen geht es bei der Diskussion über Chaos neben dem unregelmäßigen und unvorhersehbaren Systemverhalten noch um die Tatsache, dass eine kleine Ursache eine große Wirkung hat. Als praktisches Beispiel sei an dieser Stelle die Wetterprognose durch Edward Lorenz genannt, wo Variabilitäten von weniger als einem Hundertstel Prozent in den Anfangswerten zu vollständig unterschiedlichsten Ergebnissen führen. Dieses Phänomen ist unter dem Begriff „Schmetterlingseffekt“ bekannt. Vgl. complexity-research, <http://www.complexity-research.com/KomplexiChaos.htm> (Zugriff: 09.08.2016).

¹¹⁵ Vgl. Dittes, F. M. (2012), S. 78.

¹¹⁶ Vgl. Cezanne, M. (1999), S. 74. Unter Rückkopplung beschreibt Cezanne den Effekt, wenn es sich um einen Vorgang handelt, bei dem eine Veränderung der Ausgangsgröße auf die Eingangsgröße des Systems zurückwirkt. Negative Rückkopplung bedeutet, dass das System die einwirkende Störung kompensieren kann. Eine positive Rückkopplung erhöht/erzeugt eine Systemstörung und destabilisiert das System.

¹¹⁷ Vgl. Dittes, F. M. (2012), S. 4ff.

¹¹⁸ Vgl. Reiß, M. (1993), S. 58ff., Schuh, G. (2005), S. 8ff.

verstanden, die sich aus der statischen Komplexität und deren Veränderung im Zeitablauf bestimmen lässt.¹¹⁹

Der Begriff „kompliziert“ bezieht sich im Gegensatz dazu auf eine große Anzahl von Elementen, die Anzahl der Wechselwirkungen der Elemente untereinander ist vernachlässigbar.¹²⁰ Dieser Unterschied bedeutet für ein kompliziertes System, dass aufgrund der vernachlässigbaren Wechselwirkungen untereinander die Beziehungen der Elemente in komplizierten Systemen durchdringbarer und bewertbarer sind, sofern die Ausgangsbedingungen bekannt sind. Im Unterschied dazu sind in komplexen Systemen Beziehungen nicht linear und Zusammenhänge sehr schwer erkennbar. Daraus folgt, dass sich komplexe Systeme anders verhalten als die Summe ihrer Systemelemente und damit eine Systemvoraussagbarkeit nicht gegeben ist, bzw. nur mit einer sehr großen Unschärfe gegeben ist.¹²¹ Daraus resultiert wiederum, dass zunehmende Komplexität in der Praxis für Intransparenz in Systemen sorgt, welche wiederum zu Unsicherheiten in Prognosen führt.¹²² Somit ist für die Produkt-, Projekt- oder Unternehmenssteuerung bei komplexen Systemen ein anderes Verständnis notwendig als bei einfachen oder komplizierten Systemen.¹²³

Schuh zeigt in Abbildung 5 den Zusammenhang zwischen einfachem, kompliziertem und komplexem System in einer Portfoliodarstellung unter der Berücksichtigung der statischen/dynamischen Komponenten der Komplexität. Bei dem komplexen System wird nochmals zwischen äußerst komplex und relativ komplex unterschieden. Die x-Achse des Portfolios beschreibt Vieldeutigkeit und Veränderlichkeit, womit die Dynamik von Systemen erfasst wird. Entlang der y-Achse befinden sich Vielfalt und Vielzahl.

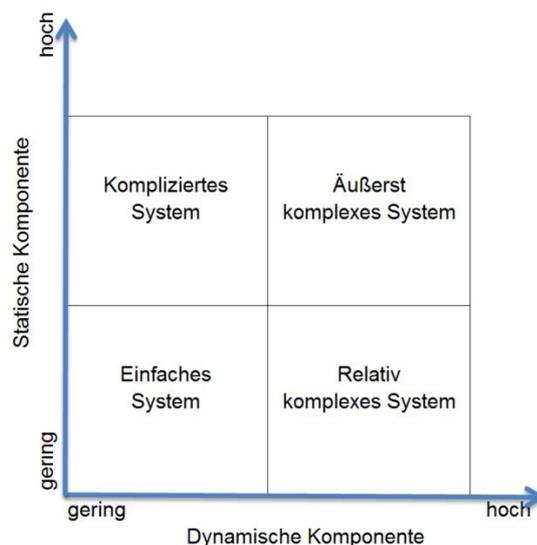


Abbildung 5: Systemzustandsportfolio¹²⁴

¹¹⁹ Lammers, T. (2012), S. 18.

¹²⁰ Vgl. Dittes, F. M. (2012), S. 3ff., Denk, R., Pfneissl, R. (2009), S. 19.

¹²¹ Vgl. Krenn, B. (2008), S. 83.; Richter, K., Rost, J. M. (2002), S. 3f.

¹²² Vgl. Rohrhofer, E. (2009), S. 15.

¹²³ Vgl. Schoeneberg, K. P. (2014), S. 14.

¹²⁴ Quelle: in Anlehnung an Schuh, G. (2005), S. 6.

Vielzahl deklariert die Anzahl von Elementen und Vielfalt bringt die Verschiedenartigkeit der Elemente zum Ausdruck. Diese Portfoliodarstellung zeigt, dass Komplexität in erster Linie mit einer dynamischen Veränderung des Systems einhergeht und erst in zweiter Linie von der Art und Anzahl der Systemelemente abhängig ist.¹²⁵

3.1.5 Stufen der Komplexität

Angesichts der eingangs erwähnten Tatsache der Komplexitätszunahme in Systemen und den Ausführungen, die in Abbildung 4 dargestellt sind, ergibt sich Diskussionsbedarf bezüglich der Skalierung von Komplexität.

Wesentlich für die Definition von Systemkomplexität ist der verfügbare Informationsumfang, der ein System beschreibt. Richter und Rost warnen in diesem Zusammenhang vor allem vor einer Überschätzung der Systemkomplexität.¹²⁶

Dazu ist es dienlich die Komplexitätsfaktoren heranzuziehen, aus denen das Systemzustandsportfolio aus Abbildung 5 zusammengesetzt ist. Alle vier Größen sind voneinander abhängig, lassen sich jedoch nicht auf einen anderen der drei Faktoren reduzieren.¹²⁷

Folglich unterteilt Reiß die Komplexität der Varietäten und der Relationen in vier Dimensionen/vier Stufen der Komplexität, wie in Abbildung 6 dargestellt ist.¹²⁸ Der Komplexitätsgrad des Systems nimmt von der statischen Systemstruktur hin zu einer dynamischen Struktur zu. Somit gilt, je größer die dynamische Komponente des Systems, desto höher ist der Komplexitätsgrad des Systems und umgekehrt.

Die in diesem Zusammenhang verwendeten Begriffe, wie statisch und dynamisch, werden im kybernetischen Sinn verwendet und sind nicht im herkömmlichen physikalischen Sinn zu verstehen. Statisch bedeutet im kybernetischen Sinn die eindeutige Determinierung der Wirkung durch die Ursache, während dynamisch das genaue Gegenteil dazu beschreibt, nämlich unbestimmbare Ergebnisse, was bedeutet, dass die Wirkung nicht durch die Ursache vorhersehbar und berechenbar ist und zur Folge hat, dass dynamische Systeme äußerst komplex sind.¹²⁹

Somit ergibt sich eine Skalierbarkeit der Komplexität bereits aufgrund des dynamischen und statischen Verhaltens eines Systems. Die erste Dimension kennzeichnet Komplexität als verknüpfte Vielfalt und erfasst die statische Eigenschaft des Komplexitätsphänomens. Die zweite Dimension der Komplexität beschreibt die Komplexität dynamischer Entwicklung und bezieht den Faktor Zeit mit ein.¹³⁰ Für eine detailliertere Skalierung empfiehlt sich ein Vorgehen gemäß Reiß um den Komplexitätsgrad zu operationalisieren.

¹²⁵ Vgl. Schuh, G. (2005), S. 5f.

¹²⁶ Vgl. Richter, K., Rost, J. M. (2002) S. 5.

¹²⁷ Vgl. Schuh, G. (2005), S. 8.

¹²⁸ Vgl. Reiß, M. (1993), S. 58ff.

¹²⁹ Vgl. Grote, H. (1988), S. 14.

¹³⁰ Vgl. Cezanne, M. (1999), S. 72.

Ausgehend von Abbildung 6 gibt es im System Varietäten und Konnektivitäten analog zur statischen Darstellung in Abbildung 3. Als dynamische Erweiterung sind die Komplexitätsparameter der Vieldeutigkeit und Veränderlichkeit aufgetragen. Diese beiden Parameter beschreiben den zeitlichen Verlauf, also die Änderungen des Systems in Bezug auf Elementart und Beziehung (Abbildung 6).

	Vielzahl	Vielfalt	Vieldeutigkeit	Veränderlichkeit
Varietät	Größe	Diversität	Freiheitsgrade	Dynamik
Konnektivität	Kopplungsgrad	Divergenz	Unschärfe	Chaos


 Komplexitätsgrad nimmt zu

Abbildung 6: Stufen der Komplexität¹³¹

Anders formuliert ist mit Vieldeutigkeit oder auch Mehrdeutigkeit jenes Problem gemeint, dass man sich kein klares Bild des Systems verschaffen kann. Viele verschiedene Erscheinungsformen eines Elementes oder einer Relation sind möglich. Die Veränderlichkeit bezeichnet die zeitliche Aktualisierung von vieldeutigen Systemen.

Bei den vier Komplexitätsfaktoren, die sich aus der Matrix ergeben, handelt es sich um skalierte Größen, die den Komplexitätsgrad operationalisiert wiedergeben. Reiß definiert das unterschiedliche Auftreten der Komplexitätsfaktoren mit folgenden Attributen:¹³²

- Größe: Maßgröße für die Dimensionierung eines Systems
- Kopplungsgrad: quantitative Dichte des Beziehungsgeflechtes eines Systems
- Diversität: Vielfältigkeit der Elemente eines Systems
- Divergenz: Gegensätzlichkeit bzw. Auseinandergehen eines Systems aufgrund gegenläufiger Strömungen
- Freiheitsgrade: alternative Erscheinungsformen eines Elementes
- Unschärfe: unklare Zuordnungsrelationen der einzelnen Elemente im System
- Dynamik: komplexes Zeitverhalten der Elemente
- Chaos: Unschärfe beim Zusammenspiel mehrerer Größen im Zeitablauf

Für die Operationalisierung bedeutet dies in weiterer Folge, dass zwischen Vielzahl und Vielfalt eine Und-Verknüpfung und zwischen Vieldeutigkeit und Veränderlichkeit eine Oder-Verknüpfung besteht.¹³³

Lammers postuliert in seiner Arbeit als höchste Komplexitätsstufe die generische Komplexität, die durch Addition von Emergenzeffekten aus der dynamischen Komplexität entsteht. Die generische Komplexität ist jene Systemeigenschaft, die sich über die zur umfassenden Beschreibung des Systems und all seinen Konfigurationszuständen erforderliche Informationsmenge bestimmen lässt.¹³⁴

¹³¹ Quelle: in Anlehnung an Reiß, M. (1993), S. 58.

¹³² Vgl. Reiß, M. (1993), S. 59ff.

¹³³ Vgl. Reiß, M. (1993), S. 58.

¹³⁴ Vgl. Lammers, T. (2012), S. 18ff. Gemäß Lammers liegt die Dimension der Systembetrachtung bei der Statischen/Dynamischen Komplexität auf der Mikroebene des Systems, während die generische Komplexität sich auf der Makroebene des Systems befindet.

Aufgrund der Erfassung dieser Kriterien wird ersichtlich, wie schwer Komplexität in der Praxis zu operationalisieren ist und wie sich Komplexität in Abstufungen skalieren lässt; oder anders formuliert, wie ein Komplexitätsgrad in absoluten Zahlen darstellbar ist. Fricker/Luczak postulieren zu dieser Thematik, dass die Bewertung von Komplexität immer relativ zu einem Bewertungssystem zu erfolgen hat. Folglich ist die Messung von Komplexität ausschließlich reflexiv und kontextbezogen. Der Nutzen der Operationalisierung liegt somit über dem Gewinn von vergleichenden Aussagen über Systemstrukturen, Systemverhalten und Systemordnung.¹³⁵ Einen anderen Zugang zu dieser Thematik vertritt Malik, in dem er postuliert, dass sich die Quantifizierung der Komplexität hauptsächlich auf die mathematische Kombinatorik stützt. Hierbei gilt allgemein, dass ein System aus n Elementen, die k Zustände annehmen können, eine Varietät von k^n besitzt. Dabei gibt die Varietät die Anzahl der möglichen mathematischen Kombinationen an.¹³⁶ Allerdings ist in diesem Definitionsansatz die zeitliche Veränderung der Systemparameter ausgeschlossen. Außerdem können in der Praxis Varietäten selten gemessen werden. In Wirklichkeit geht es, wie bereits oben erwähnt, um die Gegenüberstellung von Varietäten, also um komparative Größen.¹³⁷ Gießmann postuliert in seiner Arbeit ebenfalls die Notwendigkeit einer relativen Messung der Komplexität, da kein objektives Kriterium mit einer festen Skalierung existiert. Jedoch ist auch die relative Messbarkeit im Umgang mit der Komplexität eine der elementarsten Hindernisse für Maßnahmen zur Komplexitätsveränderung, da nicht messbare Sachverhalte nicht wirklich einer nachweisbaren Veränderung zugeführt werden können.¹³⁸

3.1.6 Komplexitätsreduktion

Die klassische Systemtheorie besagt, dass Systeme dazu neigen, ihre Komplexität zu erhöhen und in weiterer Folge einen Systemzustand am Rande des Chaos einzunehmen. In diesem Grenzbereich zum Chaos hin sind Systeme aber nicht mehr beherrschbar, denn alles, was effizient und effektiv ablaufen soll, muss im stabilen Bereich geschehen. Um dies zu gewährleisten, muss ein System durch die Reduktion von Komplexität stabilisiert werden.

Der allgemeine Lösungsweg aus der Kybernetik lautet, dass ein System mit einer gegebenen Komplexität nur mittels eines mindestens ebenso komplexen Systems unter Kon-

¹³⁵ Vgl. Fricker, A., Luczak, H. (1997), S 317f. Fricker/Luczak setzen bei einer vergleichenden Bewertung mittels eines Komplexitätsmaßes immer eine gemeinsame Bewertungssprache sowie Gliederungstiefe voraus.

¹³⁶ Vgl. Malik, F. (2009), S. 186-188. Malik definiert: Varietät ist die Anzahl der unterscheidbaren Zustände eines Systems, bzw. die Anzahl der unterscheidbaren Elemente einer Menge.

¹³⁷ Vgl. Malik, F. (2009), S. 197.

¹³⁸ Vgl. Gießmann, M. (2010), S. 35f.

trolle zu bringen ist.¹³⁹ Dazu existieren fünf theoretische Ansätze, die je nach Problemstellung unterschiedlich zweckmäßig sein können.¹⁴⁰

- Vereinfachen des Systems durch Beschränkung auf die wesentlichen Systemfunktionen
- Einbauen von Puffern, die das System stabilisieren, um zu verhindern, dass das System an seine Grenzen geht
- Zerteilen des Systems in kleinere Subsysteme und die getrennte Betrachtung dieser
- Exportieren der Probleme aus dem System, um Systemspannungen abzubauen
- Einbeziehen der Systemumgebung zur Lösung seiner Probleme

In der weiteren Diskussion zum Komplexitätsmanagement aus der Variantenvielfalt wird sich zeigen, dass die oben genannten Ansätze zur Anwendung kommen. Die ABC-XYZ Bestandsanalyse aus der Materialwirtschaft ist beispielsweise ein Werkzeug, welches auf die Aufteilung eines Systems auf seine Subsysteme abzielt.

3.1.7 Zusammenfassung

Unter Einbeziehung der Erkenntnisse aus den oben diskutierten Komplexitätswissenschaften lassen sich folgende Schlüsse extrahieren, die sich auf lebende Systeme, wie die Ersatzteillogistik, übertragen lassen:

- Die Ersatzteillogistik ist als System mit Systemeigenschaften anzusehen und besteht aus einer Menge von Elementen, welche Eigenschaften besitzen und durch Relationen miteinander verknüpft sind.
- Ohne Komplexitätsmanagement in der Ersatzteillogistik strebt das System einem kritischen Punkt (Servicegrad 100% – jedes erdenkliche Ersatzteil ist verfügbar) entgegen, in welchem die Komplexitätsausprägung (Menge von Elementen und deren Relationen) maximal ist.
- Aufgrund der Vielzahl von unterschiedlichsten Einbauplätzen und wiederkehrenden Produktlebenszyklen von Ersatzteilen entsteht eine Entkopplung der Ursache-Wirkungsbeziehung zwischen Lager und Einbauplätzen und das System bedarf somit eines nachhaltigen Komplexitätsmanagements in einem permanenten Regelkreis.
- Zur Komplexitätsoptimierung in der Ersatzteillogistik empfiehlt es sich ebenso die Systemumgebung (Supply Chain) miteinzubeziehen und mittels Make-or-Buy Überlegungen Probleme aus dem System auszulagern bzw. für eine Ersatzteilsortimentsanalyse das System in geeignete Subsysteme zu unterteilen. Hug spricht in diesem Zusammenhang das Thema Ersatzteilbestand als außerordentlich komplexes Problemfeld an, welches zur Komplexitätsreduktion in Teil-

¹³⁹ Vgl. Malik, F. (2009), S. 191.

¹⁴⁰ Vgl. Dittes, F. M. (2012), S. 133ff.; Malik, F. (1996), S. 173. Die Komplexität eines Systems unter Kontrolle zu bringen ist abhängig von seiner grundlegenden Struktur. Daraus resultiert der Umstand, dass gewisse Systemstrukturen eine Komplexitätsbeherrschung erleichtern, erschweren oder unmöglich machen.

Problemfelder zergliedert werden muss, um die einzelnen Problemfelder sowie die Zusammenhänge zwischen ihnen zu analysieren und aufzuarbeiten.¹⁴¹

3.2 Komplexität hervorgerufen durch Vielfalt

In folgendem Kapitel wird der eingangs systemtheoretisch diskutierte Begriff der Komplexität in praktischen Zusammenhang mit dem Produkterstellungsprozess gebracht.¹⁴² Der Begriff Komplexität soll in der weiteren Verwendung als Systemeigenschaft gelten, die durch die Anzahl und Vielfalt der Systemelemente, durch die Anzahl und Vielfalt ihrer Beziehungen zueinander und durch die Veränderlichkeit in ihrem Zeitablauf beschrieben wird.¹⁴³

Die Komplexität im Bereich der Supply Chain äußert sich generell in Form einer Vielfalt und deren zeitlichen Variation.¹⁴⁴ Diese Vielfalt ermöglicht die Erfüllung neuer Kundenwünsche, die Erschließung neuer Marktsegmente und Kundenkreise und trägt so im Allgemeinen zur Steigerung des Unternehmensumsatzes bei. Allerdings wird durch diese Vielfalt Komplexität erzeugt und diese Komplexität verursacht in letzter Konsequenz wiederum Kosten.¹⁴⁵ Die Produktkomplexität steht als treibende Ursache der Unternehmenskomplexität im Fokus der weiteren Betrachtungsweise in dieser Arbeit.¹⁴⁶

In Abbildung 7 sind beispielhaft Vielfalten angeführt, die entlang der betrieblichen Querschnittsfunktion aufgrund der Kundenindividualisierung von Produkten und Leistungen auftreten.

¹⁴¹ Vgl. Hug, W. (1986), S. 48.

¹⁴² Vgl. Reiß, M. (1993), S. 54. Reiß definiert die Komplexität als allgegenwärtige Begleiterscheinung wirtschaftlichen Handelns.

¹⁴³ Vgl. Krenn, B. (2008), S. 80ff. Krenn hat in ihrer Arbeit die unterschiedlichsten Definitionen des Begriffes Komplexität, wie er in der Literatur der Betriebswirtschaften verwendet wird, anhand von Kriterien gegenübergestellt. Dabei erfolgte eine erste Einteilung der Definitionskriterien nach Systemstruktur und Systemverhalten. Als Ergebnis dieser Gegenüberstellung lässt sich sagen, dass nicht nur unterschiedlichste Fachrichtungen divergente Begriffsdefinitionen besitzen, sondern auch innerhalb der Fachrichtung Betriebswirtschaften unterschiedlichste Definitionsschwerpunkte existieren.

¹⁴⁴ Vgl. Wildemann, H. (2013), S. 24. Wildemann spricht von Produktvarianten im Sinne einer Variantenvielfalt als Komplexitätstreiber entlang der betrieblichen Wertschöpfungskette.

¹⁴⁵ Vgl. Firchau, N. L. et al. (2002), S. 1. Firchau et al. spricht ebenfalls von Produktvarianten im Sinne einer Variantenvielfalt als Komplexitätstreiber entlang der betrieblichen Wertschöpfungskette, ergänzt diese jedoch um eine Prozessvariante.

¹⁴⁶ Vgl. Schuh, G. (2005), Vorwort. Schuh definiert die Produktkomplexität als entscheidenden Faktor der Unternehmenskomplexität und benennt die Variantenvielfalt als Treiber der Produktkomplexität.



Abbildung 7: Vielfalt in der Supply Chain¹⁴⁷

Als Produkt wird in dieser Arbeit der Output eines Unternehmens bezeichnet, der für den Absatzmarkt bestimmt ist.¹⁴⁸

3.2.1 Vielfalt/Varietät

Als eine Erkenntnis ihrer Arbeit stellt Buchholz fest, dass der Begriff Varietät synonym zum Begriff Vielfalt verwendet werden kann.¹⁴⁹ Dementsprechend definiert sie Vielfalt folgendermaßen: „Vielfalt bezeichnet die Anzahl und den Grad der Unterschiedlichkeit (Streuung) der Elemente einer Menge.“¹⁵⁰ Dabei legt Buchholz besonderen Wert auf die Tatsache, dass der Grad der Unterschiedlichkeit, d.h. wie stark sich die Varianten unterscheiden, besonders wichtig ist. Dies ist vor allem für die Erfassung der Variantenanzahl nötig. Denn ließen sich die einzelnen Varianten nicht voneinander unterscheiden, könnten sie letztendlich auch nicht abgezählt werden.

3.2.2 Variante/Variantenvielfalt

Firchau verwendet aus technischer Sicht den Begriff der Variante folgendermaßen: „Eine Variante eines technischen Systems ist zu der eines anderen technischen Systems gleichen Zwecks, das sich in mindestens einer Beziehung oder einem Element unterscheidet. Ein Element unterscheidet sich von einem anderen Element in mindestens einer Eigenschaft.“¹⁵¹

Die Anzahl der Varianten einer Baugruppe, eines Produktes, eines Prozesses oder einer Dienstleistung etc. bildet die Variantenvielfalt.¹⁵² Dementsprechend können von jeder aufgelisteten Vielfalt aus Abbildung 7 mehr oder weniger viele Varianten existieren. Buchholz verlinkt den Begriff Variante folgendermaßen mit dem Begriff Produkt: „Eine Produktvariante ist die Gesamtheit aller Produkte (also kein einzelnes, konkretes Produkt), die bezüglich aller relevanten Produktmerkmale die gleiche Ausprägung aufwei-

¹⁴⁷ Quelle: in Anlehnung an Wildemann, H. (2013), S. 24.; Zsifkovits, H. E. (2012), S. 330. Vorgreifend auf die in dieser Arbeit noch folgende Betrachtung sollte an dieser Stelle bereits die Teilevielfalt und die Produktvielfalt als ein Komplexitätstreiber hervorgehoben werden.

¹⁴⁸ Vgl. Rohrhofer, E. (2009), S. 12.

¹⁴⁹ Vgl. Buchholz, M. (2012), S. 21.; Malik, F. (2009), S. 186.

¹⁵⁰ Buchholz, M. (2012), S. 23.

¹⁵¹ Firchau, N. L. et al. (2002), S. 12.

¹⁵² Vgl. Rohrhofer, E. (2009), S. 14.; Kestel, R. (1995), S. 6.

sen. Unterschiedliche Produktvarianten sind Elemente einer Produktart, in der die Merkmale der zugehörigen Produkte Ähnlichkeiten in Bezug auf ihre Ausprägung besitzen, aber sich die einzelnen Varianten in geringem Maße voneinander unterscheiden. Die Festlegung der relevanten Produktmerkmale sowie die Abgrenzung der Varianten und ihre Zuordnung zu einer Produktart erfolgen subjektiv und relativ (aus Sicht des Betrachters für eine konkrete betriebliche Leistungserstellung und in einem konkreten Planzusammenhang).¹⁵³ Kestel definiert in diesem Zusammenhang, dass die Summe der Merkmalsausprägungen das Erscheinungsbild eines Produkts ergeben. Wenn sich aber ein Produkt in mindestens einer Merkmalsausprägung von einem anderen Produkt unterscheidet, liegt eine Variante vor.¹⁵⁴

In weiterer Folge wird zwar in diesem Kapitel von Produktkomplexität gesprochen, gemeint ist aber die Produktvielfalt im Sinne einer Variantenvielfalt (synonym: Varietät von Produktvarianten) mit ihrer zeitlichen Dynamik. Allerdings wird in der Ersatzteillogistik das Wort „Produkt“ durch „Artikel“ ersetzt, somit ist von einer Artikelvielfalt die Rede.

In Unternehmen fehlt sehr oft das Bewusstsein bezüglich des Entstehens und der Auswirkungen der Variantenvielfalt. Dies liegt zum einen an der Trennung der Actio und Reactio-Thematik entlang der unternehmerischen Wertschöpfungskette und zum andern auch am Erkennen von Varianten. Wie bereits eingangs diskutiert, erzeugt Variantenvielfalt Komplexität, Komplexität ist wiederum ein subjektives Thema bezüglich der Wahrnehmung durch den Menschen. Daraus folgt, dass vielfaltsinduzierte Probleme oftmals nicht als solche erkannt werden.¹⁵⁵ Zum besseren Verständnis und zur Sensibilisierung des Variantenthemas sind in Tabelle 4 unterschiedliche Kategorien und deren Ausprägungsarten angeführt.

Tabelle 4: Variantenmerkmale¹⁵⁶

	AUSPRÄGUNG	VARIANTENKATEGORIEN
VARIANTENMERKMAL	Produktebene	Produktvariante, Baugruppenvariante, Teilevariante
	Auftrittshäufigkeit	Standardvariante, Vorzugsvariante, Sonderausführung, Kundenauftragsspezifische Variante
	Technische Kriterien	Geometrievariante, Materialvariante, Technologievariante, Produktions- oder Prozessvariante
	Variantenfestlegung	Herstellungsspezifische Variante, Kundenspezifische Variante
	Variantenstruktur	Einfache Variante, Gemischt komplexe Variante, Komplexe Variante
	Strukturelle Kriterien	Alternativ: Kann-Variante, Additiv: Muss-Variante, Kann-Muss-Variante
	Subjektive Wahrnehmung	Periphere Variante, Fundamentale Variante

Die Begrifflichkeiten Variante und Variantenvielfalt finden über mehrere Ebenen des Produktentstehungsprozesses statt. Viele Produkte werden auf Teileebene wieder als Einzelteile für Baugruppen verwendet und so entstehen auf Baugruppenebene wiederum Varianten eines Produktes.¹⁵⁷

¹⁵³ Buchholz, M. (2012), S. 14.

¹⁵⁴ Vgl. Kestel, R. (1995), S. 5.

¹⁵⁵ Vgl. Rohrhofer, E. (2009), S. 121.; Raidl, A. (2012), S. 60.

¹⁵⁶ Quelle: Heina, J. (1999), S. 6.

¹⁵⁷ Vgl. Kestel, R. (1995), S. 7. Sogenannte Baugruppenvarianten.

3.2.3 Variantenspektren

Mittels Variantenspektren werden Varianten aufgrund ihrer relativen Ähnlichkeit, deren Ausprägung sich jedoch aufgrund verschiedener Merkmale unterscheidet, zusammengefasst. Dieses Vorgehen ermöglicht die Zuordnung von Varianten zu einer bestimmten Produktart. Dabei ist der Unterschied der Varianten einer Produktart zu den Varianten einer anderen Produktart teilweise so groß, dass sie nicht als gemeinsame Variante bezeichnet werden können. Somit ergibt sich die Erkenntnis, dass Produktvarianten immer relativ zu einer Produktart (Referenzprodukt) bestehen. Diese Zuordnung zu Variantenspektren ist, wie Buchholz anführt, ebenso relativ und subjektiv wie die Definition der Variante an sich. Oder anders formuliert: Eine Variante ist nicht für sich alleine bestimmt, sondern stellt stets eine von mehreren Produktvarianten einer Produktart dar. Das Standardprodukt gilt als Teil des Variantenspektrums, es bildet eine eigenständige Variante und gilt nicht als Vergleichsobjekt für die Varianten.¹⁵⁸

3.2.4 Komplexitätstreiber

Neben der Erkenntnis, dass Variantenvielfalt als Komplexitätstreiber entlang der betrieblichen Querschnittsfunktion wirkt, gibt es einige Faktoren, die die Variantenvielfalt beeinflussen: einerseits der zeitliche Aspekt und andererseits der Umwelt-Aspekt. Beide Faktoren sollen im Folgenden kurz erläutert werden.

Als Komplexitätstreiber im zeitlich statischen Bereich ist vor allem das zunehmende Produktprogramm der Hersteller zu nennen. Dies führt in aller Regel zu einer Erhöhung der produkt- und prozessartigen Vielfalt. Laut Schuh und Zsifkovits bildet die Produktvielfalt das Kernstück der Unternehmenskomplexität und gilt somit als Komplexitätstreiber im logistischen Leistungserstellungsprozess.¹⁵⁹ Wildemann ergänzt diese Aussage, indem er postuliert, dass auch im Bewusstsein der Mitarbeiter über die betriebsinterne Auswirkung der Produktvielfalt zu wenig Sensibilität herrscht.¹⁶⁰

Im Bereich der dynamischen Komplexitätstreiber liegt das Hauptaugenmerk auf der Veränderlichkeit und Vieldeutigkeit des Produktprogramms. Hierzu gehören beispielsweise immer schnellere Produktlebenszyklen, die eine zeitliche Veränderung des Systemzustandes bewirken und einen Informationsmangel über betreffende Systeme hervorrufen, die wiederum eine sogenannte Vieldeutigkeit entstehen lassen. Vieldeutige Relationen äußern sich als Unschärfe im System.¹⁶¹

¹⁵⁸ Vgl. Buchholz, M. (2012), S. 13–18.; UNI-Würzburg, https://wuecampus2.uni-wuerzburg.de/moodle/pluginfile.php/201625/mod_resource/content/2/Logistik1_Modul_3/content/2_219_900_4.html (Zugriff: 09.08.2016).; Kesper, H. (2012), S. 22f.

¹⁵⁹ Vgl. Schuh, G. (2005), S. 8ff.; Zsifkovits, H. E. (2012), S. 326. In Bezug auf die Produktvielfalt ist der Trigger die vermehrte Entwicklung zu differenzierten, kundenindividuellen Produkten und Dienstleistungen.

¹⁶⁰ Vgl. Wildemann, H. (2013), S. 6.

¹⁶¹ Vgl. Schuh, G. (2005), S. 11.

Aus dem obigen Diskurs ergeben sich für die Produktvielfalt zwei weitere Differenzierungsmerkmale, diesmal auf die Umwelt bezogen. Dies sind zum einen unternehmensinterne Motive und zum anderen unternehmensexterne Anlässe, die zu einer hohen Produktvielfalt führen.¹⁶²

Tabelle 5: Komplexitätstreiber¹⁶³

KOMPLEXITÄTSTREIBER	EXTERNE	INTERNE
	TECHNOLOGISCHE ENTWICKLUNG	KOSTENSITUATION
	• Schnellere Produktzyklen	• Übermächtiger Marktführer
	• Neue Technologien	• Kostendruck zwingt in Nischen
	• Weltweite Informationsmöglichkeit der Kunden	• Auslastungsprobleme
	GESELLSCHAFTSPOLITISCHER WANDEL	METHODISCHE DEFIZITE
	• Zunehmende Individualisierung	• Variantenvielfalt wird vernachlässigt und ist nicht transparent
	• Pluralisierung der Werte und Normen	• Kostenverrechnung nicht verursachungsgerecht
	• Änderung demografischer Strukturen	• Zeitliche Differenz zwischen Kostenverursachung und Kostenentstehung
	• Verschiebung des Kaufkraftaufkommen	• Werkzeuge für ein markt- und kostengerechtes Programmkonzept fehlen
• Weltweite politische Veränderung		
MARKT	ORGANISATORISCHE DEFIZITE	
• Erhöhter Wettbewerb durch Globalisierung	• Koordination unterschiedlicher Bereichssichten findet nicht statt	
• Sättigung traditioneller Märkte	• Zu viele Stellen in der Wertschöpfungskette	
• Diversifikation bekannter und neuartiger Bedarfe	• Ungeeignete Entscheidungsstrukturen zur Variantenproblematik	
• Neue wachsende Märkte ausnutzen		
• Risikostreuung, Ausgleich von Marktschwankungen		
• Abschöpfende Marketingstrategien		
• Produktrelaunch		
• Weltweite politische Veränderung		

Vor diesem Hintergrund wirkt sich die unternehmensexterne Vielfalt, also die vom Kunden geforderte Produktvielfalt, gemeinhin positiv auf das Unternehmen aus, solange nicht mehr Produktvarianten entstehen, als vom Kunden benötigt werden. Die dabei parallel entstehende interne Vielfalt kann sich aber je nach Höhe des Komplexitätsgrades als nachteilig erweisen. Beide Erscheinungsformen sind nicht vollständig voneinander entkoppelt, sondern stehen bis zu einem gewissen Grad in Abhängigkeit zueinander.¹⁶⁴ Allgemein wird diese Kopplung auch als Ursache-Wirkungs-Beziehung bezeichnet.¹⁶⁵ In Tabelle 5 sind Ursachen für interne und externe Komplexität sowie deren Ausprägungs-

¹⁶² Vgl. Firchau, N. L. et al. (2002), S. 3.; Denk, R., Pfreissl, R. (2009), S. 19.

¹⁶³ Quelle: Firchau, N. L. et al. (2002), S. 5.

¹⁶⁴ Vgl. Rohrhofer, E. (2009), S. 13f.

¹⁶⁵ Vgl. Malik, F. (1996), S.172.; Firchau, N. L. et al. (2002), S. 13. Eine optimale Systemkonfiguration herrscht dann vor, wenn die externe Komplexität (gute Komplexität) höher als die interne Komplexität (schlechte Komplexität) ist. D.h. entlang der betrieblichen Querschnittsfunktion wird bei der vom Markt geforderten Produkterstellung weniger Komplexität erzeugt, als der Markt in der Form einer externen Komplexität in Form einer hohen Vielfalt verlangt.

formen in der Unternehmenspraxis zum Generieren von Produktvielfalten nach Firchau angeführt.

Während eine externe Produktvielfalt (Markt, Gesellschaft und Technologie), wie schon eingangs besprochen, einen Nutzen für das Unternehmen generieren kann, erzeugt die parallel dazu entstehende interne Variantenvielfalt Defizite. Diese Nachteile äußern sich in der Auftragsabwicklung eines Produktionsbetriebes als hohe Komplexität mit mangelnder Transparenz in den Abläufen der indirekten Bereiche und wirken als Gemeinkostentreiber.¹⁶⁶ Wie bereits in der Systemtheorie erwähnt, ist die begrenzte Überschaubarkeit von Abhängigkeiten der einzelnen Systemteile untereinander ein Charakteristikum von Komplexität. Dies führt in der Praxis zu instabilen Prozessen, die sich wiederum als Beispiel von Qualitätsproblemen in der Produktion oder als Lieferverzug äußern. Speziell fördert eine steigende Variantenvielfalt in der Produktion auch eine Zunahme der Kunden-, Lieferanten- und Auftragsvielfalt. Bezogen auf die Ersatzteilwirtschaft bedeutet dies, dass Ersatzteillieferungen für fünf bis zehn Jahre nach Produktauslauf noch garantiert und vorgehalten werden müssen.¹⁶⁷ Das kommt wiederum einer Komplexitätszunahme des Gesamtsystems, wie eingangs beschrieben, gleich.

Zum einen gilt, dass komplexe Anforderungen in Form einer Erweiterung des Angebotsspektrums, die zunehmende Dynamik auf den Märkten, Sättigungserscheinungen und Differenzierung der Leistungserstellung, die von der Systemumwelt unter dem Schlagwort Produktvielfalt an das Unternehmen herangetragen werden, und die Komplexität der eigenen Aktionen zur Erfüllung dieser Anforderungen zu einem starken Anstieg von Komplexität entlang der gesamten Wertschöpfungskette führen, insbesondere im Hinblick auf Planung und Steuerung.¹⁶⁸ Potentielle Treiber sind Veränderungen der Umwelt, die auf das System des Unternehmens einwirken. Diese Umwelteinflüsse werden im Fachterminus als externe Komplexität bezeichnet und führen zu einer Erhöhung der Variantenvielfalt. Schuh führt Technologisierung, Globalisierung und – in Verbindung dazu – die Individualisierung der Nachfrage nach Produktvarianten als Ursache für das Ansteigen der Geschäftsprozesse an.¹⁶⁹ Diese Variantenvielfalt entsteht, um ein Mehr an Kundennutzen zu generieren bzw. Kundenwünsche zu bedienen und im globalen Wettbewerb bestehen zu können.¹⁷⁰

Zum anderen wird seitens der Unternehmen versucht, über komplexe moderne Produkte und immer höherwertige Produktfunktionalität den bestehenden Kundenstock zu halten

¹⁶⁶ Vgl. Firchau, N. L. et al. (2002), S. 13. Aufgrund der Rahmenbedingungen (Anforderung seitens des Nutzens und Erfüllung des Nutzens) herrscht ein Zielkonflikt zwischen innerer und äußerer Komplexität.

¹⁶⁷ Vgl. Zsifkovits, H. E. (2012), S. 328ff. Der Zeitraum ist sehr abhängig von der Art und Lebensdauer des Produktes. Ersatzteile von Rüstungsgüter werden über einen Zeitraum von 40 Jahren vorgehalten. Parallel dazu bedeutet dies, dass auch Ersatzteilabnehmer, in deren Maschinen und Anlagenpark bereits Produkte ausgelaufen sind, die Ersatzteile dazu selbst noch auf Lager vorhalten, um die bestehenden Anlagen weiter betreiben zu können.

¹⁶⁸ Vgl. Wildemann, H. (2013), Präambel I.; Zsifkovits, H. E. (2012), S. 328.; Rohrhofer, E. (2009), S. 7.

¹⁶⁹ Vgl. Schuh, G. (2005), S. 12ff.

¹⁷⁰ Vgl. Wildemann, H. (2013), Präambel Iff.

bzw. neue Kunden zu gewinnen.¹⁷¹ Dabei wird Komplexität, die aus dem Agieren von Unternehmen resultiert, als interne Komplexität tituliert.¹⁷² Diese äußert sich beispielsweise durch die Schaffung von technisch reizvollen Produktvarianten im Sinne einer Differenzierungsstrategie, um Marktnischen bedienen zu können. Das bedeutet für ein Unternehmen, das über fehlende oder unzureichende Informationen bezüglich Ursachen und Auswirkungen von Produktvielfalten verfügt, die wiederum Prozessvielfalten nach sich ziehen, aber auch, dass ein effizientes Variantenmanagement äußerst wichtig zur Vermeidung einer Komplexitätserhöhung im Unternehmen ist.¹⁷³ Wie gut die Performance eines Unternehmens in Bezug auf die teilweise Kopplung der externen mit der internen Variantenvielfalt ist, zeigt sich darin, wie hoch die innerbetriebliche Komplexität durch die Anforderungen der externen Komplexität ist. Die interne Komplexität entsteht neben dem Fertigen der unterschiedlichsten Produktionsvarianten im Produktionsbetrieb auch durch unkoordiniertes Zusammenwirken der einzelnen Betriebsabteilungen, wobei diese oft unterschiedliche Zielvorstellungen bezüglich der Variantenzahl und Variantentart haben.¹⁷⁴

Eine weitere Möglichkeit der Klassifizierung von Komplexität stellt laut Schoeneberg die Trennung auf Basis des Detailierungsgrades oder der Beobachtungsebene dar:¹⁷⁵ Dies wäre zum einen die Komplexität im engeren Sinne in der Form der detaillierten Sichtweise, oder zum anderen die Betrachtung der Komplexität im weiteren Sinne in der Form der ganzheitlichen Sichtweise.

3.2.5 Variantenkreislauf

Gemäß Hermann und Peine lautet das Standardargument der Unternehmen für eine Erhöhung der Variantenvielfalt: „Angebot erweitern, Kundennutzen steigern, Marktanteile hinzugewinnen, Gewinn erwirtschaften.“¹⁷⁶ Diese Logik birgt aber ein Risiko: den Variantenteufelskreis, der das Hauptproblem der Variantenvielfalt darstellt.¹⁷⁷ Die Produktvielfalt, die unter dem Schlagwort Kundenorientierung entsteht, führt unternehmensintern zu einem Anstieg der Komplexitätskosten¹⁷⁸ entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Diese Komplexitätskosten müssen wiederum über Preissteigerungen an den Markt wei-

¹⁷¹ Vgl. Firchau, N. L. et al. (2002), S. 1.

¹⁷² Vgl. Schuh, G. (2005), S. 12ff.

¹⁷³ Vgl. Schuh, G. (2005), S. 14.; Rohrhofer, E. (2009), S. 20.

¹⁷⁴ Vgl. Wildemann, H. (2013), Präambel Iff.

¹⁷⁵ Vgl. Schoeneberg, K. P. (2014), S. 18.

¹⁷⁶ Hermann, A., Peine, K. (2007), S. 653.

¹⁷⁷ Vgl. Rohrhofer, E. (2009), S. 31.

¹⁷⁸ Vgl. Schuh, G. (2005), S. 19f.; Rohrhofer, E. (2009), S. 44f. Komplexitätskosten sind jene Kosten, die in Form von rüst- und nebenzeitbedingten Einzelkosten und aus Gemeinkosten (indirekten und dispositiven Bereichen) bestehen, nämlich durch das Unvermögen, Variantenkosten verursachungsgerecht abzubilden. Krenn postuliert in ihrer Arbeit, dass es keine einheitliche Unterteilung gibt und der Begriff der Komplexitätskosten sehr weit gefasst ist. Zusammenfassend und generalisiert erwähnt sie, dass komplexe Systeme in allen Systembereichen zusätzliche Kosten durch den erhöhten Aufwand im Umgang mit ihnen verursachen. Vgl. Krenn, B. (2008), S. 113f.

tergegeben werden und führen schlussendlich zu Produktabsatzproblemen und dem Verlust der Wettbewerbsfähigkeit; was in weiterer Folge Unternehmen dazu bewegt, mittels einer neuen Produktvariante eine vermeintliche Marktnische zu besetzen. Wird in diesem Fall ohne erkennbaren Kundennutzen bzw. bestehenden Absatzmarkt agiert, führt dieser Vorgang in einen Teufelskreis ausufernder Komplexitätszunahme in Form von steigenden Fertigungs- und Gemeinkosten. Aktuelle Produkte können nicht mehr kostendeckend verkauft werden, bzw. die Absatzerlöse decken die bereits entstandenen Komplexitätskosten nicht. Als Ausweg wird neuerlich eine Variante des Ursprungsproduktes entwickelt, das die bereits entstandenen Komplexitätskosten erwirtschaften soll. In weiterer Folge werden immer mehr Varianten in zu geringer Stückzahl gefertigt. Das führt zu immer schnelleren Produktlebenszyklen und birgt für das Unternehmen eine äußerst gefährliche Dynamik. Schlussendlich führt dieser Prozess in einen Kreislauf, in dem in immer schnelleren Produktzyklen immer kleinere Variantenstückzahlen auf den Markt kommen, was zu einem Anstieg von Planungs-, Fertigungs- und sonstigen Gemeinkosten führt. Ebenso sind für alle Lieferungen und Leistungen, die After Sales Services betreffen, seitens des Unternehmens alle auflaufenden Kosten miteinzubeziehen.¹⁷⁹

3.2.6 Kundennutzen der Produktvielfalt

Aus dieser Diskussion geht hervor, dass bei objektiver Betrachtung auf unternehmensexterne Faktoren der Variantenvielfalt kein Einfluss genommen werden kann. Gleichzeitig müssen die unternehmensinternen Faktoren, die zu einer unnötigen Produktvielfalt führen, soweit wie möglich vermieden werden.¹⁸⁰ Dazu muss im Prozess der Produktplanung und -entwicklung klar analysiert werden, ob der Variantenbedarf tatsächlich vom Markt, als externer Komplexitätstreiber, gefordert wird oder ob bezüglich der Marktorientierung zwischen Wunsch und Wirklichkeit ein eklatanter Zielkonflikt herrscht.¹⁸¹ Falls dem so ist, liegt der Betrachtungsschwerpunkt in der Dimension Produkt/Technik anstatt in der Dimension Kundennutzen.¹⁸² Hermann und Peine konnten in diesem Zusammenhang in ihrer Arbeit nachweisen, dass ein zu starker Anstieg der Produktvielfalt zwar anfangs den Kundennutzen erhöht, aber eine zu starke Zunahme der Produktvielfalt den Kundennutzen in Form einer Kaufzurückhaltung reduziert. Mit empirischen Untersuchungen wurde belegt, dass überdurchschnittlich viele erfolgreiche Unternehmen existieren, die eine geringe Produktvielfalt im Vergleich zu ihren Branchenmitbewerbern aufwei-

¹⁷⁹ Vgl. Schuh, G. (2005), S. 15ff.; Rohrhofer, E. (2009), S. 30.

¹⁸⁰ Rathnow postuliert, dass eine richtig eingesetzte Produktvielfalt (Variantenvielfalt) zweifellos einen erheblichen Nutzen für das Unternehmen bringt. Vgl. Rathnow, P. J. (1993), S. 20.

¹⁸¹ Vgl. Schuh, G. (2005), S. 18ff.

¹⁸² Vgl. Schuh, G. (2005), S. 19ff. Schuh verdeutlicht das Missverhältnis zwischen Wunsch und Wirklichkeit hinsichtlich der Marktorientierung mittels Denkansatz Produkt/Technik vs. Kundennutzen.

sen.¹⁸³ Buchholz führt in diesem Zusammenhang den Begriff der Konsumentenverwirrtheit an, der die Probleme der Konsumenten im Umgang mit vielfältigen Produktangeboten beschreibt.¹⁸⁴ Ausschlaggebend für diese Verwirrtheit ist die Anzahl der Varianten, die eine Vielfalt erzeugen und der Grad der Unterschiedlichkeit zwischen den Varianten. Diese beiden Faktoren erzeugen Komplexität in der Informationsverarbeitung, welche wiederum zu einer Stimulusüberlastung beim Konsumenten führt.¹⁸⁵

Unter diesen Umständen resultiert zusätzlich zu einer potentiellen Kaufzurückhaltung seitens des Kunden aufgrund einer Überforderung die kontraproduktive Möglichkeit der Kundenabwanderung hin zu Konkurrenzprodukten.¹⁸⁶

Diese Ausführungen lassen den Schluss zu, dass Vielfalt die Leistungskriterien Kosten, Zeit, Qualität und Flexibilität beeinträchtigt.¹⁸⁷ Zusammenfassend ist zu erwähnen, dass der geschaffene Kundennutzen durch das geschaffene Produkt immer in Verbindung mit den anfallenden Kosten zu sehen ist, denn ab einer bestimmten Vielfalt übersteigt die Kostenwirkung die Nutzenwirkung.¹⁸⁸

3.2.7 Kostenauswirkung der Variantenvielfalt

Im Allgemeinen werden die Komplexitätskosten als jene Kosten, die aufgrund der Zunahme der Variantenvielfalt entstehen, beschrieben. Die Kostenauswirkungen der Variantenvielfalt treten als unterschiedliche Phänomene auf, die es erschweren, einzelnen Produktvarianten ursachengerecht Kosten zuzuordnen. Zum einen existieren Kalkulations- und Kosteneffekte wie:¹⁸⁹

- Allokationseffekt: Die proportionale Verrechnung der Gemeinkosten berücksichtigt die tatsächliche Inanspruchnahme der indirekten betrieblichen Leistungsbereiche durch die unterschiedlichen Produktvarianten nicht.
- Degressionseffekt: Bestimmte indirekte Gemeinkosten sinken mit zunehmender Stückzahl. Wenn diese Gemeinkosten von der Auftragsanzahl abhängen, ergeben sich für kleinere Auftragsmengen höhere Stückkosten.
- Komplexitätseffekt: Mittels Zuschlagskalkulation erfolgt keine verursachungsgerechte Verrechnung der steigenden Komplexitätskosten zu den Produktvarianten.

¹⁸³ Vgl. Hermann, A., Peine, K. (2007), S. 653f.; Wildemann, H. (2013), S. 8f. Beispielhaft zeigt Wildemann, dass eine Variantenverdoppelung zu einer Kostensteigerung von 20–30% führt, sowie zu einer geringeren Anzahl von Lernvorgängen und zu einer größeren Komplexität in den Abläufen und zu einer Erhöhung der Koordinierungskosten. Schlussendlich generiert eine Variantenverdoppelung eine überproportionale Kostensteigerung.

¹⁸⁴ Vgl. Buchholz, M. (2012), S. 135f. Parallel zur Konsumentenverwirrtheit aufgrund der Variantenvielfalt existiert ebenso auf Seite des Unternehmens eine Produzentenverwirrtheit als Begleiterscheinung der Prozesskomplexität, resultierend aus der vorhandenen Variantenvielfalt. Vgl. Buchholz, M. (2012), S. 195ff.

¹⁸⁵ Vgl. Buchholz, M. (2012), S. 163ff.

¹⁸⁶ Vgl. Rohrhofer, E. (2009), S. 43.

¹⁸⁷ Vgl. Rohrhofer, E. (2009), S. 10.

¹⁸⁸ Vgl. Schuh, G. (2005), S. 26.

¹⁸⁹ Vgl. Firchau, N. L. et al. (2002), S. 26.; Rathnow, P. J. (1993), S. 23ff.; Schuh, G. (2005), S. 22–24.; Hermann, A., Peine, K. (2007), S. 660ff.

Dies hat zur Folge, dass für komplexere Varianten ein zu niedriger Absatzpreis und für Standardprodukte ein zu hoher Absatzpreis festgelegt wird.

- **Hysterese-Effekt:** Dieser Effekt beschreibt das asymmetrisch dynamische Verhalten in der Handhabung zunehmender Produktvarianten. Das durch den damit verbundenen Kostenanfall gestiegene Kostenniveau kann jedoch im Falle einer ausschließenden Reduzierung der vorgehaltenen Produktvariantenzahl nicht oder nur langfristig in gleichem Maße aufgrund von irreversiblen Änderungen abgebaut werden.
- **Zeitverzögerung:** Bei einer marginalen Zunahme der Variantenvielfalt entstehen noch keine erkennbaren Kostenwüchse. Erst beim Überschreiten eines Grenzwertes, bei dem es zu notwendigen Investitionen (z.B. Lagererweiterung, Aufstocken der Mitarbeiterzahl) aufgrund der Produktvielfalt kommt, werden diese Komplexitätskosten wirksam.

Zum anderen zeigt sich, dass traditionelle Kostenrechnungsverfahren, wie die klassische Deckungsbeitragsrechnung oder die Vollkostenrechnung, unzureichend für die Kostenbewertung von Produktvarianten sind. Der Grund hierfür ist die Tatsache, dass mit zunehmender Variantenvielfalt eine stark ansteigende Kostenbelastung in den indirekten Gemeinkostenbereichen erfolgt, die den Varianten nicht verursachungsgerecht zugerechnet werden kann. Dies bedeutet, dass die Komplexitätskosten größtenteils in den Gemeinkosten enthalten sind.¹⁹⁰

Eine weitere Besonderheit betrifft den Ursachen-/Wirkungszusammenhang zwischen Entstehen und Tragen der Komplexitätskosten. Die Kostenauswirkung tritt in der Vielfaltsproblematik in der Regel nicht am Ort des Entstehens auf, vielmehr sind die Verursacher von Produktvarianten nicht immer auch die Kostenträger.¹⁹¹ Dies trifft vor allem auch auf die in dieser Arbeit diskutierte Ersatzteillogistik zu.

In Abbildung 8 wird graphisch auf Abteilungsebene dargestellt, in welchem Ausmaß jede Abteilung für die Entstehung von Produktvarianten verantwortlich ist und in welchem Verhältnis dazu die Kosten für die betriebliche Variantenvielfalt stehen. Die Darstellung zeigt, dass Vertrieb, Entwicklung und Forschung als Kostenverursacher der Vielfalt gelten, während die restlichen angeführten Abteilungen die Kostenträger der Vielfalt sind.

¹⁹⁰ Vgl. Rohrhofer, E. (2009), S. 26f. Mit zunehmender Variantenvielfalt steigt der Aufwand für Planung, Steuerung und Disposition entlang der betrieblichen Querschnittsfunktion. Tabelle 2 zeigt dazu den vielfaltsinduzierten Verwaltungsaufwand, der sich in den Gemeinkosten niederschlägt und in weiterer Folge nicht verursachergerecht auf alle Produkte aufgeteilt wird. Dies hat zur Folge, dass die Standardprodukte die Produktvielfalt subventionieren.

¹⁹¹ Vgl. Wildemann, H. (2013), S. 6.

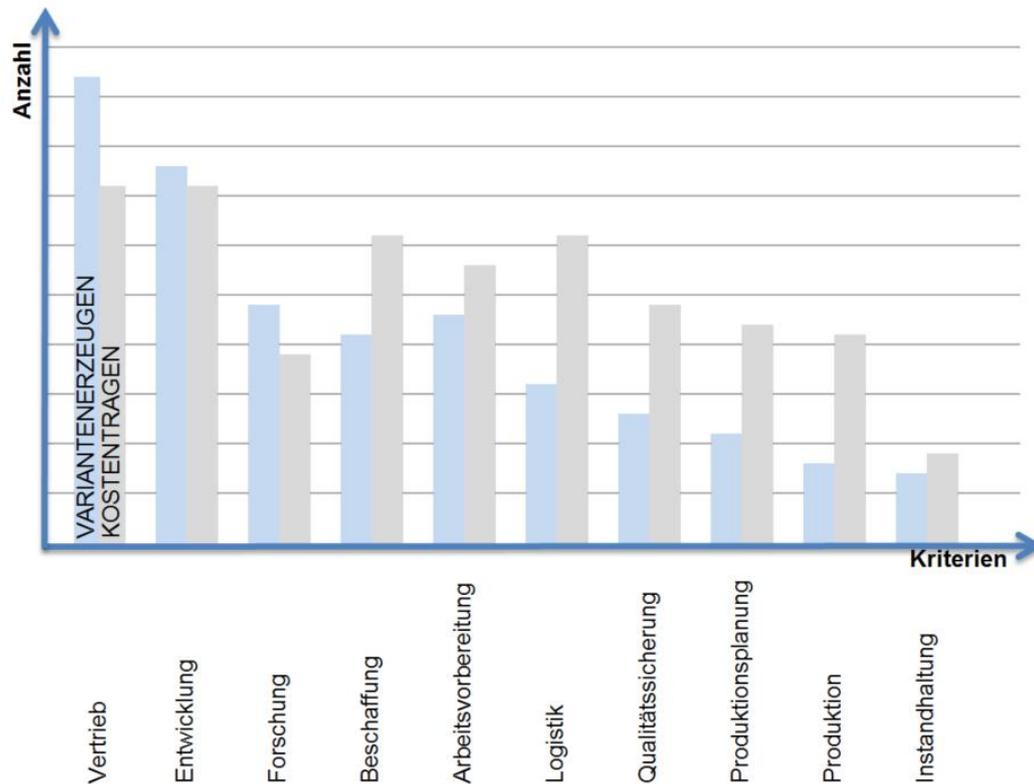


Abbildung 8: Erzeugung von Varianten zum Anteil der zu tragenden Variantenkosten¹⁹²

Hervorzuheben ist in Abbildung 8 die Funktion Logistik, die einen erheblichen Kostenbeitrag aufgrund von hoher Vielfalt trägt. In weiterer Folge lässt sich hier der Bogen zum Ersatzteilmanagement des Anlagenbetreibers spannen und die Aussage treffen, dass eine hohe Vielfalt von unterschiedlichen Ersatzteilen einen hohen Ressourcenaufwand im Ersatzteilmanagement benötigt.

In Tabelle 6 werden die Auswirkungen der Produktkomplexität entlang der betrieblichen Querschnittsfunktionen und entlang des gesamten Produktlebenszyklus dargestellt. Die Verteilung der Komplexitätsauswirkungen einer Produktvielfalt über die gesamte betriebliche Querschnittsfunktion verdeutlicht, dass es im Unternehmen eine Stelle über allen geben muss, die für das Management der Komplexität verantwortlich ist. Ansonsten fühlt sich im Unternehmen niemand für das Entstehen der Vielfalt verantwortlich. Schuh stellt dazu fest: „Vielfalt wird nicht geplant, nicht entwickelt und auch nicht gesteuert, sie entsteht einfach.“¹⁹³

¹⁹² Quelle: in Anlehnung an Wildemann, H. (2013), S. 7. Die dunklen Balken repräsentieren den Anteil der zu tragenden Kosten aufgrund der Variantenanzahl, die hellen Balken zeigen den Anteil der Erzeugung von Varianten. Die Darstellung ist nicht wertemäßig absolut zu betrachten, sondern gibt anschaulich einen verallgemeinerten Vergleich, wer Varianten erzeugt und wer diese kostenmäßig trägt.

¹⁹³ Schuh, G. (2005), S. 28.

Tabelle 6: Auswirkung der Vielfalt in funktionsübergreifender Darstellung¹⁹⁴

	PRODUKTEINLAUF	MARKTZYKLUS	PRODUKTAUSLAUF
ENTWICKLUNG	Zusätzliche •Konstruktionszeichnungen •Stücklisten •Versuche	Anpassung der Varianten an technische oder sonstige Änderungen	Zusätzliche •Datenbereinigung •Arbeitspläne
BESCHAFFUNG	Zusätzliche •Lieferantensuche •Lieferantenauswahl	Kleinere Bestellmengen, Entfall von Größen- degressionseffekten, potentiell interessante Lieferanten entfallen	Aufwändigere Auslauf- planung
PRODUKTION	Zusätzliche •Werkzeuge •Arbeitspläne	Aufwändigere Fertigungs- steuerung und Qualitäts- sicherung höhere Rüstkosten höhere Anlaufverluste höhere Bestände	Zusätzliche Betriebsmittel und Werkzeugensorgung
VERTRIEB	Zusätzliche •Mitarbeiterschulungen •Kalkulation	Höherer Fertigungsbestand zur Herstellung der Liefer- bereitschaft, größere Fehler- häufigkeit bei Auftragsbe- arbeitung	Aufwändigere Auslaufplanung
AFTER SALES	Zusätzliche •Mitarbeiterschulungen •Dokumentation	Reduzierung der Kundenzufriedenheit durch reduzierte Lernkurve Erhöhtes Reklamationsrisiko	Ersatzteilbevorratung nach Produktionsauslauf Know-how-Weitergabe

Fasst man den vorangegangenen Abschnitt zusammen, kann folgendes Resümee gezogen werden.¹⁹⁵

- Der Zwang zur Herstellkostensenkung wirkt vielfaltstreibend.
- Vielfaltstreibende Entscheidungen fallen oft isoliert in der jeweiligen Unternehmensebene.
- Die Kosten, die Vielfalt erzeugt, sind häufig nicht bekannt.
- Die Kosten der Vielfalt fallen nicht dort an, wo sie erzeugt werden.
- Vielfaltsmanagement benötigt eine organisatorische Verankerung.

¹⁹⁴ Quelle: Zsifkovits, H. E. (2012), S. 329. Rohrhofer weist in ihrer Arbeit auch auf die zunehmende Problematik der hohen Variantenvielfalt in Bezug auf Kundendienst und Service im After Sales Bereich hin. Dies hat mit dem Vorhalten von Ersatz- und Reserveteilen sowie mit den Werkzeugen und Know-how zum Herstellen dieser zu tun. Vgl. Rohrhofer, E. (2009), S. 37.

¹⁹⁵ Vgl. Wildemann, H. (2013), S. 23.

Das bedeutet für Unternehmen, in denen Komplexität durch Vielfalt und deren Handhabung erzeugt wird, dass es in weiterer Folge zu einem unkontrollierten Kostenanstieg kommt. Um dieser Kostensteigerung entgegenzuwirken ist es absolut notwendig, ein betriebliches Komplexitätsmanagement einzuführen.¹⁹⁶

3.3 Komplexitätsmanagement der Variantenvielfalt

Die Implementierung eines durchgängigen Komplexitätsmanagements ergibt sich aus der Notwendigkeit heraus, dass sich Komplexitätstreiber auf alle Unternehmensbereiche auswirken und eine ausschließlich punktuelle Korrekturmaßnahme im logistischen Leistungserstellungsprozess langfristig zu keinem Erfolg führt. Nur ein bereichsübergreifendes Komplexitätsmanagement ist in der Lage, ein für das Unternehmen optimales Komplexitätsniveau herzustellen und zu verfolgen.¹⁹⁷ Gemäß den Ausführungen von Krenn ist Unternehmenskomplexität per se nichts Negatives. Eher ist diese Systemeigenschaft als Vorteil zu betrachten, denn: Je flexibler ein System auf komplexe Umwelteinflüsse reagieren kann, desto größer ist seine wirtschaftliche Überlebenschance. Somit kann gerade das Generieren von Komplexität und vor allem das Beherrschen von Komplexität ein entscheidender Wettbewerbsvorteil für das jeweilige Unternehmen sein.¹⁹⁸ Als ein definitives Nicht-Ziel des Komplexitätsmanagements führen Pein und Schoeneberg eine derartige Systemvereinfachung an, dass jeder Betrachter es verstehen muss.¹⁹⁹ Schuh definiert Komplexitätsmanagement folgendermaßen: „Komplexitätsmanagement umfasst die Gestaltung, Steuerung und Entwicklung der Vielfalt des Leistungsspektrums (Produkte, Prozesse und Ressourcen) im Unternehmen. Durch die Verstärkung und Dämpfung der Komplexität wird die Fähigkeit angestrebt, Vielfalt in allen Wertschöpfungsstufen so zu beherrschen, dass ein maximaler Beitrag zum Kundennutzen bei gleichzeitig hoher Wirtschaftlichkeit des Unternehmens erzielt werden kann.“²⁰⁰

In diesem Zusammenhang ist es eine wichtige Aufgabe des Komplexitätsmanagements, das Bewusstsein für die vorherrschende Variantenvielfalt frühzeitig zu fördern, bzw. die Sensibilisierung in Bezug auf Vielfältigkeit an sich im betrieblichen Umfeld zu erhöhen.²⁰¹ Parallel zum Erkennen von Vielfalt und dem Bewusstsein der Bedeutung der Vielfaltsauswirkung erfordert es eine definierte Funktion in der Unternehmensorganisation, die langfristig und nachhaltig mit Planung, Steuerung und Kontrolle von Vielfalt betraut ist.²⁰²

Laut Firchau et al. wird der Begriff „Komplexitätsmanagement“ häufig eng im Zusammenhang mit, bzw. fälschlicherweise synonym zum Begriff Variantenmanagement benutzt. Die Varianten- oder Produktvielfalt ist, wie in Abbildung 7 gezeigt, nur eine von

¹⁹⁶ Vgl. Wildemann, H. (2013), S. 24.

¹⁹⁷ Vgl. Rohrhofer, E. (2009), S. 46.; Krenn, B. (2008), S. 98.

¹⁹⁸ Vgl. Denk, R., Pfneissl, R. (2009), S. 14.

¹⁹⁹ Vgl. Pein, J., Schoeneberg, K. P. (2014), S. 315.

²⁰⁰ Schuh, G. (2005), S. 36.

²⁰¹ Vgl. Firchau, N. L. et al. (2002), S. 13.

²⁰² Vgl. Rohrhofer, E. (2009), S. 48.

vielen Komplexitätstreibern im Unternehmen.²⁰³ Schuh hingegen definiert Variantenmanagement folgendermaßen: „Variantenmanagement umfasst die Entwicklung, Gestaltung und Strukturierung von Produkten und Dienstleistungen bzw. Produktsortimenten in Unternehmen. Dadurch wird angestrebt, die vom Produkt ausgehende Komplexität (Anzahl Teile, Komponenten, Varianten usw.) wie auch die auf das Produkt einwirkende Komplexität (Marktdiversifikation, Produktionsabläufe usw.) mittels geeigneter Instrumente zu bewältigen.“²⁰⁴

Im vorangegangenen Kapitel wurde bereits Variantenvielfalt als Treiber aller anderen Vielfalten identifiziert, daher wird in dieser Arbeit der Begriff des Komplexitätsmanagements analog zum Variantenmanagement verwendet. Für einen effizienten und effektiven logistischen Leistungserstellungsprozess ist es entscheidend, Strategien für den Umgang mit Komplexität zu entwickeln, die aus der Variantenvielfalt entsteht.²⁰⁵ Unter Einbeziehung der Erkenntnisse aus den vorangegangenen Abschnitten gilt es somit für ein Unternehmen, mittels Komplexitätsmanagement das optimale Verhältnis zwischen einer minimalen internen Vielfalt und der vom Markt präferierten externen Variantenvielfalt zu realisieren.²⁰⁶ Ohne entsprechendes Komplexitätsmanagement resultieren aus dieser Aufgabenstellung nicht mehr beherrschbare Prozesse und in weiterer Folge hohe Kosten für das betroffene Unternehmen.

3.3.1 Leitlinien des Komplexitätsmanagements

Um ein funktionierendes Komplexitätsmanagement aufzusetzen muss im ersten Schritt geklärt werden, welche Rahmenbedingungen für ein solches Management im Unternehmen berücksichtigt werden und gelten sollen. Die in Abbildung 9 gezeigten vier Leitlinien gelten laut Wildemann als Fundament für das Komplexitätsmanagement, auf das in weiterer Folge die Komplexitätsstrategien (Reduktion, Beherrschung und Vermeidung) aufsetzen.



Abbildung 9: Vier Leitlinien als Basis des Komplexitätsmanagements²⁰⁷

Individualisierung in Form der Produkt- und Prozessindividualisierung dient dem Erkennen und Berücksichtigen von Kundenwünschen und -bedürfnissen unter der Prämisse der Kundenorientierung. Diese Differenzierung bewirkt eine Erhöhung der Preiselasti-

²⁰³ Vgl. Firchau, N. L. et al. (2002), S. 12. Das Variantenmanagement als klassisches Beispiel und Treiber des Komplexitätsmanagements zählt nur im engeren Sinne zum Komplexitätsmanagement. Die Betrachtung des Komplexitätsmanagements als ganzheitliches System erfolgt stattdessen im weiteren Sinne in der Form eines „Ganzheitlichen Komplexitätsmanagements“. Vgl. Schoeneberg, K. P. (2014), S. 18–19.

²⁰⁴ Schuh, G. (2005), S. 37.

²⁰⁵ Vgl. Zsifkovits, H. E. (2012), S. 330.; Buchholz, M. (2012), S. 210f. Ausgehend vom Management der Variantenvielfalt ergeben sich somit Auswirkungen auf die übergeordnete Komplexität der Produkte, Prozesse und Faktoren mit dem Ziel der Aufwandsreduzierung.

²⁰⁶ Vgl. Hermann, A., Peine, K. (2007), S. 653.

²⁰⁷ Quelle: Wildemann, H. (2013), S. 45.

zität der Nachfrage, resultierend aus dem erfolgreichen Aufbau der Individualisierung. Dieser Schritt generiert grundsätzlich ein Mehr an Produkt- und Prozessvarianten.²⁰⁸ Um dennoch in den Genuss des positiven Effekts der Erfahrungskurve/Economies of scale zu gelangen, bedarf es einer **Standardisierung**. Diese muss aber ein gewisses Maß an Individualisierung gestatten, um nach wie vor Kundenorientierung zu ermöglichen. Unternehmen, die ausschließlich mittels Standardisierung Kostenführerschaft als Ziel haben, müssen alle wertschöpfenden Prozesse unter Effizienzgesichtspunkten designen, um Leistungen kostengünstiger als Mitbewerber erbringen zu können.²⁰⁹ **Intransparenz** im Sinne eines Informationsdefizites im Unternehmen und in dessen Umfeld (Beschaffungsmarkt, Absatzmarkt) erzeugt Komplexität und ist verantwortlich für die nicht marktadäquate Entwicklung (z.B. wo Variantenkosten entstehen und wer sie trägt) des Unternehmens. Innerhalb des bestehenden Aktivitätsbereiches am Markt bedeutet der Begriff **Kernkompetenz** die Infragestellung dessen, was im gewachsenen Leistungsumfang des Unternehmens erbracht wird. Daraus resultiert die Erkenntnis der Verlagerung von Leistungsprozessen, die nicht zur Kernkomplexität ausgebaut werden sollen, in die vorangehende Wertschöpfungsstufe in Form eines strategischen Outsourcings, was somit eine Reduktion der Gesamtkomplexität entlang der gesamten Wertschöpfungskette durch die effiziente Nutzung des Know-hows aller an der Leistungserstellung beteiligten Unternehmen bewirkt.²¹⁰

3.3.2 Komplexitätsstrategien

Aufbauend auf den Information aus Abbildung 9 folgt nun die Erweiterung mittels Strategieansatz zum konstruktiven Beeinflussen der bestehenden Vielfalt.



Abbildung 10: Komplexitätsstrategien²¹¹

Um vorherrschende Komplexität im Sinne einer Vielfalt zu managen, bedarf es der Anwendung von drei Komplexitätsstrategien (Abbildung 10).²¹² Diese besitzen einen differenzierten Wirkungsbereich im Hinblick auf ihren Zeithorizont. Die **Komplexitätsreduktion** ist reaktiv und stellt den ersten Schritt dar. Sie zielt auf die Verringerung der bereits vorhandenen Komplexität ab, ihr Wirkungsbereich liegt in der Gegenwart. Die Reduktion bestehender Teile, Varianten und Prozesse wirkt sich umgehend auf den bestehenden Komplexitätsgrad aus. Die **Komplexitätsbeherrschung** weist ebenfalls reaktive Züge auf und beschreibt die möglichst effiziente Handhabung der bestehenden Komplexität

²⁰⁸ Vgl. Wildemann, H. (2013), S. 44ff.; Schuh, G. (2005), S. 95.

²⁰⁹ Vgl. Wildemann, H. (2013), S. 44ff.; Schuh, G. (2005), S. 94.

²¹⁰ Vgl. Schuh, G. (2005), S. 72.; Wildemann, H. (2013), S. 44ff.

²¹¹ Quelle: Wildemann, H. (2013), S. 45. Diese drei Strategien beziehen sich auf das Komplexitätsmanagement im engeren Sinne. Vgl. Schoeneberg, K. P. (2014), S. 20.

²¹² Vgl. Kopenhagen, F. (2014), S. 114.; Wildemann, H. (2013), S. 69ff.

mittels geeigneter Maßnahmen und Prozesse, um die nicht vermeidbare Komplexität, bei der keine Möglichkeit besteht, Teile, Varianten und Prozesse zu reduzieren, zu managen. Somit kann die Beherrschung von Komplexität auch als Effizienzsteigerung angesehen werden. Der Zeithorizont des Wirkungsbereichs liegt dabei in der nahen Zukunft. In der fernen Zukunft liegt das Wirkungsfeld der **Komplexitätsvermeidung**, welche antizipativ ist. In dieser gilt die Prämisse der präventiven Verhinderung, um so durch vorausschauende Planung und gezielte Beeinflussung der Neuentstehung von Komplexität entgegenzuwirken.²¹³ Der Strategie der Variantenvermeidung kommt insofern große Bedeutung zu, als dass sie im Vergleich zur Strategie der Reduktion oder Beherrschung von Komplexität einfacher realisierbar ist und bei richtiger Anwendung zukünftige etwaige Reduktionen obsolet macht.²¹⁴ Aus systemtheoretischer Sicht widerspricht die Komplexitätsvermeidung im Sinne einer dauerhaften Komplexitätsreduktion Ashbys Gesetz der erforderlichen Varietät. Komplexitätsvermeidung kann nicht beliebig vorangetrieben werden, sofern ein Unternehmen am Markt wettbewerbsfähig bleiben soll.²¹⁵

Abbildung 11 zeigt die adaptierte Darstellung der möglichen Vielfalten, die entlang der betrieblichen Querschnittsfunktion auftreten können, in Verbindung mit den oben diskutierten Komplexitätsstrategien.

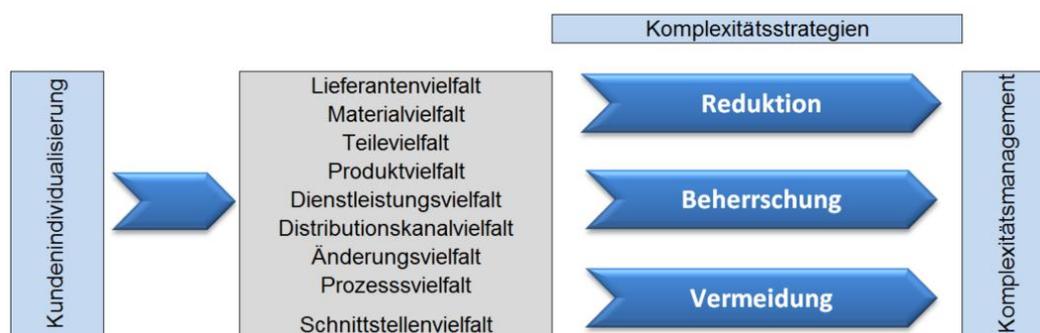


Abbildung 11: Wirkung der Komplexitätsstrategien²¹⁶

Abbildung 12 zeigt im Vergleich zur vorangegangenen Abbildung die zeitliche Reihung der Komplexitätsstrategien basierend auf der Teilevielfalt als eingangs definierter Komplexitätstreiber. Im ersten Schritt erfolgt mit der Entfernung von nicht mehr benötigten Teilen eine Bereinigung der vorhandenen Teile. Nach diesem Bereinigungsschritt erfolgt eine Rückwärtsstandardisierung. Das bedeutet, dass Standards auf bestehende Teile, Baugruppen ausgerollt werden. Somit ist ab diesem Zeitpunkt der Prozessschritt der Komplexitätsreduktion abgeschlossen. Von nun an wird der Schwerpunkt des Komplexitätsmanagements in Richtung Komplexitätsvermeidung gelegt. Dabei wird versucht, über Zuliefervorschriften, Standards und Modularisierung die Teilevielfalt weiter zu reduzieren,

²¹³ Vgl. LogU, <https://www.logu.tuhh.de/de/forschung/varianten-komplexit%C3%A4tsmanagement> (Zugriff: 17.08.2016).; Wildemann, H. (2013), S. 76ff.; Schoeneberg, K. P. (2014), S. 20.; Pein, J., Schoeneberg, K. P. (2014), S. 315f. Pein und Schoeneberg haben im Zuge ihrer Arbeit noch zusätzlich die Möglichkeit einer Komplexitätsakzeptanz, Komplexitätsverlagerung und einer Komplexitätssteigerung dargestellt.

²¹⁴ Vgl. Rohrhofer, E. (2009), S. 56.

²¹⁵ Vgl. Schoeneberg, K. P. (2014), S. 20.

²¹⁶ Quelle: in Anlehnung an Wildemann, H. (2013), S. 24.; Zsifkovits, H. E. (2012), S. 330.

bzw. ein unkontrolliertes Anwachsen zu vermeiden oder zumindest ihr Wachstum zu bremsen.²¹⁷

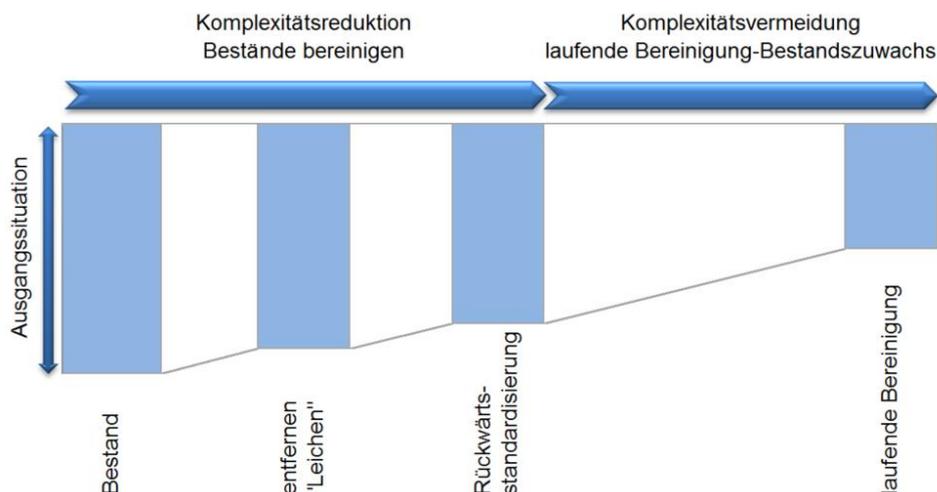


Abbildung 12: Vorgehensweise bei der Teilereduktion²¹⁸

Ausgehend davon stellt sich die Frage, welche Strategie für welches Komplexitätsproblem am geeignetsten ist.

Tabelle 7: Handlungsempfehlungen zu den Komplexitätsstrategien²¹⁹

	VERMEIDUNG	REDUKTION	BEHERRSCHUNG
PRODUKTE	<ul style="list-style-type: none"> •Modularisierung von Produktstrukturen •Einsatz von Gleichteilen •Standardisierung •Parallele Variantenentwicklung 	<ul style="list-style-type: none"> •Verwendung von höherwertigen Varianten •Zeitpunkt der Variantenbildung so spät wie möglich •Erhöhung der Standardisierung •Reduktion der Variantenvielfalt •Teileklassifizierung •Rüstarme Variantenproduktion 	<ul style="list-style-type: none"> • Klar definierte Produkt- und Modulschnittstellen •Software anstatt Hardware •Design to Logistics •Einrichten von Bevorratungsebenen •Flexible Maschinenkonzepte
PROZESSE	<ul style="list-style-type: none"> •Rüsfreie Variantenproduktion •Klare Verantwortungszuweisung •Modulare Fertigungssegmentierung 	<ul style="list-style-type: none"> •Lieferantenbündelung •Reduktion der Leistungstiefe •Medienbruchreduktion •Hierachierreduktion •KVP-Programme •Kategorisierung der Lieferstruktur 	<ul style="list-style-type: none"> •Erhöhter Einsatz von Informationstechnologie •Aufgabenkoordination •Definition überschaubarer Zielsysteme

²¹⁷ Vgl. Zsifkovits, H. E. (2012), S. 331ff.

²¹⁸ Quelle: in Anlehnung an Zsifkovits, H. E. (2012), S. 331.

²¹⁹ Quelle: in Anlehnung an Krenn, B. (2008), S. 98.; Winkler, R. (2006), S. 24.; Zsifkovits, H. E. (2012), S. 331.

Fortsetzung zu Tabelle 7: Handlungsempfehlungen zu den Komplexitätsstrategien

KUNDENSTRUKTUR	•Gezielte Abstimmung der Varianten auf die Marktanforderungen	•Bündelung von Länderspezifika	•Wissensaustausch mit Kunden
	•Schaffung von homogenen Zielmärkten	•Optimierung der Programmtiefe	•Frühzeitige Einbindung in den Produktentstehungsprozess beim Kunden
	•Gezielte Meinungsbildung beim Kunden	•Kundenbereinigung durch Mindermengenzuschlag	•Aufbau von learning relationship mit dem Abnehmer
		•Kombination von Modulen zu Leistungsbündeln	

In Tabelle 7 sind Beispiele für detaillierte Handlungsempfehlungen zu den drei Komplexitätsstrategien anhand dreier Ausprägungsformen dargestellt. Ein vollständiges Komplexitätsmanagement umfasst additiv zu den konkreten Handlungsempfehlungen zusätzlich einen darauf abgestimmten Controlling Regelkreis im Sinne des „plan-do-act-check“, um die Nachhaltigkeit der gesetzten Aktionen zu verfolgen.

3.3.3 Optimaler Komplexitätsgrad

Wie eingangs bereits bezüglich Komplexität diskutiert wurde, bedeutet eine hohe Komplexität eine hohe Ausprägungsform eines Systems. Ist nunmehr seitens der Systemumwelt ein gewisser Grad an Ausprägung von dem System gefordert und wird diese auch erfüllt, so besitzt das System einen bestimmten Komplexitätsgrad.

Unter optimalem Komplexitätsgrad wird eine der Situation angemessene interne Komplexität verstanden. Dabei ist nicht die maximale Reduktion der Unternehmenskomplexität das Ziel, sondern im Idealfall eine Parität des internen Komplexitätsgrades mit der externen Komplexität.²²⁰

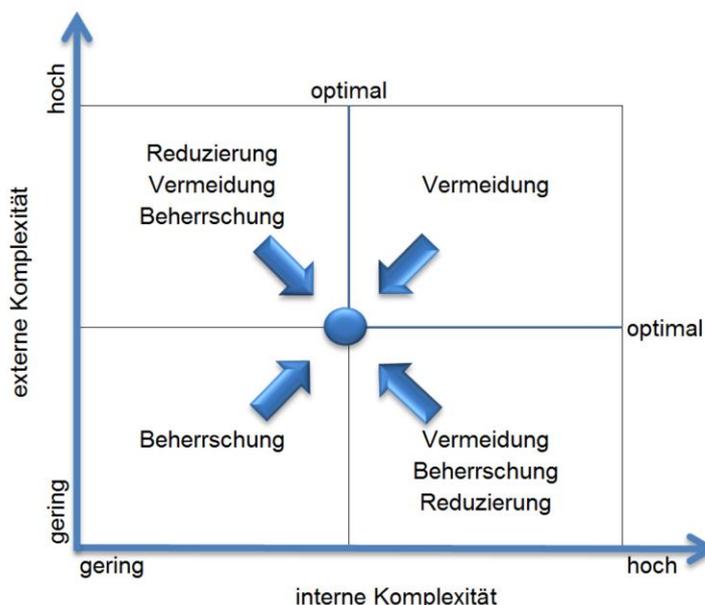


Abbildung 13: Strategische Handlungsalternativen zum Erlangen des Komplexitätsoptimums²²¹

²²⁰ Vgl. Plankert, N., Thiebes, F. (2014), S. 165.

²²¹ Quelle: Kaiser, A. (1995), S. 102.

Abbildung 13 zeigt aufbauend auf den drei Komplexitätsstrategien die jeweilige Handlungsalternative, um ein Optimum zwischen externer und interner Komplexität zu erlangen. Bestehen hierzu Unterschiede der beiden Komplexitätsgrade, spricht man von Über- oder Unterkomplexität. Durch geeignete Maßnahmen (Reduzieren, Beherrschen, Vermeiden) aus dem Bereich des Komplexitätsmanagements wird dieser Komplexitätsabweichung entgegengewirkt. So kann beispielsweise für ein Unternehmen die Fähigkeit, einen hohen Komplexitätsgrad zu beherrschen, als Wettbewerbsvorteil gegenüber seinen Mitwerbern und als dessen Markteintrittsbarriere interpretiert werden.²²²

3.3.4 Zusammenfassung

Die grundlegende theoretische Definition der Eigenschaft Komplexität diene als Diskussionsgrundlage für die Erörterung von komplexen Systemen und deren Eigenschaften. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen und Begrifflichkeiten erfolgt der Brückenschlag von der systemtheoretischen Betrachtungsweise der Komplexität über das Variantenmanagement mit den vielfaltsinduzierten Problemstellungen hin zur Komplexität im Bereich der logistischen Leistungserstellung in der Ersatzteilwirtschaft.²²³

Gemäß Abschnitt 3.2 wird im Bereich des Produkterstellungsprozesses die Eigenschaft Komplexität identifiziert und dabei der Komplexitätstreiber „Vielfalt“ isoliert. Die Variantenvielfalt wiederum hat Ursachen und Auswirkungen und ebenfalls einen beschreibenden Charakter. Als erste wesentliche Erkenntnis dieser Arbeit gilt, dass die Variantenvielfalt auch eine Komplexitätsauswirkung auf den After Sales Bereich eines Unternehmens hat (Tabelle 6 Auswirkung auf Kundendienst). Folglich gilt die Analogie, dass über die Supply Chain (SC) Schnittstelle Ersatzteilbevorratung durch den Hersteller hin zur Ersatzteilbevorratung durch den Ersatzteilabnehmer bzw. Anlagennutzer, Komplexität in Form einer Vielfalt (mit Ursachen und Auswirkungen) übergeht. Die Höhe des Komplexitätsgrades ist abhängig von der Art und Anzahl der Ersatzteile und ihren Relationen zueinander sowie von der Fähigkeit des Unternehmens mit Komplexität umzugehen. Ebenfalls tritt hierbei das Thema interne Komplexität vs. externe Komplexität auf, jedoch nicht im Kontext, was verlangt der Markt, sondern wie manage ich intern meine Ersatzteilbevorratung in Abhängigkeit von Verfügbarkeit, Produktlebenszyklus und Produktvielfalt der benötigten Ersatzteile. Folglich gilt die Erkenntnis, dass Variantenvielfalt (Artikelvielfalt) in diesem Bereich ebenfalls in Form des Komplexitätsmanagements gemanagt werden muss.

Im Folgenden bedarf es einer es einer Diskussion über die Thematik Ersatzteillogistik und -bewirtschaftung, um Rahmenbedingungen, Handlungsfelder und Aufgaben zu bestimmen. Daher folgt ab dem nächsten Kapitel die Erarbeitung der Grundlagen der Mate-

²²² Vgl. Schuh, G. (2005), S. 43ff.; Ballwieser, W. (1993), S. 53ff.

²²³ Vgl. Biedermann, H. (2006), S. 10ff. Biedermann setzt diesen Gedankengang auf die gesamte Instandhaltung inkl. Ersatzteilwirtschaft um und stellt auf diesem Wege ebenfalls eine Komplexität in der Instandhaltung fest. Diese Komplexität in der Instandhaltung zeigt sich in den identen kybernetischen Ausprägungen, die eingangs zu dieser Arbeit bereits diskutiert wurden. Da die Ersatzteilwirtschaft ein Teil der Instandhaltung ist, gilt somit der Umkehrschluss, dass alles, was für die Instandhaltung gilt, auch für den Teilaspekt der Ersatzteilwirtschaft Gültigkeit besitzt.

rialwirtschaft in der Sonderform der Ersatzteilwirtschaft. Als Komplexitätstreiber wird sich hierbei die Ersatzteilvielfalt mit der Ersatzteilbestandshöhe zeigen.

3.4 Ersatzteillogistik

In weitere Folge wird nun aufbauend auf dem Wissen über das Komplexitätsmanagement, aus dem Fachbereich Variantenmanagement, die Thematik Ersatzteilmanagement diskutiert. Konkret soll dabei in den anschließenden Kapiteln eine Komplexitätsmanagementstrategie für die Ersatzteillogistik entwickelt werden, die sich an der des Variantenmanagements orientiert. Zu diesem Zweck erfolgt zunächst die Erarbeitung und Diskussion der notwendigen Grundlagen aus dem Fachbereich der Materialwirtschaft und des Ersatzteilmanagements.

3.4.1 Ersatzteillogistik als Subsystem

Im Begriff Ersatzteillogistik werden alle administrativ-organisatorischen sowie strategischen und operativen Verantwortungsbereiche zusammengefasst, welche für die Sicherstellung einer bedarfsgerechten Ersatzteilverfügbarkeit im Unternehmen verantwortlich sind. Die Ersatzteillogistik als ein Subsystem (operativer Teilbereich, Abbildung 14) des Ersatzteilmanagements bezeichnet die Integration des Ersatzteilwesens in die logistischen Abläufe eines Unternehmens, mit allen operativen Aufgaben bezüglich der Beschaffung und Bevorratung von Ersatzteilen sowie deren Bereitstellung am Bedarfsort.²²⁴

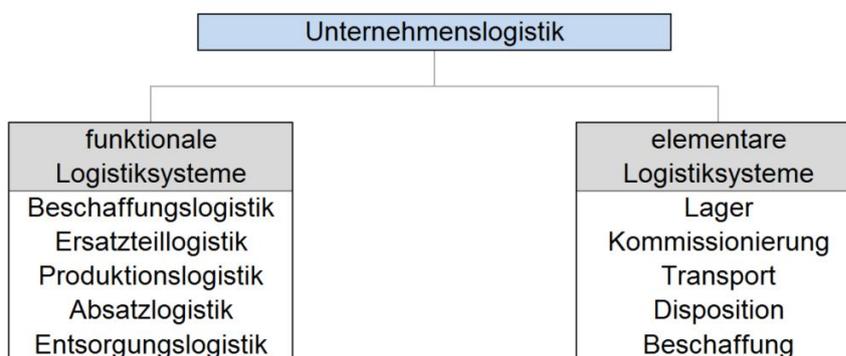


Abbildung 14: Übersichtsdarstellung der Unternehmenslogistik²²⁵

Die Konsequenzen einer hohen Variantenvielfalt wirken sich unterschiedlich auf einzelne funktionale Logistiksysteme aus.²²⁶ Bzw. in weiterer Folge top down betrachtet, wirkt sich eine hohe Variantenvielfalt natürlich auch unterschiedlich auf einzelne elementare Logistiksysteme aus (Tabelle 8).

²²⁴ Vgl. Pawellek, P. (2013), S. 221.; Wojciechowski, S. (2015), S. 16.

²²⁵ Quelle: in Anlehnung an Kestel, R. (1995), S. 14. In dieser Arbeit wird ausschließlich das Subsystem „Ersatzteillogistik“ betrachtet.

²²⁶ Vgl. Kestel, R. (1995), S. 16.

Tabelle 8: Auswirkung erhöhter Variantenvielfalt auf Logistiksysteme²²⁷

	EINFLUSSFAKTOREN AUF	AUSWIRKUNG
LAGER	•mehr Materialnummern	•Lagertechnik
	•mehr Ersatzteile	•Lagertechnik
	•kleinere Lagermengen pro Materialnummer	•Organisation/Informationstechnologie
KOMMISSIONIERUNG	•mehr Materialnummern	•Informationstechnologie
	•kleinere Kommissionierpositionen	•Organisation
	•mehr Inventuraufwand	•Organisation
	•mehr Verschrottung/Entsorgung	•Organisation/Buchhaltung
TRANSPORT	•mehr Anlieferungen	•Organisation/Informationstechnologie
	•kleinere Lieferlose	•Organisation/Informationstechnologie
	•termintreue Lieferung	•Betrieb/Organisation
DISPOSITION	•mehr Materialstammverwaltung	•Organisation/Informationstechnologie
	•mehr Sicherheitsbestände	•Lagerbestand
	•mehr Klassifizierung	•Organisation/Informationstechnologie
	•mehr Fehlbestandsrisiko	•Betrieb
BESCHAFFUNG	•mehr Lieferantenstammdatenverwaltung	•Einkauf/Buchhaltung
	•kleinere Bestelllose	•Wareneingang
	•mehr Bestellungen	•Einkauf/Buchhaltung
	•mehr Lieferanten	•weniger Einkaufshebel, eventuell Engpasslieferant

Prinzipiell gilt als Rahmenbedingung aus bilanzieller Hinsicht zu beachten, dass Lagerbestand Kosten erzeugt, welche wiederum Auswirkung auf die Gemeinkosten des betreffenden Unternehmens haben. Diese Lagerhaltungskosten setzen sich zum einen aus Kosten für den Lagerraum und dessen Bewirtschaftung zusammen, zum anderen aus Zinskosten für das gebundene Kapital.²²⁸ Daher gilt als eines der Formalziele bei der Ersatzteillogistik die nachhaltige Optimierung der Lagerbestände in Form von geringsten Ersatzteilbeständen bei der gleichzeitig maximal geforderten Ersatzteilverfügbarkeit. Um

²²⁷ Quelle: Kestel, R. (1995), S. 74–114.

²²⁸ Vgl. Biedermann, H. (2008), S. 6.; Schultz, V. (2006), S. 218ff.; Döring, U., Wöhe, G. (2008), S. 344f.

den stochastisch auftretenden Ersatzteilbedarf möglichst effizient und effektiv decken zu können, gilt als Globalziel der Ersatzteillogistik folgende Prämisse:²²⁹

- Die richtigen Ersatzteile (nach Art und Menge),
- zur richtigen Zeit,
- am richtigen Ort,
- mit der richtigen Qualität,
- auf wirtschaftlichste Art und Weise.

Die Definition „richtige Ersatzteile“ wird in der Literatur weiterunterteilt: „Was muss, was kann und was sollte“ nach Art und Menge vorrätig sein.²³⁰ Darüber hinaus ist im Zeitalter von Industrie 4.0 die Anforderung nach den richtigen Prozessen und deren Schnittstellen zur Vernetzung entlang der Lieferkette ein Thema.

Eine wesentliche Rahmenbedingung in dieser Betrachtung ist die Systemumwelt in Form von Anlagenkonfiguration und gefordertem Servicegrad, wie in Kapitel 6 bei der Modellvaluierung dargestellt wird.

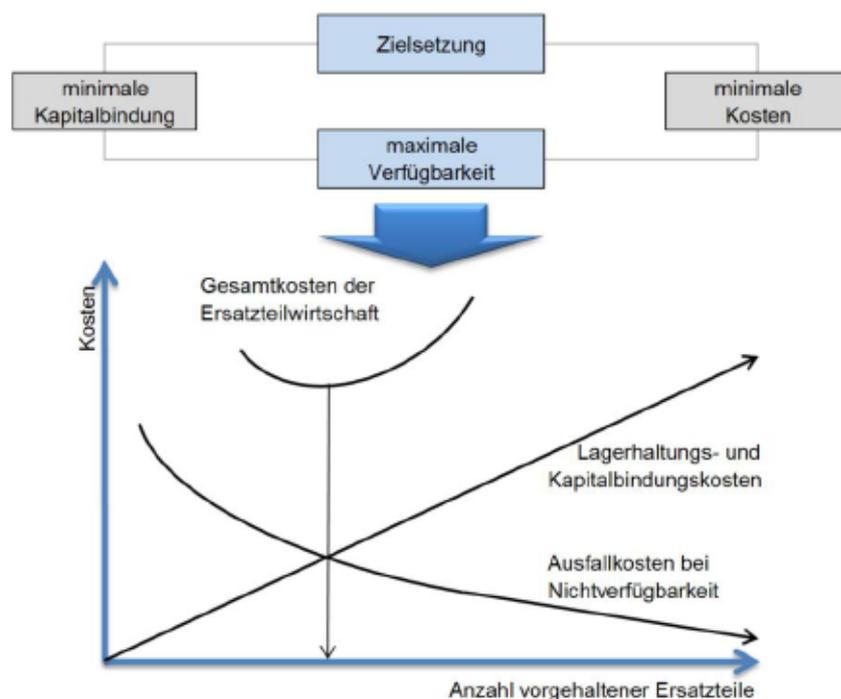


Abbildung 15: Optimierungsproblem der Ersatzteilwirtschaft²³¹

Praktisch stellt diese Forderung im Allgemeinen zwei miteinander konkurrierende Ziele dar: zum einen die Maximierung der Ersatzteilverfügbarkeit und zum anderen die Minimierung der Kapitalbindungs- und Lagerhaltungskosten. Dieser Zielkonflikt wird dement-

²²⁹ Vgl. Pawellek, P. (2013), S. 224f.; Biedermann, H. (2008), S. 7f.; Matyas, K. (2013), S. 154ff.; Martin, H. (2006) S. 2.

²³⁰ Vgl. Strunz, M. (2012), S. 573. Diese ökonomische Fragestellung bezüglich der Bevorratung hängt mit dem Nutzen/Risiko der Bevorratung zusammen.

²³¹ Quelle: in Anlehnung an Pawellek, P. (2013), S. 226.; Ranft, L., Scholz-Reiter, B. (2000), S. 95.

sprechend als Optimierungsproblem der Ersatzteilwirtschaft bezeichnet (siehe Abbildung 15).²³²

Somit wird bereits aus den grundlegenden Überlegungen ersichtlich, dass zwei limitierende Faktoren existieren, die wesentlich auf die Höhe des Ersatzteilbestandes Einfluss nehmen. Resultierend daraus lässt sich zusammenfassend formulieren, dass eine erfolgsorientiert ausgerichtete Ersatzteillogistik die Kosten und den Nutzen der Ersatzteilbevorratung so abwägt, dass ein wirtschaftliches Optimum erreicht werden kann.²³³ Ergänzend sei hierbei erwähnt, dass der Treiber des Sicherheitsgedankens aus der Lieferbereitschaft als interner Einfluss zu sehen ist und dieser durch externe Einflüsse, wie Produktlebenszyklen und technischen Fortschritt, noch verstärkt wird.²³⁴

Etwas detaillierter als das Globalziel formuliert, erfolgt die Erläuterung der Formalziele mittels Einbeziehung einer Teiledifferenzierung der Ersatzteile wie folgt:²³⁵

- Kosten- und Serviceoptimierung durch Ermittlung und Festlegung optimal geeigneter Beschaffungs- und Bereitstellungsstrategien
- Lagerbestandsoptimierung mittels differenzierter Bevorratung der Ersatzteile
- Verfügbarkeitsmaximierung von Ersatzteilen
- Zuverlässigkeitsmaximierung

Das Herunterbrechen der Sachziele (Aufgaben der Ersatzteillogistik nach Art, Menge und Zeit) aus den Formalzielen ist jeweils unternehmensspezifisch exakt zu definieren, um die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung präzise durchführen zu können.²³⁶ Hierzu werden in den folgenden Abschnitten und Kapiteln tiefergehende Diskussionen zur umfassenden Darstellung aller Ausprägungsformen und Berührungspunkte der Thematik Ersatzteilwirtschaft aufgeführt.

3.4.1.1 Typologie Ersatzteil

Bezugnehmend auf Unterscheidungsmerkmale bzw. Gruppierungsmerkmale zum Begriff Ersatzteil ist es in einem ersten Schritt sinnvoll, diesen Begriff detaillierter zu erörtern. Entsprechend ihrer Typologie können Ersatzteile gemäß DIN 24420²³⁷, Teil I/4-1, nach:

- Teile (auch Einzelteile genannt),
- Gruppen (Baugruppen und Teilegruppen genannt),
- oder vollständigen Erzeugnissen,

differenziert werden, welche dazu bestimmt sind, beschädigte, verschlissene oder fehlende Teile, Gruppen oder Erzeugnisse, die ursprünglich in einer Maschine oder Anlage verbaut waren, zu ersetzen. Somit dient ein Ersatzteil definitionsgemäß zur Erhaltung

²³² Vgl. Pawellek, P. (2013), S. 225.; Heuer, G. (1992), S. 453.; Rötzel, A. (2009), S. 117f.

²³³ Vgl. Biedermann, H. (2008), S. 2.; Strunz, M. (2012), S. 574.

²³⁴ Vgl. Bornemann, H. (1986), S. 23–24.

²³⁵ Vgl. Pawellek, P. (2013), S. 221.; Biedermann, H. (2008), S. 8.

²³⁶ Vgl. Biedermann, H. (2008), S. 7.

²³⁷ Vgl. DIN 24420:1976-09, Teil I/4-1, S. 1.

des Funktionsumfangs eines Primärproduktes, wie z.B. einer Maschine oder einer Anlage.²³⁸

Des Weiteren können nach DIN 31051²³⁹ Ersatzteile noch in Reserveteile, Verbrauchsteile und/oder Kleinteile unterteilt werden.²⁴⁰

- **Reserveteil:** In der Literatur meistens als Einort- oder in geringem Maße als Mehrortteil ausgeführt, welches disponiert und vorgehalten wird; in der Praxis ist es klassischerweise als Einortreserveteil präsent. Dementsprechend einer Anlage zugeordnet handelt es sich dabei oftmals um ein eher kostenintensives Teil. Im Sinne einer ABC-Analyse betrifft dies meistens A-Teile (je nach Branche und Primärproduktsituation vereinzelt auch B-Teile).²⁴¹ Ein Ausfall dieser Teile verursacht in der Regel hohe Ausfallkosten. Dombrowski bezeichnet diese Teile als Ausfallsteile, welche grundsätzlich so dimensioniert sind, dass sie den gesamten Lebenszyklus des Primärproduktes ohne Ausfall überdauern können. Jedoch kommt es aufgrund von äußeren Einflüssen, durch das betriebliche Umfeld, zum Ausfall dieser Teile.²⁴²
- **Verbrauchsteile:** Verbrauchsteile sind genormte Teile, die auf mehreren Anlagen einsetzbar sind, und in der Regel nicht wirtschaftlich instandgesetzt werden können. Das Verbrauchsteil verzehrt bei der Nutzung, wobei sich die Lebensdauer von Verbrauchsteilen auf Basis ihres Verschleißverhaltens genauer prognostizieren lässt als die von Reserveteilen.
- **Kleinteile:** Typischerweise handelt es sich dabei um C-Artikel, die allgemein verwendbar, vorwiegend genormt und von geringem Einzelwert sind. Kleinteile haben meist eine hohe Bestandsmenge, aber nur einen geringen Lagerbestandswert.

Zur weiteren Unterteilungen von Ersatzteilen können folgende Merkmale zusätzlich herangezogen werden.²⁴³

- **Eigenteil/Fremdteil:** Diese Merkmalsausprägung beschreibt den Hersteller des Ersatzteils. Ein Eigenteil wird im eigenen Unternehmen gefertigt. Ein Fremdteil wird vom Anlagenlieferanten bzw. von dessen Sublieferanten oder von einem Alternativlieferanten gefertigt.
- **Originalteil/Nachbauteil/Gebrauchteil:** Originalteile werden vom Anlagenhersteller selbst erzeugt bzw. von dessen Sublieferanten geliefert. Nachbauteile (Fremdersatzteile) werden von alternativen Lieferanten bezogen und erfüllen den identen

²³⁸ Vgl. Pawellek, P. (2013), S. 222.; Biedermann, H. (2008), S. 3ff.; Pfohl, H. C. (2010), S. 210.; Wojciechowski, S. (2015), Glossar.

²³⁹ Vgl. DIN 31051:2012-09, Teil 4.6, S. 11.

²⁴⁰ Vgl. Pawellek, P. (2013), S. 222ff.; Biedermann, H. (2008), S. 3ff.; Biedermann, H. (2008), S. 83f.; Matyas, K. (2013), S. 155ff.; Strunz, M. (2012), S. 569ff.

²⁴¹ A-Teile sind Teile mit einer geringen bzw. niedrigen Lagerbestandsmenge, aber mit einem hohen Lagerwert. ABC-Analyse gemäß dem Pareto Prinzip (ökonomische Faustformel 80/20-Regel).

²⁴² Vgl. Dombrowski, U., Schulze, S. (2008), S. 442f.

²⁴³ Vgl. Pawellek, P. (2013), S. 223ff.; Biedermann, H. (2008), S. 4.; Wojciechowsky, S. (2015), S. 10.; Wojciechowsky weist in seiner Arbeit noch auf mögliche Qualitätsunterschiede zwischen Originalersatzteil und Nachbauteil, die zugunsten einer potentiellen Kosteneinsparung in Kauf genommen werden müssen, hin.

Zweck wie Originalersatzteile. Als Gebrauchtteile charakterisiert man Ersatzteile, die instandgesetzt wurden, bzw. aus einer Altanlage ausgebaut wurden.

- Einort- und Mehrortteile: Einortteile sind Ersatzteile, die nur an einer Einsatzstelle an einer Anlage im Unternehmen eingesetzt werden können, konträr dazu können Mehrortteile an mehreren Einsatzstellen, bzw. an mehreren Anlagen im Unternehmen verwendet werden.
- Ein- und Mehrfachteile: Dies beschreibt die organisatorische Situation in einem Unternehmen, in dem ein Mehrfachteil in mehrere Lager oder an mehreren Lagerorten geführt wird, oder den Umstand, dass ein Artikel mehrmals vorrätig ist (Bestandshöhe).
- Ein- und Mehrzweckteile: Aufgrund von Standardisierungsbestrebungen kann ein Artikel funktionell mehrere andere Artikel substituieren, wenn sie sich nur geringfügig in ihren Merkmalsausprägungen unterscheiden und zur selben Produktfamilie gehören.
- Austauschteile: Austauschteile sind gebrauchte Ersatzteile, die vom Hersteller (bzw. Instandhaltung) nach Begutachtung aufbereitet werden. D.h. bei denen im Zuge dieser Instandsetzung alle Verschleißteile gegen Neuteile getauscht werden, und somit die ursprüngliche Funktionalität wiedergegeben ist.²⁴⁴

Als zusätzliche Möglichkeit der Charakterisierung von Ersatzteilen gilt ihre Einteilung hinsichtlich der Art und Weise der Ersatzteilbevorratung (Abbildung 16). Hierbei wird die Problematik der anfallenden Lagerkosten bei Einlagerung durch den Betreiber²⁴⁵ direkt aufgegriffen. Dementsprechend gibt es laut Matyas vier grundsätzliche Möglichkeiten der Ersatzteilbevorratung für Instandhaltungszwecke. Die Bevorratung beim Anlagenbetreiber mittels Konsignationslager beschreibt die Idee, dass der Kauf einer Anlage und die Instandhaltung dazu nicht getrennt voneinander betrachtet werden sollten. Der Anlagenbetreiber kauft schlussendlich die Funktionsfähigkeit einer Maschine über einen definierten Nutzungszeitraum. Dies bedeutet, dass auch eine gesicherte Ersatzteilversorgung mitgekauft wird und mittels Konsignationslager die Ersatzteile beim Anlagenbetreiber durch den Anlagenbauer/Errichter zur Verfügung gestellt werden.²⁴⁶ Diese Form der lagerlosen Sofortverwendung hat den Vorteil des Entfalls aller Kosten für Kapitalbindung und Lagerhaltung. Jedoch macht sich hiermit jedes Unternehmen für Störungen im Ersatzteilnachschub bei der Befüllung des Konsignationslagers verwundbar.²⁴⁷

²⁴⁴ Vgl. Strunz, M. (2012), S. 574–577. Charakteristisch in diesem Zusammenhang ist der sogenannte Ersatzteilkreislauf. In diesem Kreislauf werden Ersatzteile solange instandgesetzt, bis dies nicht mehr möglich bzw. unwirtschaftlich ist und das Ersatzteil daraufhin der Verschrottung zugeführt wird.

²⁴⁵ Vgl. Rötzel, A. (2009), S. 125ff. Rötzel führt noch eine detailliertere Unterteilung bei der Einlagerung durch den Betreiber auf und unterscheidet dabei die Lagerung in Zentrallägern und dezentralen Lägern. Gemäß seinen Ausführungen kommt in der Praxis jeweils eine Mischform aus dezentraler und zentraler Lagerung aufgrund von wirtschaftlichen Überlegungen vor. Hochwertige Reserveteile werden dabei im Zentrallager vorgehalten und Verschleißteile sowie C-Artikel dagegen dezentral gelagert.

²⁴⁶ Vgl. Matyas, K. (2013), S. 158f.

²⁴⁷ Vgl. Bichler, K. (1984), S. 24f.

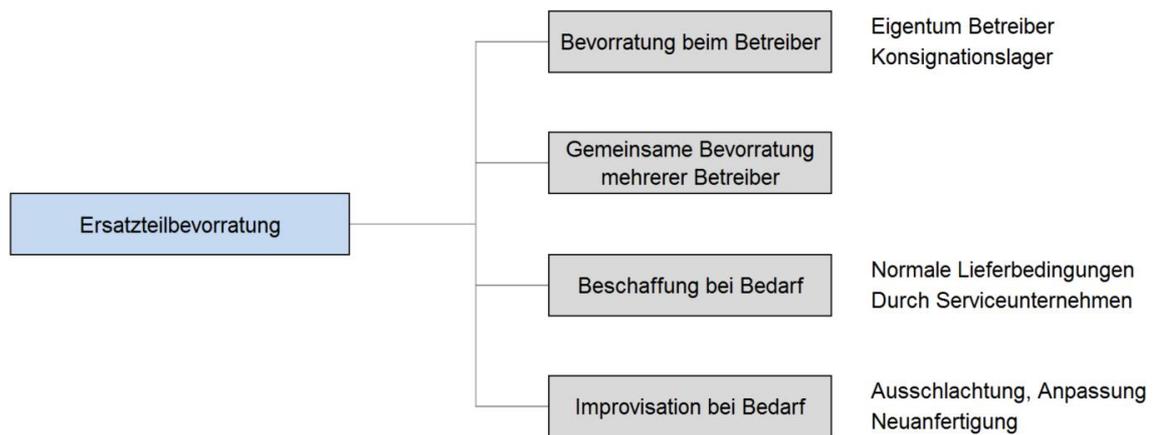


Abbildung 16: Möglichkeiten der Ersatzteilbevorratung²⁴⁸

Alternativ dazu führt der Weg über eine gemeinsame Bevorratung von Ersatzteilen durch mehrere Abnehmer zu einer in Summe gesehenen Reduzierung der einzelnen Bestandshöhen. Dies funktioniert jedoch nur unter der Voraussetzung, dass weitgehend idente Anlagen durch mehrere Unternehmen betrieben werden. Die bedarfsorientierte Beschaffung entspricht in der Ersatzteilwirtschaft dem gängigsten Modell aus der Praxis, jedoch ist hierbei unter der Bedingung einer Anlagenbeschaffung auch die Verfügbarkeitsgarantie bzw. Liefergarantie für die Ersatzteilwirtschaft vertraglich mittels Responsezeiten und Verfügbarkeitszeiträume zu vereinbaren. Die Strategie „Improvisation“ trifft hauptsächlich bei keiner Marktverfügbarkeit von Original- bzw. Nachbauersatzteilen zu. Hierbei besteht die Möglichkeit, durch das Ausschlichten von alten Anlagen an Ersatzteile zu kommen oder diese im Sinne „Losgröße 1“ zu reproduzieren. Gegebenenfalls ist es nötig, die Primäranlage an die neue Ersatzteilproduktlinie anzupassen (Auslauf einer Produktlinie). Wojciechowski untersucht in seiner Arbeit Möglichkeiten mittels 3D-Druck Ersatzteile selbst im Unternehmen herzustellen und somit nur bei unmittelbarem Bedarf die benötigten Teile anzufertigen. Als Fazit seiner Arbeit zeigt sich, dass der 3D-Druck grundsätzlich Potential für die Herstellung von Ersatzteilen besitzt, jedoch bis zur praxistauglichen Anwendung noch an verschiedenen Stellen weiterentwickelt werden muss. Dabei sind entsprechend den Erfordernissen einer differenzierten Betrachtung des druckbaren Spektrums verschiedener Ersatzteilkategorien und 3D-Drucktechniken noch die unterschiedlichsten rechtliche, wirtschaftliche und technologische Hemmnisse zu überwinden.²⁴⁹ Aus der Sicht der Ersatzteillistik, in dem Herstellungs- und Verwendungsorte zusammenfallen und für den Bedarfsfall nur noch Baupläne und elementare Materialien vorgehalten werden müssen, wären die Vorteile logistischer Natur unbeschreiblich. Diese Technologie klingt dermaßen vielversprechend, dass zukünftige Potentiale und Auswirkungen für die Ersatzteillistik heute noch gar nicht abzuschätzen sind.²⁵⁰

²⁴⁸ Quelle: in Anlehnung an Matyas, K. (2013), S. 159.; Heuer, G. (1992), S. 478ff. Heuer unterteilt „Betreiber“ noch weiter in Handlager und Außenlager sowie den Begriff „Beschaffung bei Bedarf“ in Lagerung beim Hersteller, Vorlieferant, Zwischenhändler und Kunden.

²⁴⁹ Vgl. Matyas, K. (2013), S. 158f.; Hartmann, T., Savvoglou, C. (1993), S. 11ff.; Wojciechowsky, S. (2015), S. 85f.

²⁵⁰ Vgl. Bretzke, W. R. (2014) S. 166.

Die Abhängigkeit des Ersatzteilbedarfs der Höhe nach ergibt sich aus folgenden betriebsbedingten Parametern:²⁵¹

- Anzahl der im Einsatz befindlichen Primärprodukte (Maschinen/Anlagen)
- Die umgesetzte Instandhaltungsstrategie (vorbeugend geplante Instandhaltung oder ungeplante Instandhaltung bzw. Reparatur)
- Nutzungsbedingungen, unter denen die Maschinen/Anlagen produzieren
- Nutzungsintensität, mit denen die Maschinen/Anlagen produzieren
- Charakteristik der Produktausfallkurven der verwendeten Komponenten
- Qualität und Quantität der Frühinformation zu Verschleißerscheinungen von Ersatzteilen
- Historie bzw. Vergangenheitsnachfrage nach Ersatzteilen zu der bestehenden Maschinen-/Anlagen-Konfiguration

3.4.2 Bestandsdimensionierung bei Bevorratung

Vordringlich gilt es, die Diskussion zu führen, wann bzw. für welche Anlage die Bevorratung von Ersatzteilen durchzuführen ist. Die Entscheidung, ein Ersatzteil vorzuhalten, verlangt eine sorgfältige Nutzenabschätzung.²⁵² Laut Literatur vertreten Kleindienst und Schröder die Meinung, dass eine Bevorratung nur dann ökonomisch sinnvoll und zu rechtfertigen ist, wenn der Nutzen die Kosten übersteigt. Da der Nutzen monetär nur äußerst schwer darstellbar ist, muss das Systemumfeld (Anlage/Equipment) mit mehreren Entscheidungskriterien im Sinne einer Risikoquantifizierung mit in Betracht gezogen werden. Mögliche Entscheidungskriterien dazu sind.²⁵³

- Anforderungen an die Verfügbarkeit der Anlage
- Struktur der Anlage
- Ausfallverhalten der Anlage
- Inspektionsmöglichkeit, Instandsetzbarkeit der Anlage
- Einsatzbedingungen
- Anzahl von Einbaustellen
- Ausfallkosten/Ausfallrisiko der Anlage
- Wiederbeschaffungszeit der Ersatzteile

Auf Basis dieser Kriterien wird im Sinne einer Nutzwertanalyse in erster Stufe der anlagenbezogene Risikowert betreffend Anlagenausfall generiert und erst in zweiter Stufe der ersatzteilbezogene Risikowert. Die Summe beider Nutzwerte zusammen ergibt die Entscheidungsbasis für die Ersatzteilbevorratung. Der Kosten-Wirksamkeitsindex für ein Ersatzteil errechnet sich durch Division des Gesamtnutzens durch die jeweiligen Ersatzteilkosten.²⁵⁴

²⁵¹ Vgl. Pawellek, P. (2013), S. 224.; Pfohl, H. C. (2004), S. 231.

²⁵² Vgl. Hug, W. (1986), S. 101.

²⁵³ Vgl. Pawellek, P. (2013), S. 224.; Pfohl, H. C. (2004), S. 231.; Rötzel, A. (2008), S. 118; Hug, W. (1986), S. 173.

²⁵⁴ Kleindienst, B., Schröder, W. E. (2013), S. 126ff.

Stehen mehrere Bevorratungsalternativen zur Verfügung, ist jene auszuwählen, die bezogen auf den Einsatz geringster Mittel den größten Nutzen generiert.²⁵⁵

Abweichend zu einer Risikobetrachtung folgt der ökonomische Ansatz von Wortmann und Wötzel. Diese vertreten die Meinung, dass hinsichtlich der Thematik Ökonomie bei Ersatzteilen verschiedene Kostenarten zu berücksichtigen sind. Im Wesentlichen sind das:

- Erstens die Bestandskosten, die direkt durch Bestände verursacht werden, wie z.B. Kapitalbindungskosten, Lagerbewirtschaftungskosten.
- Zweitens die Ausfallkosten, die aufgrund der Nichtverfügbarkeit von Ersatzteilen zu erwarten sind. Dazu zählt unter anderem beispielsweise der Entgang von Deckungsbeiträgen.
- Drittens die Verschrottungskosten/Entsorgungskosten von Ersatzteilen, die am Ende der Anlagenlaufzeit noch im Bestand vorrätig sind.

Unter Zuhilfenahme eines mathematischen Algorithmus wird durch die Gegenüberstellung dieser drei Kostenpositionen eine kostenoptimale Bestandshöhe errechnet und als Entscheidungsbasis zur Ersatzteilbevorratung vorgeschlagen.²⁵⁶

Zusammenfassend folgt, dass jeder Ansatz nur eine Entscheidungsgrundlage bzw. Basis bieten kann: für oder gegen die Entscheidung zur Ersatzteilbevorratung. Heuer postuliert in diesem Zusammenhang, dass ein optimaler Lagerbestand aufgrund der vielen unbekannteren Einflussgrößen nicht erreicht werden kann. Es lässt sich nur ein sogenanntes Zufriedenheitsniveau erreichen. Da sich, wie eingangs erwähnt, der Nutzen der Ersatzteilbevorratung in einer quantitativen Bewertung gegenüber den Kosten nur äußerst schwierig darstellen lässt.²⁵⁷ Des Weiteren ist bei einer Entscheidung für die Ersatzteilverhaltung noch abzuklären, wie viele Teile eines Ersatzteils auf Lager bevorratet werden sollen. Dies erfolgt im Abschnitt „Dispositionsparameter“ am Ende dieses Kapitels.

3.4.3 Klassifikation von Ersatzteilen

Nach der grundlegenden Diskussion hinsichtlich der Bevorratungsentscheidung, der Charakteristik und der Typologie von Ersatzteilen erfolgt in diesem Abschnitt der Diskurs zur semantischen Güterklassifikation. Ein erfolgreiches Bestandsmanagement erfordert eine eindeutige und laufende Bestandserfassung. Eine standardisierte Klassifikation aller Artikel ist zwingend notwendig, da entsprechend der Systemtheorie die Elementevielfalt einer der beiden primären Komplexitätstreiber ist. Im Sinne der Systemtheorie bedeutet dies, dass innerhalb der Systemgrenzen Elementgruppen definiert werden, die eine

²⁵⁵ Vgl. Hug, W. (1986), S. 173.

²⁵⁶ Vgl. Wortmann, B., Wötzel, A. (2013), S. 137ff.

²⁵⁷ Vgl. Heuer, M. F. (1992), S. 472ff.

mögliche Dublettenbildung von identen Elementen und eine zu große Gruppenvielfalt innerhalb der Systemgrenzen vermeidet.²⁵⁸

Die Klassifizierung bzw. Güterbeschreibung von Ersatzteilen dient vor allem der eindeutigen Identifizierung von Materialien und in weiterer Folge einer Standardisierung von Güterbeschreibungen (semantischer Standard) mit einer zielgerichteten mengentheoretischen Betrachtung. In der Praxis muss geklärt werden, nach welcher Nomenklatur der Ersatzteilbestand in Form von Produktstammdaten angelegt wird und welche Zusatzinformationen in welcher Struktur zusätzlich hinterlegt sind. Zu diesem Zweck wird über die Eigenschaft des Artikels eine Hierarchie (ähnlich einer Ordnerstruktur) aufgebaut, in dem alle relevanten Artikeleigenschaften immer detaillierter spezifiziert werden und sämtliche Artikel in weiterer Folge in diese hierarchische Struktur einzuordnen sind. Dabei besitzt jeder Platz in der Struktur eine eindeutige numerische Zuordnung.²⁵⁹

Im Detail handelt es sich hierbei um folgende Kriterien, die erfüllt werden müssen:²⁶⁰

- Das eindeutige Auffinden bzw. Identifizieren von Daten in der Datenbank
- Der verwendete Code, mit dem die Güter codiert sind. D.h. möglichst korrekte und eindeutige Beschreibungen, um Dubletten zu vermeiden bzw. gleichartige Güter in einer Menge zu gruppieren (auch als Basis zum Generieren von Mehrzweckteilen)
- Die hinreichende Informationsqualität der Daten: das Ersatzteil möglichst kurz und prägnant beschreiben und umschreiben

Ersatzteile (Produktstammdaten) werden in der Praxis immer öfter durch eine Nummer, den sogenannten Schlüssel, gekennzeichnet (Materialnummer), hinter dem sich je nach verwendeter Codierung zusätzliche Informationen zum Artikel hinterlegt sind. Die Nummerierung von Ersatzteilen ist in der Informationstechnologie für die Datenaufbereitung und die daraus resultierende Informationsgewinnung notwendig. Eine eindeutige und systemgerechte Bezeichnung von Objekten ist in der Welt der Informationstechnologie

²⁵⁸ Vgl. Paradine, http://www.paradine.at/index.php?option=com_content&view=article&id=47&Itemid=98&lang=de (Zugriff: 18.11.2014), Paradine, <http://www.paradine.at/images/stories/Paradine-Gallery/Success-Stories/1011-ats-anwenderbericht-de.pdf> (Zugriff: 18.11.2014), Paradine, <http://www.paradine.at/images/stories/Paradine-Gallery/Success-Stories/1011-ats-success-story-e-class-implementation.pdf> (Zugriff: 18.11.2014). Das Beratungsunternehmen Paradine konnte beim Kunden AT&S mittels Güterklassifizierung den bestehenden Ersatzteilbestand um 43,75% reduzieren, sprich von 32000 auf 18000 Artikeln. Dies gelang vor allem durch das Auflösen von Dubletten, also identen Teilen, die unterschiedlich in den Produktstammdaten benannt waren, und dem Festlegen auf Artikelstandards für unterschiedlichste Anwendungen, d.h. eine direkte Reduktion der Ersatzteilvielfalt. In weiterer Folge wurden in diesem Projekt alle AT&S Lager global klassifiziert mit dem positiven Effekt, dass über ERP festgestellt werden kann, welche Artikel in welchem Lager bevorratet werden. Somit wurden alle Lager ident klassifiziert und das klassische semantische Güterklassifizierungsproblem, das darin besteht, dass jeder Disponent seine Artikel unterschiedlich klassifiziert, weitgehend vermieden. Vgl. Rötzel, A. (2009), S. 122f.

²⁵⁹ Vgl. Strunz, M. (2012), S. 583ff.; Stoll, P. P. (2007), S. 93f.; Heuer, G. (1992) S. 455. Heuer stellt ergänzend fest, dass neben dem Ordnungssystem für die Artikelkennzeichnung auch ein Ordnungssystem für Lagerort bzw. Lagerplatzverwaltung von Nöten ist.

²⁶⁰ Vgl. Biedermann, H. (2008), S. 133f. Hepp spricht bei Klassifizieren im eigentlichen Sinne von Standardisieren, da Konformitätsstandards die Austauschbarkeit von Gütern untereinander vereinfachen und erst die Standardisierung die Bündelung von verschiedenen Bedarfen erlaubt. Vgl. Hepp, M. (2003), S. 14.

ausschließlich eine Nummer.²⁶¹ Diese stellen in Summe über alle EDV-mäßig erfassten Ersatzteile die sogenannten Ersatzteilstammdaten dar. Abhängig vom im Betrieb verwendeten EDV-System ist die Art, Bezeichnung und Anzahl der zu verwendeten Stellen für die Ersatzteilstammdaten unterschiedlich (Abbildung 17). Grundsätzlich können folgende Informationen pro Materialnummer im Stamm hinterlegt sein:²⁶²

- Zugehörigkeit zu Anlage/Maschine (Anlagenkennzeichnungsnummer, technischer Platz in der Anlage²⁶³, Equipmentliste²⁶⁴, Stückliste²⁶⁵)
- Technische Daten des Ersatzteiles (z.B. Materialart, Pläne, Sicherheitsdatenblätter, Sachmerkmale der Klassifizierung)
- Kaufmännische Informationen für die Wiederbeschaffung (z.B. Kosten, Abmessung, Gewichte, Verpackungseinheiten, Bestellnummer, Typenbezeichnung, Hersteller)
- Logistische Informationen betreffend Disposition (z.B. Lagerort, Lagerplatz, Soll-Bestand, Wiederbeschaffungszeit, Sicherheitsbestand)

Aufgrund der Komplexität resultierend aus der Teilevielfalt ist eine verbale Teilebezeichnung, sprich „ein sprechender“ Schlüssel nicht sinnvoll.²⁶⁶ Der Vorteil einer eindeutigen und vollständigen Klassifizierung liegt im Rahmen der betrieblichen Instandhaltung beim Auffinden und Bereitstellen der benötigten Ersatzteile vor Ort in der Anlage sowie beim Wiederbeschaffen für die Ersatzteilbevorratung und für das Verschrotten von nicht mehr benötigten Anlagen mit deren Ersatzteilen.

Zusätzlich zur oben geführten Diskussion ist die Möglichkeit der Verwendung eines branchenspezifischen oder eines unternehmensspezifischen Klassifizierungssystems zu berücksichtigen. Die Anforderung an die Klassifizierung hängt im großen Maße davon ab, ob die unternehmensspezifischen Produktstammdaten mit anderen Unternehmen in weitere Folge geteilt werden oder ob dieses ausschließlich innerhalb des Unternehmens

²⁶¹ Vgl. Biedermann, H. (2008), S. 133f.

²⁶² Vgl. SAP, https://help.sap.com/erp_hcm_ias_2013_01/helpdata/de/75/ee0af555c811d18990000e8322d00/content.htm (Zugriff: 09.08.2016). Biedermann, H. (2008), S. 136ff.; Liebstückel, K. (2014), S. 100ff.

²⁶³ Vgl. Freie Universität Berlin, http://www.fu-ber-lin.de/sites/eas/Projekte/CAFM/Ressourcen/150602_Anwenderhandbuch_Instandhaltung_V1_0.pdf (Zugriff: 09.08.2016). Technische Plätze sind ein organisatorisches Element der IH und repräsentieren den Ort, an dem eine IH-Maßnahme durchgeführt werden soll, haben eine hierarchische Struktur und bilden in der Regel ortsunveränderliche Objekte ab.

²⁶⁴ Vgl. Freie Universität Berlin, http://www.fu-ber-lin.de/sites/eas/Projekte/CAFM/Ressourcen/150602_Anwenderhandbuch_Instandhaltung_V1_0.pdf (Zugriff: 09.08.2016). Equipments sind eigenständig in Stand zu haltende Objekte, welche technischen Plätzen zugeordnet sein können.

²⁶⁵ Vgl. Freie Universität Berlin, http://www.fu-ber-lin.de/sites/eas/Projekte/CAFM/Ressourcen/150602_Anwenderhandbuch_Instandhaltung_V1_0.pdf (Zugriff: 09.08.2016). Eine IH-Stückliste ist ein vollständiges, formal aufgebautes Verzeichnis aller Komponenten, die zu einem technischen Objekt oder einer Baugruppe gehören.

²⁶⁶ Vgl. Biedermann, H. (2008), S. 133f.

zur Verfügung stehen soll. Dementsprechend gibt es hier zusätzlich die Unterscheidung zwischen betriebsinterner Klassifizierung und externer Klassifizierung.²⁶⁷

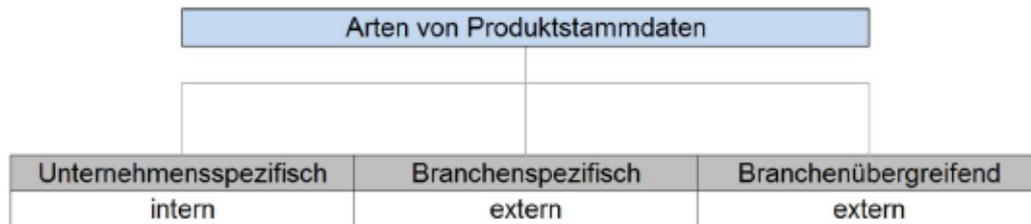


Abbildung 17: Kommunikation mit Produktstammdaten²⁶⁸

Nachfolgend wird der grundlegende Aufbau besprochen und anschließend werden beispielhaft weitere Klassifizierungsstandards vorgestellt. Im Hinblick auf Komplexitätsreduktion und -beherrschung ist es ratsam, so viele Datenstrukturen wie möglich zu harmonisieren.

3.4.3.1 Klassifikationssysteme

In diesem Abschnitt wird die grundlegende Systematik einer numerischen Klassifizierung beschrieben. An und für sich bedeutet der Begriff der Klassifikation, dass einer Gruppe von Phänomenen ein Begriff zugeordnet wird (Struktur und Gliederung). Wenn hierarchische Beziehungen zwischen den Begriffen bestehen, lassen sich diese in einer Klassifikationshierarchie ähnlich dem einer Ordnerstruktur anordnen.²⁶⁹ In der Materialwirtschaft werden Daten, die der Identifizierung und Charakterisierung von Materialien dienen, als Stammdaten (zustandsorientierte Daten, über einen längeren Zeitraum unverändert) bezeichnet.²⁷⁰ Unter Verwendung einer Nummer ist die Klassifikation eine Folge von Zeichen, deren Anzahl und Aufbau im Nummernsystem und Nummernplan festgelegt wird. Diese Nummer kann nach folgenden Kriterien aufgebaut sein, muss aber nach einmaliger Definition im System aufgrund der Datenkonsistenz der Stammdaten eingehalten werden.²⁷¹

- Numerisch (123456789)
- Alphanumerisch (AB1234)
- Alphamerisch (ABCDEF)

²⁶⁷ Vgl. Hepp, M. (2003), S. 10.; Beispielhaft ist in diesem Kontext eCl@ss oder UNSPSC, ein branchenübergreifender sprich universeller Klassifizierungsstandard, während GTIN vorwiegend im Konsumgüterhandel zum Einsatz kommt, oder ETIM, der als branchenspezifischer Klassifikationsstandard für den Elektrohändler dient.

²⁶⁸ Quelle: Dursun, S. (2013), S. 4.; Bei paralleler Verwendung von internen Produktstammdaten einerseits und branchenspezifischen Produktstammdaten andererseits existiert eine erhebliche Vielfalt an Daten, die wiederum Komplexität nach sich zieht. Vgl. Dursun, S. (2013), S. 7.

²⁶⁹ Vgl. Hepp, M. (2003), S. 15.

²⁷⁰ Vgl. Nebl, T., Prüß, H. (2006), S. 373.

²⁷¹ Biedermann, H. (2008), S. 133. Die Praxis zeigt laut Biedermann, dass dieses Prinzip nicht leicht einzuhalten ist, da von den unterschiedlichsten betrieblichen Stellen Nummernsysteme verwendet werden, die kaum – oder in vielen Fällen gar nicht – aufgrund der zu verschlüsselnden Informationsmenge bei der Klassifizierung berücksichtigt werden können.

Allgemein gelten folgende Kriterien, die bei der Verschlüsselung beachtet werden:²⁷²

- Das Verschlüsseln sollte ohne Probleme möglich sein.
- Die Nummer sollte so kurz wie möglich sein.
- Die Nummer muss immer identifizieren, sie kann auch klassifizieren.
- Die Kapazität des Systems muss auch zukünftige Entwicklungen abdecken.

Beispielhaft gemäß Abbildung 18 erfolgt die Klassifizierung folgendermaßen.

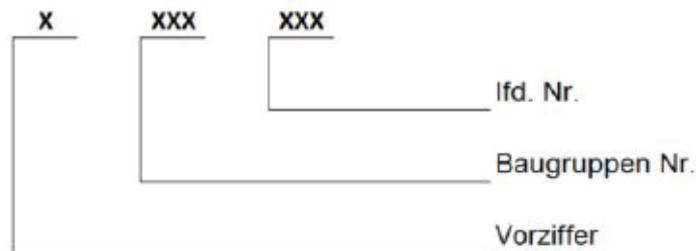


Abbildung 18: Aufbau Klassifizierungsnummer für die Ersatzteilcodifizierung²⁷³

Die Vorziffer dient für die Identifizierung der Baugruppe, dass es sich um ein Ersatzteil handelt. Die Baugruppen Nr. gibt die Baugruppe an, welcher das Ersatzteil zugeordnet ist. Die laufende Zählnummer beginnt mit der Nummer 001 und dient der additiven Erfassung, wie viele Ersatzteile es zur jeweiligen Baugruppe gibt.²⁷⁴

Im Rahmen dieser Arbeit werden drei Klassifikationsstandards näher erläutert und kurz vorgestellt. Gemäß den Ausführungen von Dursun bringt in der Praxis den größten Klassifizierungsaufwand immer die Überführung von bereits vorhandenen Stammdaten eines Unternehmens in eine Standardklassifizierung mit sich.²⁷⁵

3.4.3.2 NATO-Materialcodifizierung

Gemäß den Ausführungen von Biedermann handelt es sich hierbei um ein sehr umfassendes Güterklassifikationssystem, das sich aus einem Identifizierungssystem und der NATO-Versorgungsnummer zusammensetzt. Für jedes in den NATO-Staaten geführte Material existiert eine eindeutige NATO-Versorgungsnummer, die damit die Grundlage für eine effektive Versorgungskette und Interoperabilität innerhalb der NATO-Mitgliedstaaten schafft.

²⁷² Biedermann, H. (2008), S. 134. Die Möglichkeiten, die sich durch die Klassifizierung ergeben, sind gemäß Biedermann identifizieren, klassifizieren, systematisch oder systemlos verschlüsseln, hierarchisch numerisch oder alphanumerisch verschlüsseln.

²⁷³ Quelle: Biedermann, H. (2008), S. 135.

²⁷⁴ Vgl. Biedermann, H. (2008), S. 135f.

²⁷⁵ Vgl. Dursun, S. (2013), S. 50 und S. 53.

Jede NATO-Versorgungsnummer besteht aus einem 13-stelligen sprechenden Code, der in drei Teile gegliedert ist und die Materialien nach einem vorgegebenen Schema charakterisiert.²⁷⁶

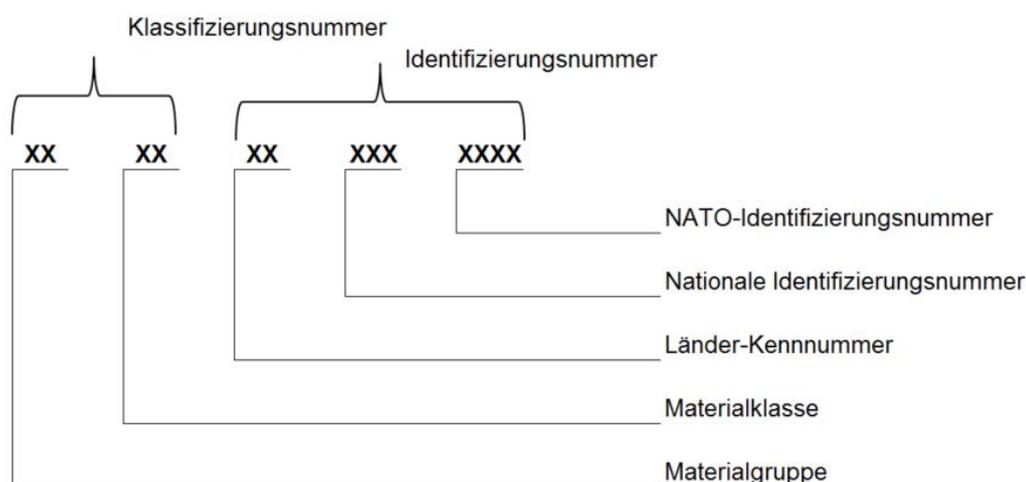


Abbildung 19: Klassifikationsaufbau der NATO-Versorgungsnummer²⁷⁷

Abbildung 19 zeigt den theoretischen Aufbau des Ordnungssystems. Die ersten vier Ziffern stellen die Klassifizierungsnummer dar. Dabei stehen die ersten beiden Ziffern für die Materialgruppe, die Materialien mit den gleichen physischen oder funktionalen Eigenschaften zusammenfasst. Die dritte und vierte Ziffer kennzeichnen die Materialklasse zur weiteren Unterscheidung innerhalb einer Materialgruppe. Aus der Identifizierungsnummer bilden die ersten beiden Ziffern die Länderkennnummer. Die nächsten sieben Ziffern bilden die Zählnummer des Materials.²⁷⁸

3.4.3.3 eCl@ss

eCl@ss ist ein branchenübergreifender Produktstandard für die Klassifizierung und eindeutige Beschreibung von Materialien, Produkten und Dienstleistungen. Die Version eCl@ss 8.1 deckt mit seinen 39000 Produktklassen und 16000 Merkmalen einen Großteil der gehandelten Waren und Dienstleistungen ab.²⁷⁹ Somit ist eCl@ss ein universelles Klassifikationssystem. Die Limitierung von universellen Klassifikationssystemen im Vergleich zu branchenspezifischen Klassifikationssystemen liegt im Detaillierungsgrad und in der Verfügbarkeit aller in der Praxis benötigten Sachgebiete und Gruppen, in denen Materialien und Dienstleistungen verwendet werden.

²⁷⁶ Vgl. Biedermann, H. (2008), S. 136.; SAP (2014), S. 3f.

²⁷⁷ Quelle: Biedermann, H. (2008), S. 136.; SAP (2014), S. 3f.

²⁷⁸ Vgl. SAP (2014), S. 3f.

²⁷⁹ Vgl. eCl@ss, <http://www.eclass.de/eclasscontet/standard/overview.html.de> (Zugriff: 24.10.2014).; Dursun, S. (2013), S. 52. ; Prozeus, http://www.prozeus.de/prozeus/daten/broschueren/standards/prozeus_doc02258.htm (Zugriff: 19.11.2014).

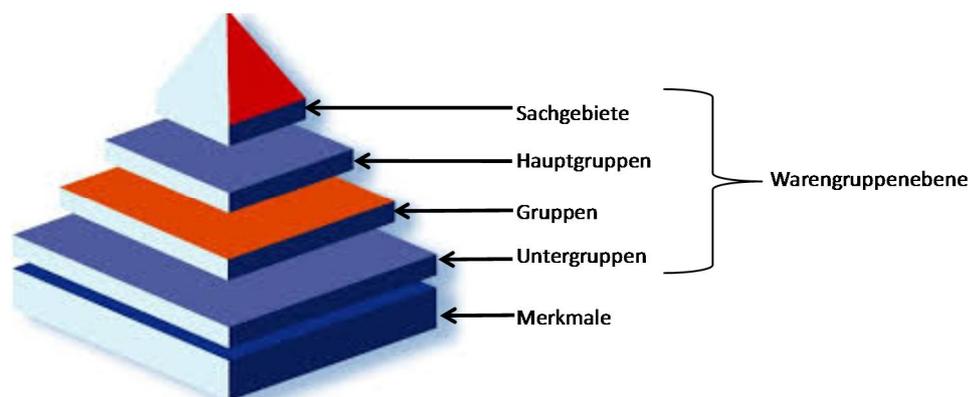


Abbildung 20: Gliederung und Aufbau von eCl@ss²⁸⁰

eCl@ss ist in einer Klassenstruktur (Abbildung 20, Abbildung 21) aufgebaut und besteht aus vier hierarchischen Produktklassen, wobei die übergeordnete Klasse ihre untergeordnete Klasse umfasst. Gemäß dieser Konfiguration besitzt eCl@ss einen vierstufigen Klassifikationsschlüssel. In der vierten Ebene (Untergruppe) stellt eCl@ss zusätzlich eine Merkmalleiste zur Verfügung. Diese ermöglichen die detaillierte Beschreibung von Materialien, Produkten und Dienstleistungen und somit eine vereinfachte Suche in den verschiedenen Klassen. Die Merkmale werden durch Werte definiert. Angehängte Schlagwörter und Synonyme dienen dem schnellen und zielgerechten Auffinden der Produktklassen und ihrer Merkmalleisten.²⁸¹

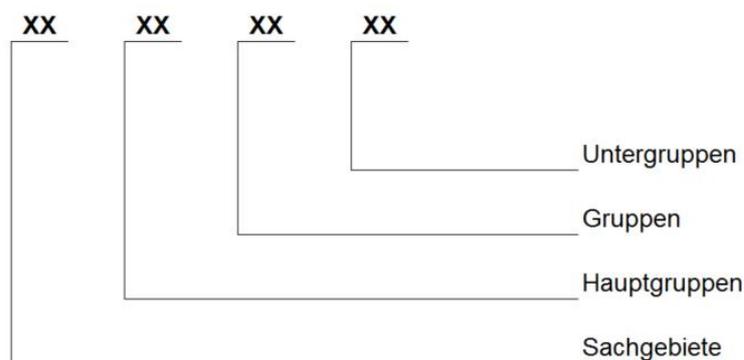


Abbildung 21: Klassifikationsaufbau der Produktklassen von eCl@ss²⁸²

3.4.3.4 UNSPSC

Der United Nations Standards Products and Service Code (UNSPSC) ist ein branchenübergreifender Produktstandard zur Klassifizierung von Waren und Dienstleistungen.

²⁸⁰ Vgl. eCl@ss, http://www.eclasscontet.com/index.php?id=14020104&version=8_1&language=de (Zugriff: 24.10.2014).; Dursun, S. (2013), S. 54.

²⁸¹ Vgl. eCl@ss, http://www.eclasscontet.com/index.php?id=14020104&version=8_1&language=de (Zugriff: 24.10.2014).; Dursun, S. (2013), S. 54.; Stoll, P. P. (2007), S. 96.; Hepp, M. (2003), S. 147ff.

²⁸² Vgl. eCl@ss, http://www.eclasscontet.com/index.php?id=14020104&version=8_1&language=de (Zugriff: 24.10.2014).

Aufgebaut ist dieser mittels einer acht bzw. zehnstelligen Codenummer, hierarchisch konstruiert mittels fünf Stufen (siehe Abbildung 22 und Abbildung 23).²⁸³

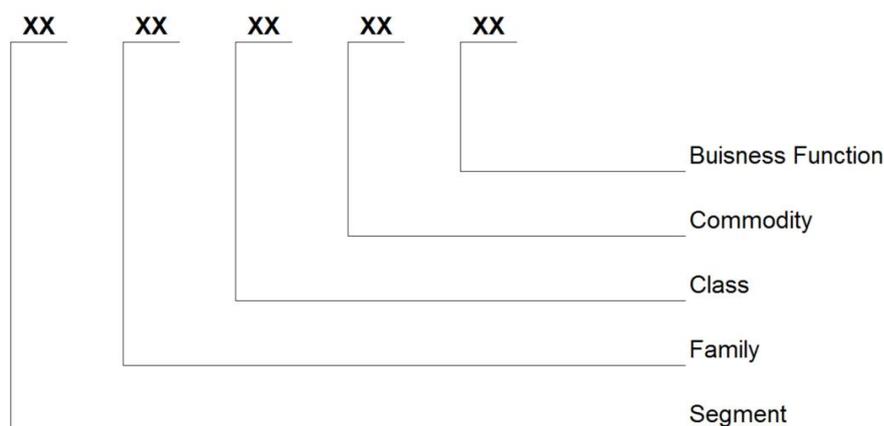


Abbildung 22: Klassifikationsaufbau der Produktklassen von UNSPSC²⁸⁴

Analog zu eCl@ss existieren im UNSPSC in oberster Hierarchie die sogenannten Segmente als Klassen für fünf Hauptgruppen.



Abbildung 23: Gliederung und Aufbau der UNSPSC Segmente²⁸⁵

Die darunterliegenden Klassen wie Family, Class und Commodity sind ebenfalls standardisiert, ausgenommen davon ist die unterste Ebene mit der Bezeichnung Business function, die eine Angabe der Geschäftsfunktion widerspiegelt (z.B. Weiterverkauf, Leasing). In dieser Konfiguration sind ca. 20000 Waren und Dienstleistungen standardisiert erfasst.²⁸⁶

3.4.4 Artikelidentifikationssysteme im Materialfluss

Im Anschluss an die Erörterung zur Klassifikation von Ersatzteilen werden im Folgenden Techniken und Systeme der automatischen Identifikation von Ersatzteilen im Materialfluss besprochen. Ein Identifikationssystem erkennt dabei den jeweiligen Artikel im Materialfluss mittels Informationsträger bzw. Sensoren unter Einbeziehung von Datenverarbeitungsgeräten.²⁸⁷ Die elektronische Datenerfassung (Auto-Identification) vereinfacht und beschleunigt wiederkehrende Arbeitsabläufe zum Thema Artikelidentifikation für das Materialmanagement erheblich. Dabei existiert eine Vielzahl von unterschiedlichen

²⁸³ Vgl. Dursun, S. (2013), S. 55.; UNSPSC, <http://www.unspsc.org/> (Zugriff: 18.11.2014).; Stoll, P. P. (2007), S. 94.; Prozeus, http://www.prozeus.de/prozeus/daten/broschueren/standards/prozeus_doc02258.htm (Zugriff: 19.11.2014).

²⁸⁴ Quelle: Dursun, S. (2013), S. 56.

²⁸⁵ Vgl. UNSPSC, <http://www.unspsc.org/education> (Zugriff: 18.11.2014).

²⁸⁶ Vgl. UNSPSC, <http://www.unspsc.org/education> (Zugriff: 18.11.2014).; Dursun, S. (2013), S. 55.; Stoll, P. P. (2007), S. 94.; Hepp, M. (2003), S. 158ff.

²⁸⁷ Vgl. Martin, H. (2006), S. 461.

Technologien, die zur Identifizierung von Personen und Artikeln im Allgemeinen herangezogen werden können.²⁸⁸ Gerade die operative Administration im Ersatzteillager ist besonders kritisch, z.B. Wareneingangs- und Warenausgangsbuchungen, Lagerplatzzuweisung und rasches Auffinden von benötigten Ersatzteilen im Bedarfsfall, um einen drohenden Anlagenstillstand rasch zu verhindern oder wieder zu beenden.²⁸⁹

- Mechanische Informationsträger wie Lochstreifen, Stifte und Blechfahnen sind günstig in der Anschaffung, robust und einfach zu handhaben. Jedoch besitzen sie nur ein geringes Informationsvolumen und können nur einmal beschrieben werden. Gelesen werden sie mit Hilfe von mechanischen oder induktiven Elementen sowie mittels Lichtschranke.²⁹⁰
- Magnetische Informationsträger, wie Magnetstreifen und Magnetkarten, nutzen magnetische Felder zur Speicherung von Informationen. Diese werden berührungslos über Magnetkontakte bzw. Reedkontakte ausgelesen. Magnetische Informationsträger zeichnen sich durch ein hohes Datenvolumen, Unempfindlichkeit gegenüber Verschmutzung und geringer Abtastentfernung aus.²⁹¹
- Optische/elektronische Informationsträger benutzen Markierungen am Artikel/Transportgut oder dessen Umrisse und werden mittels Lesestift, Laserscanner oder CCD-Kamera gelesen.²⁹²
- Elektronische/elektromagnetische Informationsträger sind aktuell die vorherrschende Technologie der Artikelidentifikationstechnik. In dieser übertragen elektromagnetische Wellen die Informationen in elektronische Speicher.²⁹³

²⁸⁸ Vgl. Zsifkovits, H. E. (2012), S. 278f.

²⁸⁹ Vgl. Piller, E. (2006), S. 76f. Strasser, Szukitsch postulieren noch die Verwendung von mobilen Lesegeräten im Zusammenhang mit dem unbesetzten Ersatzteillager. In diesem Fall entnimmt der Bedarfsträger das benötigte Ersatzteil selbst aus dem Lager und führt mittels Barcode eigenständig eine Entnahmebuchung durch. Vgl. Strasser, C., Szukitsch, F. (2006) S. 91f.

²⁹⁰ Vgl. Martin, H. (2006), S. 461.

²⁹¹ Vgl. Martin, H. (2006), S. 461.

²⁹² Vgl. Martin, H. (2006), S. 461.

²⁹³ Vgl. Martin, H. (2006), S. 461.

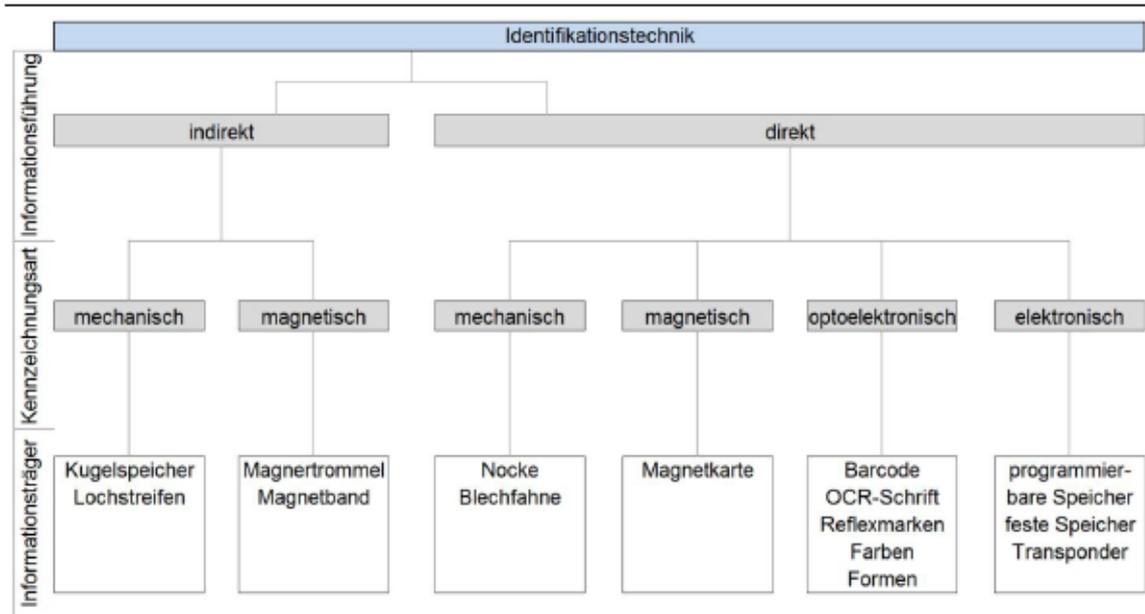


Abbildung 24: Grundstruktur der Identifikationstechnik²⁹⁴

Die Wahl der entsprechenden Artikelkennzeichnungsart ist abhängig von den jeweiligen Aufgaben und Anwendungsfälle im Rahmen des Betriebs logistischer Systeme, und führt zu einem differenzierten Anforderungskatalog an die Identifikationstechnik (siehe Abbildung 24).²⁹⁵

- Die Gewährleistung der Lesesicherheit unter den gegebenen Betriebsbedingungen
- Eine ausreichende Lesegeschwindigkeit für vorhandene und möglicherweise geplante Fördertechniken
- Die Möglichkeit zur Bildung ausreichender Mengen an Identifikationsmarken
- Ein an die Bedingungen adaptierbarer Leseabstand
- Die Sicherstellung der Kompatibilität mit anderen Teilnehmern der Supply Chain
- Die Kosteneffizienz (Kosten vs. Nutzen) für die Artikelidentifikationssysteme und die dazugehörigen Betriebsmittel

Im speziellen Anwendungsfall der Ersatzteillogistik dient die Identifikationstechnik in der Materialwirtschaft dazu, um Standortidentifikationen und/oder Betriebsidentifikation und/oder Artikelidentifikation einheitlich standardisiert durchzuführen. Ziel hierbei ist es Artikel, eindeutig in automatisierten logistischen Ketten zu identifizieren, sprich Rationalisierung durch automatisierte Datenerfassung und Datenhaltung.²⁹⁶ Im Kontext der Ersatzteilwirtschaft bedeutet die Artikelidentifikation die eindeutige Kennzeichnung der Ersatzteile und die Automatisierung von Buchungsschritten bei der Wareneingangs- und Warenausgangsbuchung.

Allgemeine Vorteile der automatischen Identifikation sind:²⁹⁷

²⁹⁴ Quelle: Martin, H. (2006), S. 461.

²⁹⁵ Vgl. Büchter, H. et al. (2008), S. 9ff.

²⁹⁶ Vgl. Dursun, S. (2013), S. 30.; Prozeus, http://www.prozeus.de/prozeus/daten/broschueren/standards/prozeus_doc03051.htm (Zugriff: 19.11.2014).; Stoll, P. P. (2007), S. 89f.

²⁹⁷ Vgl. Zsifkovits, H. E. (2012), S. 279f.

- Effiziente Erfassung des Artikels
- Erhöhte Sicherheit der Datenerfassung (Vermeidung von Eingabefehlern durch User)
- Erleichterung für den Warenverkehr, die Transportplanung
- Automatisierbare Lagerhaltung
- Transparente, weltweite Standardisierung

Für eine mögliche Artikelbezeichnung in der Ersatzteillistik mithilfe einer Identifikationsnummer besteht, wie in Abbildung 25 dargestellt, die Unterteilung zwischen grafischer Codierung, Klartext-Codierung und elektronischer Codierung, welche im Folgenden diskutiert werden.



Abbildung 25: Möglichkeiten der Identifikationsnummerncodierung²⁹⁸

3.4.4.1 Grafische Identifikationsnummerncodierung

Hierbei erfolgt zum einen eine Kennzeichnung der Waren mittels einer Nummer aus einem Standardidentifikationssystem, wie z.B. für Produkt-/Warenidentifikation die Global Trade Item Number (GTIN) bzw. die European Article Number (EAN) oder der Universal Product Code (UPC).²⁹⁹

Parallel zum System des standardisierten Identifikationssystems besteht zum anderen auch das System der benutzerspezifischen Handelsstrichcodes, welche kein Bestandteil des Identifikationsstandards sind. Vielmehr dient der Handelsstrichcode dazu, Artikelnummern, wie z.B. Materialnummern, maschinenlesbar darzustellen, um damit wiederum Artikel eindeutig in automatisierten logistischen Ketten, wie z.B. in der Fördertechnik, zu identifizieren.³⁰⁰

Da diese Identifikationsnummern in Form eines Barcodes nicht sprechend sind, können diese mithilfe optischer Lesegeräte erfasst und in Form von binären Symbolen in der Informationstechnologie weiterverarbeitet werden. Es erfolgt ein sogenanntes grafisches

²⁹⁸ Quelle: Dursun, S. (2013), S. 40. Es bietet sich jedoch in der Praxis immer die Möglichkeit an, jede der drei Möglichkeiten zur Identifikationsnummerncodierungen zu verwenden, auch wenn kein standardisiertes Identifikationssystem sondern stattdessen benutzerspezifische Handelsstrichcodes verwendet werden.

²⁹⁹ Vgl. Dursun, S. (2013), S. 39f.; GTIN, <http://www.gs1.at/gs1-leistungen-a-standards/gs1-id-nummern/gtin> (Zugriff: 19.11.2014); EAN, <http://www.gs1.at/gs1-leistungen-a-standards/gs1-barcodes/gtin-ean-symbol> (Zugriff: 19.11.2014); GS1, <http://www.gs1.at/wir-ueber-uns> (Zugriff: 19.11.2014); UPC, <http://www.gs1.at/gs1-leistungen-a-standards/gs1-barcodes/gtin-ean-symbol> (Zugriff: 19.11.2014); Prozeus, http://www.prozeus.de/prozeus/daten/broschueren/standards/prozeus_doc03051.htm (Zugriff: 19.11.2014).

³⁰⁰ Vgl. Dursun, S. (2013), S. 39ff.

Umcodieren der Artikelidentifikationsnummer, welche auf den Artikel mittels Etikett direkt aufgebracht wird.³⁰¹

1D-Code³⁰²: Als Barcode, Balkencode oder Strichcode wird eine optoelektronisch lesbare eindimensionale Schrift bezeichnet (siehe Abbildung 26), welche aus aneinander gereihten, vertikalen, parallelen Strichen mit unterschiedlichen Strichbreiten und Zwischenräumen besteht. Die Striche sind nach einem bestimmten Muster angeordnet, die Kombination aus mehreren Strichen ein bestimmtes Zeichen ergibt. Diese Zeichen sind in Symbole (Start/Stop, Prüfzeichen) und Inhalt (Semantik) zu unterteilen.³⁰³ Die Codierung einer Information wird durch unterschiedlich breite Striche (Modulbreite) und/oder Zwischenräume erreicht. Dabei werden sowohl die Striche als auch die Zwischenräume als Informationsträger benutzt.³⁰⁴

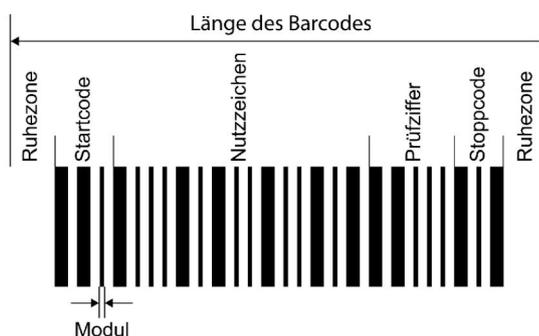


Abbildung 26: Allgemeiner Aufbau des Strichcodes³⁰⁵

Die Ruhezone ist für das fehlerfreie Erkennen des Codes zuständig. Ohne diese Ruhezone könnten Flächen und Zeichen, die den Barcode umgeben, vom Barcodelesegerät fehlinterpretiert werden.³⁰⁶

Für das Ersatzteilmanagement bedeutet dies, dass der Strichcode (Barcode) am Ersatzteil befestigt wird und mittels Scanner gelesen wird. Der Nachteil des Strichcodes besteht darin, dass die einmal codierte Information, welche am Ersatzteil aufgebracht sind, nicht dynamisch verändert werden kann und Barcodeklebeetiketten relativ leicht verschmutzen und/oder beschädigt werden können, was fehlerhaftes Auslesen der codierten Information zur Folge haben kann oder das Auslesen überhaupt unmöglich macht.³⁰⁷

Grundlegend existieren verschiedene Barcodesysteme, welche unterschiedliche Kriterien (Dimensionen) erfüllen, und sie werden mittels dieser Kriterien in Barcodefamilien geclustert. Vor der Entscheidung für einen bestimmten Barcodetyp, eine Drucktechnolo-

³⁰¹ Vgl. Dursun, S. (2013), S. 40.

³⁰² Das Kürzel 1D stellt die Abkürzung für „eindimensional“ als Angabe einer geometrischen Dimension dar. Bächter, H. et al. (2008), S. 21.

³⁰³ Vgl. Zsifkovits, H. E. (2012). S. 279ff.

³⁰⁴ Vgl. Martin, H. (2006), S. 462f.

³⁰⁵ Quelle: Bächter, H. et al. (2008), S. 23.

³⁰⁶ Vgl. Bächter, H. et al. (2008), S. 22.

³⁰⁷ Vgl. Biedermann, H. (2008), S. 128.

gie und den Anbringungsort ist zu klären, welche Informationen der Code tragen soll. Nachfolgend werden einige der gängigsten Barcodes kurz diskutiert.³⁰⁸

Der Aufbau von 1D-Code Strichcodestandarddarstellungen ist auszugsweise im folgenden Beispiel der standardisierten EAN-13 und UPC Identifikationsnummerncodierung sowie für Code 2 aus 5 und Code 128 dargestellt.³⁰⁹

- EAN-13 (siehe Tabelle 9) besteht aus 13 Stellen, davon eine Prüfziffer, und findet hauptsächlich im Handel Verwendung.

Tabelle 9: Aufbau der European Article Number³¹⁰

EAN	STELLE	FUNKTION
	•1-2	•Länderkennzeichnung
	•3-7	•Hersteller des Produktes
	•8-12	•Artikelnummer vom Hersteller vergeben
	•13	•Prüfziffer

- UPC – Barcode (siehe Tabelle 10) besteht aus 12 Stellen, davon eine Prüfziffer, setzt sich wie folgt zusammen und ist ebenfalls hauptsächlich im Handel in Verwendung.

Tabelle 10: Aufbau des Universal Product Codes³¹¹

UPC	STELLE	FUNKTION
	•1	•Präfix Code
	•2-6	•Hersteller des Produktes
	•7-11	•Artikelnummer vom Hersteller vergeben
	•12	•Prüfziffer

- Code 128 ist ein alphanumerischer Strichcode (siehe Abbildung 27), der 128 ASCII-Zeichen darstellen kann, und vorwiegend in der Industrie in Verwendung.³¹² Mit dem Code 128 sind 128 ASCII-Zeichen sowie vier Steuer- und vier Sonderzeichen darstellbar. Die Verwendung einer Prüfziffer ist vorgeschrieben. Ein Zeichen des Codes 128 setzt sich aus 11 Modulen, nämlich drei Strichen und drei Lücken, zusammen. Ausnahme ist das Stoppsymbol, das sich aus 13 Modulen zusammensetzt. Die Codelänge ist variabel. Und der Code 128 setzt sich aus drei unter-

³⁰⁸ Vgl. Büchter, H. et al. (2008), S. 24.

³⁰⁹ Laut den Ausführungen von Dursun wird der EAN-Code seit 2009 als GTIN bezeichnet bzw. ist auch UPC in GTIN integriert. Diese am weitesten verbreiteten Handelsstrichcodes werden von Global Standards One (GS1) verwaltet. Dies ist eine weltweite Organisation, welche globale Standards zur Verbesserung von Wertschöpfungsketten generiert sowie weltweit für die Vergabe der Global Trade Item Number (GTIN) zuständig ist. GS1 als Organisation ist im Bereich Konsumgüter etabliert und ist dementsprechend vom Aufgabengebiet vergleichbar mit Odetta für die Automobilindustrie oder EDIFICE für die Elektronikindustrie bzw. HIBC für die Pharmaindustrie. Vgl. GS1, <http://www.gs1.at/wir-ueber-uns> (Zugriff: 19.11.2014).

³¹⁰ Quelle: Stoll, P. P. (2007), S. 91. Gemäß der Arbeit von Stoll wurde der UPC-Code in das EAN-System integriert und seit 2005 sind die EAN 13 Nummern auch in Nordamerika gültig.

³¹¹ Quelle: Stoll, P. P. (2007), S. 90.

³¹² Vgl. Dursun, S. (2013), S. 43.

schiedliche Zeichensätzen/Ebenen (A, B und C) zusammen. Direkt mit dem Startzeichen wird angegeben, um welche der drei Ebenen es sich handelt.³¹³

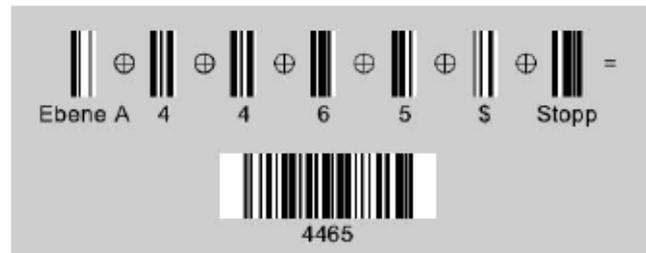


Abbildung 27: Zeichensequenz „sinus“ im Code 128³¹⁴

- Code 2 aus 5 ist ein numerischer Code (siehe Abbildung 28), der eine einfache grafische Binärabbildung darstellt. Mittels zweier verschieden breiter Striche (schmäler Strich = 0, breiter Strich = 1) werden Ziffern binär codiert, wobei immer fünf Striche, zwei breite und drei schmale, eine Ziffer bilden. Der Barcode hat ein definiertes Start- und Stoppzeichen.³¹⁵



Abbildung 28: Ziffernfolge 4465 im Code 2 aus 5³¹⁶

Ein simpler Vergleich zwischen den unterschiedlichsten 1D Codes kann nicht einfach durchgeführt werden, da diese jeweils für unterschiedliche Einsatzzwecke entwickelt wurden. Dennoch zeigt Abbildung 29 einige Vergleichskriterien der unterschiedlichen Codes.³¹⁷

³¹³ Vgl. Büchter, H. et al. (2008), S. 50ff.

³¹⁴ Quelle: Büchter, H. et al. (2008), S. 50.

³¹⁵ Vgl. Büchter, H. et al. (2008), S. 25ff.

³¹⁶ Quelle: Büchter, H. et al. (2008), S. 27.

³¹⁷ Vgl. Büchter, H. et al. (2008), S. 56f.

	Länge einer 13-Zeichen Codierung	Länge einer 6-Zeichen- Codierung	alphanumerisch	Kleinbuchstaben	Mehrbreitencode	Fehlertoleranz	Prüfzifferpflicht	fortlaufend	Informationsdichte
Code 2/5	96,30mm	52,14mm	-	-	-	↗	-	-	↘
Code 2/5 interl.	51,15mm	27,39mm	-	-	-	↘	-	✓	↗
Code 39	80,85mm	46,20mm	✓	-	-	→	✓	-	→
EAN 13	37,29mm	37,29mm	-	-	✓	↗	✓	✓	↗
Code 128 Ebene A	61,71mm	36,30mm	✓	✓	✓	↗	✓	✓	→
Code 128 Ebene C	43,56mm	25,41mm	-	-	✓	→	✓	✓	↗

Abbildung 29: 1D-Barcodes im Vergleich³¹⁸

2D-Code: Der 2D-Code ist eine zweidimensionale optoelektronisch lesbare Schrift, die Informationen auch senkrecht zur Hauptausrichtung kodiert und aufgrund der Mehrdimensionalität eine größere Datenmenge aufnehmen kann als ein Strichcode. Die verbreitetsten Arten von 2D-Codes sind Stacked Bar, Data Matrix und Quick Response Code (QR-Code).³¹⁹

- Stacked Bar (Gestapelte Codes): Gestapelte Codes enthalten codierte Daten in auf mehrere Zeilen verteilten Strichcodes und stellen so bis zu 2000 Zeichen dar.
- Matrix Code: Daten werden innerhalb einer Matrix aus Blöcken gleichmäßig kodiert und stellen so bis zu max. 2335 ASCII Zeichen bzw. 3116 Ziffern dar.
- QR-Code: Der QR-Code kann bis zu 7089 Ziffern oder 4296 alphanumerische Zeichen abbilden (siehe Abbildung 30).

Abbildung 30: QR-Code vom Typ mit Text „Hochregallager_RBG_Kommissionierzone“³²⁰

³¹⁸ Quelle: Büchter, H. et al. (2008), S. 57. In Abbildung 32 bedeutet der nach oben gerichtete Pfeil „gut“, der horizontale Pfeil „durchschnittlich“ und der nach unten gerichtete Pfeil „schlecht“. Das Symbol des Häkchens bedeutet „Ja“ und das Minus Zeichen bedeutet „Nein“.

³¹⁹ Vgl. Dursun, S. (2013), S. 43ff.; Zsifkovits, H. E. (2012), S. 282ff.

³²⁰ Quelle: Büchter, H. et al. (2008), S. 83.

3D-Codes und 4D-Codes: Bei dreidimensionalen Codes kommt als zusätzliche dritte Dimension Farbe hinzu, was wiederum die Speichermöglichkeiten erweitert. Der Code kann dabei aus farbigen Punkten oder aus farbigen Dreiecken bestehen, die zu einem Quadrat zusammengesetzt werden. Dabei wird meistens mit vier oder acht Farben gearbeitet. Vierdimensionale Barcodes sind farbige Barcodes, die zeitlichen Variationen unterworfen sind und somit ein elektronisches Display zur Darstellung benötigen. Diese zeitliche Veränderlichkeit hat den Vorteil, in den jeweiligen Layern unterschiedliche Informationen zu speichern und die Speicherkapazität gegenüber den dreidimensionalen Barcodes nochmals zu erhöhen. Aktuell haben sich aufgrund der Aktualität der Technologie noch keine Standards herauskristallisiert.³²¹

Lesegeräte: Bei der Verwendung von Barcodes unterscheiden sich die Lesegeräte für die eindimensionale Darstellung von denen der mehrdimensionalen Darstellung. Für 1D-Barcodes kommen einerseits Abtastgeräte zum Einsatz, welche Licht mithilfe einer Leuchtdiode in einer bestimmten Wellenlänge aussenden, und zum anderen jene, die einen Laserstrahl verwenden, wo aufgrund der entstehenden Reflexionen und Absorptionen am Barcodemuster (Dunkle Balken und helle Zwischenräume) ein Muster entsteht, welches mittels Übersetzungsalgorithmus in eine Folge von binären Symbolen durch das Lesegerät umgerechnet wird. Für mehrdimensionale Barcodes kommen Kameras, sogenannte „Imager“, zum Einsatz. Diese extrahieren mithilfe der optischen Mustererkennung über einen Rechenalgorithmus wiederum die hinterlegten Daten (siehe Abbildung 31).³²²

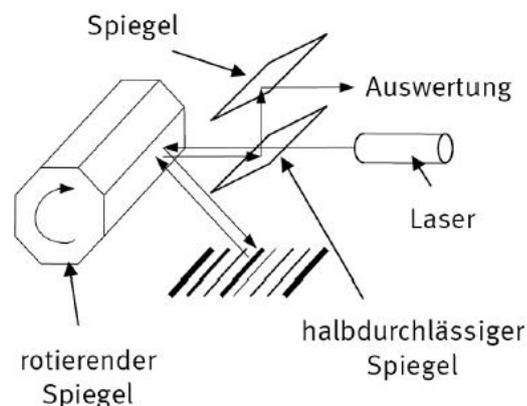


Abbildung 31: Prinzip des Barcodescanners mit rotierendem Polygonspiegel³²³

3.4.4.2 Klartext

Der Begriff Klartext oder auch Klarschrift beschreibt eine Menge von Zeichen, die für den Menschen direkt lesbar und nicht in irgendeiner Form codiert dargestellt sind. Jedoch erfolgt dabei eine Interaktion zwischen Mensch und Maschine. Die Klarschrifterkennung ist auch unter dem Begriff Optical Character Recognition (OCR) bekannt.³²⁴ Mittels Mustererkennung wird in mehreren, aufeinander folgenden Schritten versucht ein Ergebnis

³²¹ Vgl. Zsifkovits, H. E. (2012), S. 283f.

³²² Vgl. Zsifkovits, H. E. (2012), S. 284f.; Pawellek, P. (2013), S. 100.

³²³ Quelle: Büchter, H. et al. (2008), S. 93.

³²⁴ Vgl. Büchter, H. et al. (2008), S. 17f.; Dursun, S. (2013), S. 40.; Zsifkovits, H. E. (2012), S. 279.

zu finden. Für die Klarschrifterkennung liefert die Mustererkennung keine absoluten Ergebnisse sondern ausschließlich Wahrscheinlichkeiten für bestimmte Buchstaben. Die Intelligent Character Recognition (ICR) überprüft hierbei die Plausibilität der Ergebnisse aus der Mustererkennung kontextsensitiv mithilfe von allgemeinen linguistischen Grundlagen, Grammatiken und Wörterbüchern und korrigiert die Ergebnisse gegebenenfalls. Hierin ist auch der Umstand begründet, dass für die Klartexterkennung nur bestimmte Buchstaben, Ziffern und Zeichen verwendet werden können.³²⁵ Abbildung 32 und Abbildung 33 zeigen die OCR-Schrift, die in zwei Typen unterteilt ist. Bei OCR-B ist neben dem Darstellungsinhalt noch die geringere Stilisierung der Schrift und die gewöhnlichere Schreibweise hervorzuheben.

123456890

Abbildung 32: Klartextschriftprobe OCR-A³²⁶

OCRB123456890

Abbildung 33: Klartextschriftprobe OCR-B³²⁷

3.4.4.3 Elektronischer Code

Die Radio Frequency Identification (RFID) ermöglicht die berührungslose automatische Identifizierung und Lokalisierung von Objekten, die mit Transpondern ausgestattet sind, mit elektromagnetischen Wellen. Bei RFID werden die Informationen/Daten direkt am RFID-Transponder/RFID-Tag abgespeichert und mittels Radiofrequenz von einem Lesegerät ausgelesen (siehe Abbildung 34).³²⁸



Abbildung 34: Aufbau eines RFID Transpondersystems³²⁹

³²⁵ Vgl. Büchter, H. et al. (2008), S. 17ff.

³²⁶ Quelle: Büchter, H. et al. (2008), S. 20. DIN –EN 14603 definiert den Zeichensatz und legt die Gestalt der gedruckten Zeichen fest. Der Zeichensatz OCR-A besteht aus 26 Großbuchstaben, 10 Ziffern und insgesamt 13 Zeichen.

³²⁷ Quelle: Büchter, H. et al. (2008), S. 20. DIN –EN 14603 definiert den Zeichensatz und legt die Gestalt der gedruckten Zeichen fest. Der Zeichensatz OCR-B enthält neben den Zeichen von OCR-A auch noch die Kleinbuchstaben.

³²⁸ Vgl. Günthner, W. A. (2006), S. 242. Der engl. Begriff „Tag“ hat sich zur Bezeichnung einer applizierbaren und über Funk auslesbaren Informationseinheit durchgesetzt. Das applizieren der Tags wird als Tagging bezeichnet. Vgl. Hompel, M. ten. (2006), S. 268.

³²⁹ Quelle: Martin, H. (2006), S. 467.

Transponder können im Gegensatz zu Barcodes auch erneut mit Daten beschrieben werden. Werden Transponder in Verbindung mit Sensorik gebracht, können sie Umgebungszustände aufzeichnen und protokollieren, wie z.B. Umgebungstemperatur, Schwingungsfrequenzen, etc. und somit als kleine autonome Einheiten arbeiten. Diese RFID-Transpondersysteme sind elektronische Bauteile, die je nach Bedarf als aktive, semiaktive oder passive Bauteile ausgeführt sind und in diversen Bauformen, wie Etikette, Scheibe, Schraube, Plättchen, etc. angeboten werden. Der Vorteil des RFID liegt darin, dass neben der Speicher- und Aktualisierungsfähigkeit in Bezug auf die Informationen, die Position des RFID-Transponders zur Leseeinrichtung unerheblich ist, da es aufgrund der drahtlosen Datenübertragung weder Sichtkontakt noch etwaiger Berührung bedarf.³³⁰

- Passive Transponder benötigen keine eigene Stromversorgung, sie beziehen ihre benötigte Energie mittels elektromagnetischer Induktion aus dem Feld der Schreib-/Leseinheit. Aufgrund der Abhängigkeit von der Feldstärke der Schreib-/Leseinheit funktionieren passive Transponder nur auf kurze Distanzen. Sie sind jedoch von der Bauform her äußerst klein und kostengünstig.³³¹
- Aktive Transponder besitzen eine eigene Stromversorgung (meist in Form einer Batterie), was wiederum die Verwendung von zusätzlichen Funktionalitäten, wie z.B. Sensorik, ermöglicht und einen größeren Kommunikationsradius erlaubt.³³²
- Semiaktive Transponder besitzen eine eigene Stromversorgung (meist in Form einer Batterie), welche aber nur für die Datenübertragung oder Datenspeicherung verwendet wird.³³³

Gemäß den Ausführungen von Pawellek gewinnt die RFID-Technologie für das Ersatzteilmanagement zunehmend in folgenden Anwendungsgebieten an Bedeutung:³³⁴

- Steuerung der Ersatzteillogistik
- Ersatz von Barcodes in stark verschmutzter Umgebung
- Verfolgung und Dokumentation von Bauteilen in der Anlage/Betrieb
- Planung, Überwachung und Optimierung des Werkzeugeinsatzes
- Abfrage gesicherter und jederzeit aktueller Daten und Informationen betreffend die verwendeten Bauteile direkt vor Ort in der Anlage

³³⁰ Vgl. Dursun, S. (2013), S. 40.; Biedermann, H. (2008), S. 128.; Zsifkovits, H. E. (2012), S. 284f.; Pawellek, P. (2013), S. 101.

³³¹ Vgl. Zsifkovits, H. E. (2012), S. 285ff.

³³² Vgl. Zsifkovits, H. E. (2012), S. 285ff.

³³³ Vgl. Zsifkovits, H. E. (2012), S. 285ff.

³³⁴ Vgl. Pawellek, P. (2013), S. 106ff.

Tabelle 11: RFID-Merkmale und Ausprägungsformen³³⁵

MERKMAL	AUSPRÄGUNG
Betriebsart	<ul style="list-style-type: none"> •Aktiv: Transponder mit Integrierter Energieversorgung •Passiv: Transponder wird durch das Feld des RFID-readers aktiviert •Semiaktiv: Transponder mit Integrierter Energieversorgung jedoch nur für Teilfunktionen
Speicherkapazität	<ul style="list-style-type: none"> •1 Bit: Elektronische Artikelsicherung •n Bit (mehr als 100kByte) •Organisation
Speicherzugriff	<ul style="list-style-type: none"> •Read Only: Daten am Transponder können nur ausgelesen werden •Read/Write: Transponder kann ausgelesen/beschrieben werden
Frequenz	<ul style="list-style-type: none"> •Low Frequency Bereich < 135kHz •High Frequency Bereich 13,56 MHz •Ultra High Frequency Bereich 860 - 930 MHz •Mikrowelle 2,45 GHz
Reichweite	<ul style="list-style-type: none"> •Short Range: einige cm •Mid Range: bis 40 cm •Long Range: 3-9m •Aktive Systeme: größere Abstände

Tabelle 11 zeigt abschließend eine Zusammenfassung der technischen Daten der RFID-Technologie.

3.5 Bestandsanalyse und Disposition

Die grundsätzliche Erkenntnis, dass die Bestandshöhe ein wesentliches Problem hinsichtlich der Kostenstruktur darstellt und dass eine Optimierung der Bestände sinnvoll ist, reicht nicht aus. Vielmehr erfordert es konkrete Maßnahmen in mehreren Bereichen. Dazu sind Kenntnisse über die Sortimentszusammensetzung notwendig.³³⁶ Aufbauend auf der Klassifizierung und Identifizierung von Ersatzteilen, gemäß der vorangegangenen Abschnitte, wird in diesem Kapitel die Analyse des Ersatzteilbestandes diskutiert. Generell gilt, dass nur genau analysierte Bestände in weiterer Folge einer Bestandsoptimierung zugeführt werden können. Wie vorherrschende Ersatzteilbestände unter Einbeziehung von bewährten Methoden segmentiert und für eine weiterführende Analyse aufbereitet werden, zeigt im Folgenden dieses Kapitel.³³⁷ Dies sind unter anderem Betrachtungen zu Artikelumfang und Teilehöhe.

³³⁵ Quelle: Zsifkovits, H. E. (2012), S. 287f.

³³⁶ Vgl. Bornemann, H. (1986), S. 35.

³³⁷ Vgl. Hoppe, M. (2012), S. 83.

Somit ist in der betrieblichen Praxis der Ersatzteilbestandsoptimierung der erste Schritt das physische Erfassen des betrachteten Ersatzteilspektrums, also das Auflösen von nichtbestandsgeführten Schwarzlagern und die grundsätzliche Entscheidung, welcher Artikel als Ersatzteil bestandsgeführt werden soll und welcher nicht. Um dahingehend einen ausreichenden Überblick über den vorherrschenden Ersatzteilbestand zu erhalten, bietet sich die Methode der logistischen Segmentierung an. Diese Segmentierung basiert auf der Idee, ähnlich dem Zugang einer teiledifferenzierten Bevorratungsstrategie, Teilgruppen nach vorab definierten Größen, wie Struktur und Verhalten, gezielt zu filtern und daraufhin detailliert im Cluster zu analysieren.³³⁸

Als analytische Basis-Methoden kommen

- die ABC-Analyse und
- die XYZ-Analyse sowie
- Portfolio-Analysen

zum Einsatz. Die Ergebnisse dieser Verfahren können zur Verbesserung der Aussagekraft miteinander kombiniert werden.³³⁹

3.5.1.1 ABC- und XYZ Analyse

Im Allgemeinen erfordert die art-, mengen-, und zeitgerechte Materialbedarfsdeckung eine umfassende und detaillierte Planung. Das Erstellen, Realisieren und Kontrollieren dispositiver Teilpläne benötigt jedoch mit zunehmender Planungsaktivität in den unterschiedlichen Ersatzteilkategorien erhebliche Ressourcen personeller und finanzieller Art. Aufgrund dieser Tatsache ist es wichtig Selektionsverfahren zu nutzen, bei denen verstärkte Planungsaktivitäten unter Wirtschaftlichkeitsüberlegungen sinnvoll erscheinen.³⁴⁰ Anders formuliert geht es hierbei um eine Unterscheidung zwischen wichtig und unwichtig.³⁴¹ Verfahren, die eine derartige Klassifizierung zulassen, sind die ABC-Analyse, XYZ Analyse sowie die kombinierte ABC-XYZ Analyse. Die ABC-Analyse wird auch als Primäranalyse bezeichnet, auf deren Basis Folgeanalysen, die sogenannten Sekundäranalysen, wie z.B. die Segmentierung/Portfoliodarstellung, aufbauen.³⁴²

Die ABC-Analyse ist der erste Schritt vieler Bündelungs- und Ordnungsstrategien. Vor dem Erstellen einer ABC-Analyse sollten in jedem Fall die Verwendung und das verfolgte Ziel bekannt sein. Der Einsatz und die Strategie bestimmen die Abgrenzung der Objekte, die zu analysierenden Eigenschaften und die Art der ABC-Aufteilung.³⁴³ Beim operativen Controlling-Instrument ABC-Analyse geht es traditionell um die Ermittlung eines Vergleiches nach Mengen und Werten. Sie findet in zahlreichen Unternehmensbereichen An-

³³⁸ Vgl. Bäck, H. (1987), S. 210ff.

³³⁹ Vgl. Hartmann, H. (2005), S. 170.

³⁴⁰ Vgl. Biedermann, H. (2008), S. 82f.

³⁴¹ Vgl. Piontek, J. (2004), S. 140f.

³⁴² Vgl. Hoppe, M. (2012), S. 92.

³⁴³ Vgl. Gudehus, T. (2005), S. 136.

wendung, wobei die Vergleichskriterien unterschiedlich sein können, wie z.B. „Umsatz“ gegen „Lieferantenzahl“.³⁴⁴

In der unten angeführten Tabelle 12 ist das Verhältnis „Bestandswert“ zu „Bestandsmenge“ entsprechend der klassischen ABC-Analyse dargestellt, da für die weitere Strategie der Ersatzteilartikelanalyse im folgenden Abschnitt diese „Wert zu Menge“ Segmentierung notwendig ist. Die Klassifizierung/Segmentierung der Ersatzteile/Bestandsartikel erfolgt mittels Grobeinteilung in die drei Klassen A, B und C.

Tabelle 12: ABC-Klassifizierung des Ersatzteilbestandes³⁴⁵

KLASSIFIZIERUNG	KLASSE	ANTEIL VOM BESTANDSWERT	ANTEIL VON BESTANDSMENGE
	A-Artikel	•75%	•5%
	B-Artikel	•20%	•20%
	C-Artikel	•5%	•75%

Die Kernaussage der ABC-Analyse fußt auf der Erkenntnis, dass mengenmäßig nur ein kleiner Anteil, hier im Beispiel sind es 5%, der Ersatzteile, die auf Lager liegen, 75% des gesamten Ersatzteilbestandswerts ausmachen. Mit anderen Worten: Einige wenige Artikel dominieren und diese müssen besonders in die wirtschaftliche Betrachtungsweise eingebunden werden.³⁴⁶ Mithilfe der ABC-Analyse wird untersucht, wie die mengenmäßige mit der wertmäßigen Struktur des Ersatzteilspektrums zusammenhängt. In der Praxis hat sich gezeigt, dass die Mengen zu Wert Verteilung zwischen den einzelnen Klassen eine relativ konstante Struktur aufweist. Das bedeutet das typischerweise 20% der Artikelmenge ca. 70%–80% des Wertes ausmachen, weitere 10%–15% des Lagerwertes werden über 30% der Menge gebunden und die verbleibenden 10%–15% des Wertes entsprechen dann eingelagerten C-Teilen.³⁴⁷ Nachteil der ABC-Analyse ist die Tatsache, dass die Einteilung in die drei Klassen sehr grob erfolgt und eine weiterführende detaillierte Sekundäranalyse ratsam ist. Des Weiteren stellt die Bereitstellung von vollständigen Daten in der Praxis sehr oft eine Herausforderung dar, da diese für die Aussagekraft dieser Analysemethoden entscheidend sind.³⁴⁸

Die XYZ-Analyse (siehe Tabelle 13) bietet zu der bereits oben diskutierten ABC-Analyse eine zusätzliche Analysedimension. Sie charakterisiert die Verbrauchsverläufe einzelner Ersatzteilklassen und erlaubt auf diesem Wege eine gewisse Prognosefähigkeit bzw. Vorhersagegenauigkeit.³⁴⁹

³⁴⁴ Vgl. Disselkamp, M. Schüller, R. (2004), S. 45f.

³⁴⁵ Quelle: Hellberg, T. (2009) S. 351. Mit Hilfe der ABC-Analyse lassen sich Objekte nach ihrer Bedeutung ordnen. Dabei wird gezeigt, dass lediglich 20% der Materialien für 70% des wertmäßigen Materialeinsatzes verantwortlich sind (A-Klasse).

³⁴⁶ Vgl. Disselkamp, M., Schüller, R. (2004), S. 45f.; Biedermann, H. (2008), S. 82f. Matyas erwähnt noch den Umstand, dass die Prozentsätze für die einzelnen Kategorien mit einer gewissen Streubreite in der Literatur angegeben sind. Die ABC-Analyse hilft dabei, den Fokus durch ihre Wirtschaftlichkeitsbetrachtung auf die Kategorie A und B zu legen. Vgl. Matyas, K. (2013), S. 162.

³⁴⁷ Vgl. Biedermann, H. (2008), S. 82ff.

³⁴⁸ Vgl. Hoppe, M. (2012), S. 85f.

³⁴⁹ Vgl. Piontek, J. (2004), S. 46.; Biedermann, H. (2008), S. 85f.; Hartmann, H. (2005), S. 181.

Tabelle 13: Verbrauchsverhalten schematisiert mittels XYZ-Analyse³⁵⁰

KLASSIFIZIERUNG	KLASSE	VERBRAUCHSVERHALTEN
	X-Artikel	•konstanter Verbrauch, hohe Vorhersagegenauigkeit
	Y-Artikel	•trendförmiger oder saisoneller Verbrauch
	Z-Artikel	•unregelmäßiger Verbrauch, niedrige Vorhersagegenauigkeit

Zweck der Analyse ist die Einschränkung der Bedarfsprognoseverläufe in ein 3-Klassenschema, um daraus wiederum Prognosedaten für die Beschaffungsplanung abzuleiten. Die Unterscheidung dieser drei Klassen kann vor allem als Entscheidungshilfe für das Materialdispositionsproblem herangezogen werden, d.h. zur Beantwortung der Frage, ob für einzelne Materialien bedarfssynchrone Anlieferung, Vorratshaltung oder Einzelbeschaffung vorzusehen ist. Je unregelmäßiger die Verbräuche sind, desto niedriger ist die Voraussagesicherheit und dementsprechend aufwändiger ist das Dispositionsverfahren.³⁵¹ Allgemein bedeutet dies, dass AZ-Artikel im Gegensatz zu CX Teilen hinsichtlich Einkauf und Disposition problematische Artikel darstellen.³⁵²

Tabelle 14: Praxisbeispiel einer ABC-XYZ Analyse

Verbrauchsmengen	AN 128	AN 271	AN 127	AN 215	AN 447	AN 243	AN 207	AN 479	AN 429	AN 422	AN 139
Jän.98	109	117	33	51	131	8	81	4	3	107	26
Feb.98	114	109	37	43	6	6	103	33	11	117	13
Mär.98	116	112	36	37	33	6	4	104	18	112	10
Apr.98	117	89	33	39	11	5	33	14	26	117	31
Mai.98	125	117	42	47	112	131	104	6	44	109	35
Jun.98	115	109	45	49	125	6	14	12	43	112	37
Jul.98	120	112	54	58	67	33	6	8	50	88	43
Aug.98	106	117	63	55	7	11	12	6	47	117	41
Sep.98	103	95	69	52	5	112	8	6	26	109	47
Okt.98	107	112	64	59	6	125	6	5	26	112	34
Nov.98	117	106	70	56	23	67	6	131	16	117	35
Dez.98	112	103	62	55	23	11	5	6	7	95	11
Summe Verbrauch	1.361	1.298	608	601	549	521	382	335	317	1.312	363
Preis	240	210	120	85	90	48	46	51	35	6	7
Verbrauchswert	326.640	272.580	72.960	51.085	49.410	25.008	17.572	17.085	11.095	7.872	2.541
kum. Verbrauchswert	38,3%	70,2%	78,7%	84,7%	90,5%	93,4%	95,5%	97,5%	98,8%	99,7%	100,0%
Klassifikation	A	B	B	B	C	C	C	C	C	C	C
Standardabw.	6,32	8,80	14,50	7,29	49,65	51,10	39,85	42,96	16,26	9,16	12,65
durchschn. Verbrauch	113,42	108,17	50,67	50,08	45,75	43,42	31,83	27,92	26,42	109,33	30,25
Variationskoeffizient V	0,06	0,08	0,29	0,15	1,09	1,18	1,25	1,54	0,62	0,08	0,42
Klassifikation	X	X	X	X	Z	Z	Z	Z	Y	X	X

Tabelle 14 zeigt die notwendigen Berechnungen für die Erstellung einer ABC-XYZ Analyse anhand beispielhafter Verbräuche fiktiver Materialien. Diskutiert wird in diesem Zusammenhang das Vorgehen zur Klasseneinteilung der Materialien nach X, Y und Z Prognosefähigkeit. Als Kennzahl für das Verbrauchsverhalten einer Artikelposition gilt der Variationskoeffizient V. Dieser reagiert sehr empfindlich, wenn Bedarfsänderungen nach oben oder unten erfolgen. Mit einem größer werdenden Variationskoeffizienten

³⁵⁰ Quelle: Kummer, S. et al (2006), S. 82. Grundsätzlich geht es bei der Darstellung um die Einteilung aller vorhandenen Materialien in drei Klassen entsprechend dem gewählten Kriterium „Verbrauchsverhalten und Vorhersagegenauigkeit des Verbrauchs“ auf der Basis von Erfahrungswerten.

³⁵¹ Vgl. Biedermann, H. (2008), S. 92f.

³⁵² Vgl. Piontek, J. (2004), S. 143.

sinkt analog die Vorhersagegenauigkeit, somit gilt der Variationskoeffizient V auch als Kennzahl für die Vorhersagegenauigkeit. Definiert ist der Variationskoeffizient als Quotient der Standardabweichung und des arithmetischen Mittelwerts.³⁵³

Für das in Tabelle 14 erstellte Praxisbeispiel gilt folgende Klasseneinteilung bezogen auf den Variationskoeffizienten:³⁵⁴

- X: $V < 0,5$
- Y: V zwischen 0,5 und 1
- Z: $V > 1$

Die logistische Artikelklassifikation, wie in diesem Fall die ABC-Analyse und die XYZ-Analyse, haben Auswirkungen auf alle weiteren Analyseschritte im Sinne einer Ersatzteilartikelsortimentsanalyse und den daraus abgeleiteten strategischen und operativen Handlungsempfehlungen. Hieraus folgt der Grundsatz der regelmäßigen Artikelanalyse, d.h. eine Sortimentseinteilung ist niemals endgültig. Sie muss in regelmäßigen Abständen überprüft und korrigiert werden.³⁵⁵ Allerdings ist die reine XYZ-Betrachtung selten dazu geeignet Optimierungsmaßnahmen aufzuzeigen und zu nutzen. Erst die Kombination beider Analysen erlaubt es, Aussagen zu treffen, da Optimierungsansätze im Bestandsmanagement von der Wertigkeit und der Prognosefähigkeit der Ersatzteile abhängen.³⁵⁶

Mittels Kombination der ABC-Analyse mit der XYZ-Analyse entsteht eine neun Felder Matrix; jedes Feld besitzt eine individuelle Ausprägung und zu jedem Feld gibt es konkrete Handlungsalternativen zum Heben von Optimierungspotentialen.³⁵⁷ In Tabelle 15 erfolgt die Kombination der beiden Analysen aus Tabelle 12 und Tabelle 13 zur klassischen Darstellung der ABC-XYZ-Analyse, welche somit eine Kombination aus dem Betrachtungswinkel Ersatzteilwertigkeit mit dem Thema Vorhersagegenauigkeit darstellt.

³⁵³ Vgl. Piontek, J. (2004), S. 142ff.; Hoppe, M. (2012), S. 94ff.; Hartmann, H. (2005), S. 182f.

³⁵⁴ Für die Klassenbreite in der XYZ-Analyse schwanken die Klassifizierungsgrenzen analog zur ABC-Analyse in der Literatur je nach Autor und Analysegegenstand und sind im jeweiligen Analysefall individuell festzulegen.

³⁵⁵ Vgl. Gudehus, T. (2005), S. 139f.

³⁵⁶ Vgl. Hartmann, H. (2005), S. 184.

³⁵⁷ Vgl. Hoppe, M. (2012), S. 133ff.

Tabelle 15: ABC-XYZ-Analyse³⁵⁸

ABC-XYZ-KLASSIFIZIERUNG		WERTIGKEIT-A	WERTIGKEIT-B	WERTIGKEIT-C
	VERBRAUCH-X	•hoher Verbrauchswert •genaue Prognose •stetiger Verbrauch	•mittlerer Verbrauchswert •genaue Prognose •stetiger Verbrauch	•kleiner Verbrauchswert •genaue Prognose •stetiger Verbrauch
	VERBRAUCH-Y	•hoher Verbrauchswert •mittlere Prognose •halbstetiger Verbrauch	•mittlerer Verbrauchswert •mittlere Prognose •halbstetiger Verbrauch	•kleiner Verbrauchswert •mittlere Prognose •halbstetiger Verbrauch
	VERBRAUCH-Z	•hoher Verbrauchswert •schlechte Prognose •stochastischer Verbrauch	•mittlerer Verbrauchswert •schlechte Prognose •stochastischer Verbrauch	•kleiner Verbrauchswert •schlechte Prognose •stochastischer Verbrauch

Je nach individuellem Bedarf kann die ABC-XYZ Analyse, im Sinne einer 3x3 Matrix, in weitere Felder unterteilt werden, wie z.B. in eine 4x4 Matrix, in der die Feldanzahl auf 16 steigt, was eine noch detailliertere Zuordnung/Charakterisierung der einzelnen Artikel ermöglicht.

3.5.1.2 Detailanalyse des Teile- und Artikelspektrums

Um die Komplexität, die in der Artikelanalyse aufgrund der Artikelvielfalt und der Relationen zu den Anlagen vorherrscht, reduzieren zu können, erfolgt ein differenziertes schrittweises Vorgehen. Dabei kommen jeweils Entscheidungsregeln zur Anwendung, die in erster Linie darauf abzielen, das Ersatzteilspektrum für eine weiterführende Analyse vorzubereiten. Ziel der Analysen ist es, Potential im Bereich Artikelanzahl und/oder Teileanzahl aufzuzeigen, um den vorherrschenden Ersatzteilbestand der Höhe nach reduzieren zu können und somit die Komplexität zu verringern.³⁵⁹

Detailanalyse des Ersatzteilspektrums: Nach dem Entfernen der Ghostparts, also der nicht mehr benötigten Ersatzteile, und dem Zuordnen der verbleibenden Ersatzteile zu technischen Plätzen in der physischen Anlagenstruktur, erfolgt die Detailanalyse über die Eigenschaften des vorhandenen Ersatzteilbestandes mittels einer Preisanalyse, Bestandsanalyse und Verbrauchsanalyse.

Die **Preisanalyse** (siehe Abbildung 35) umfasst zum einen eine Darstellung des Artikelspektrums in Preisklassen, wobei zu beachten ist, welche Artikel aufgrund von Abwertung bereits mit dem Wert von null im Bestand aufscheinen, zum anderen wird eine ABC-Auswertung über den gesamten Ersatzteilbestand gemacht, um die Kostentreiber unter den einzelnen Materialarten zu identifizieren. Das Ziel dieser Auswertung ist es zu

³⁵⁸ Quelle: in Anlehnung an Hoppe, M. (2012), S. 134.; Arnolds, H. et al. (1996), S. 64.

³⁵⁹ Vgl. Bandow, G., Kuhn, A. (2008), S. 27ff. Als wesentlichen Hebel zur Bestandsoptimierung wirkt, wie eingangs bereits erwähnt, die Wahl und Umsetzung der richtigen Instandhaltungsstrategie. Bandow und Kuhn zeigten in ihrer Arbeit „Trends und Chancen für die Instandhaltung und Produktion“, dass mit zunehmender Instandhaltungsprofessionalisierung der Umfang der Ersatzteilbevorratung sinkt.

identifizieren, welcher Artikel (Materialnummer) kostenmäßig wie in das gesamte Artikelspektrum einfließt.³⁶⁰

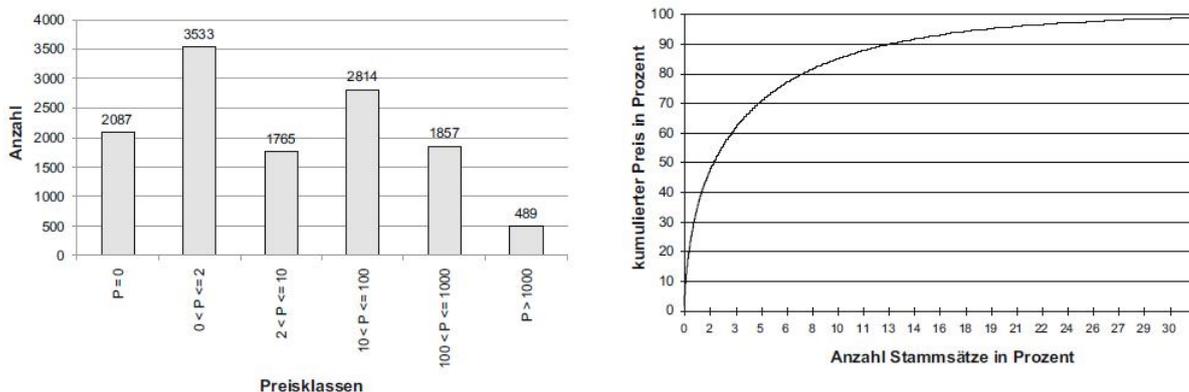


Abbildung 35: Preisklassen und ABC-Analyse des Ersatzteilspektrums³⁶¹

Bei der **Bestandsmengen-** und **Bestandswertanalyse** (siehe Abbildung 36) wird die Anzahl der vorhandenen Teile pro Materialstammmnummer (Artikel) analysiert und in weiterer Folge über die Bestandswertanalyse, d.h. Multiplikation der Artikelpreise mit der Artikelanzahl, dargestellt. Somit erfolgt in diesem Analyseschritt die Auswertung danach, wie viele Teile pro Artikel auf Lager vorrätig sind und welche Materialkosten diese darstellen. Annahme bei dieser Darstellung ist die Rahmenbedingung, dass keine Artikeldubletten existieren und eine eindeutige Klassifizierung des Ersatzteilbestandes herrscht.³⁶²

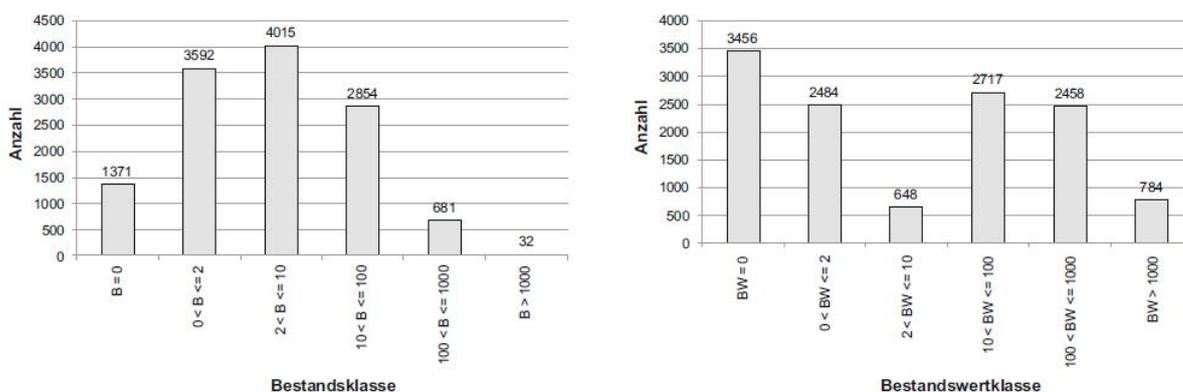


Abbildung 36: Bestandsklassen und Bestandswertklassen des Ersatzteilspektrums³⁶³

Bei der **Verbrauchsanalyse** (siehe Abbildung 37) werden die Ersatzteilverbräuche, also Lagerbewegungen pro Artikel, analysiert. Zum einen wird dabei die Verbrauchsstetigkeit untersucht, d.h. gruppenweise aufgezeigt, wie oft Artikel in einem definierten Intervall abgerufen wurden, dargestellt in Lagerdrehung pro Artikel und zusammengefasst in Stetigkeitsklassen. Bzw. werden im letzten Schritt nicht gedrehte Artikel auf das Jahr der Erst-

³⁶⁰ Vgl. Pawellek, P. (2013), S. 228ff.

³⁶¹ Quelle: Pawellek, P. (2013), S. 229.

³⁶² Vgl. Pawellek, P. (2013), S. 228ff.

³⁶³ Quelle: Pawellek, P. (2013), S. 229.

anlage mit dem Ziel untersucht, eine sogenannte Ladenhüterliste oder auch Langsamdreherliste zu erstellen.³⁶⁴ In dieser Liste werden alle Artikel angeführt, die sehr selten oder noch nie verbraucht wurden. Als Optimierungsmaßnahme wird in diesem Fall überprüft, ob diese Artikel im Lager verbleiben oder entfernt werden können.

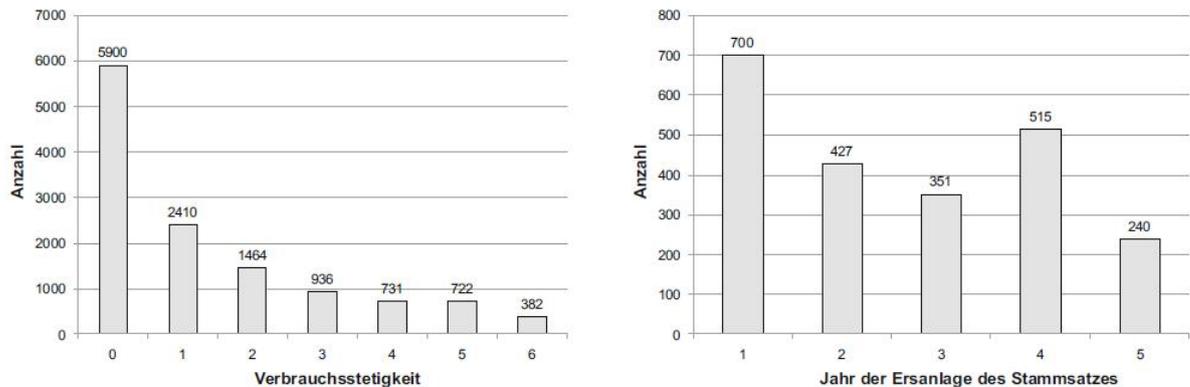


Abbildung 37: Verbrauchsstetigkeit und Langsamdreheranalyse des Ersatzteilspektrums³⁶⁵

Unter Einbeziehung der **Portfoliotechnik** kann mithilfe der Bestands- und Verbrauchsdaten ein Vergleich der aktuellen Bestände mit den mittleren Verbräuchen gemäß Abbildung 38 in einer Portfoliodarstellung durchgeführt werden. Dazu werden beispielhaft die Bestände entlang der x-Achse und Verbräuche entlang der y-Achse in verschiedene Größenklassen eingeteilt, in den jeweiligen Quadranten ist die Anzahl der betroffenen Ersatzteile hinterlegt. Die Aussagekraft dieser Portfoliodarstellung besteht im Beurteilen des Optimierungsbedarfs der einzelnen Ersatzteilklassen, ob die Korrelation zwischen bevorrateter Artikelstückzahlen und dem dazugehörigen Verbrauch unter Einbeziehung der Artikelstückzahl stimmt. In diesem Beispiel gemäß Abbildung 38 steht das Verhältnis zwischen Verbrauch und Bestand entlang der Nebendiagonale in gutem Verhältnis zueinander. Unterhalb der Nebendiagonale ist der Bestand einzelner Artikel im Vergleich zum Verbrauch zu gering, während oberhalb der Nebendiagonale der Zustand genau umgekehrt ist.³⁶⁶

³⁶⁴ Vgl. Pawellek, P. (2013), S. 228ff.

³⁶⁵ Quelle: Pawellek, P. (2013), S. 229.

³⁶⁶ Vgl. Pawellek, P. (2013), S. 230f.; Heuer, G. (1992) S. 460f. Sowohl Pawellek als auch Heuer nehmen als Bezugszeitraum 12 Monate an.

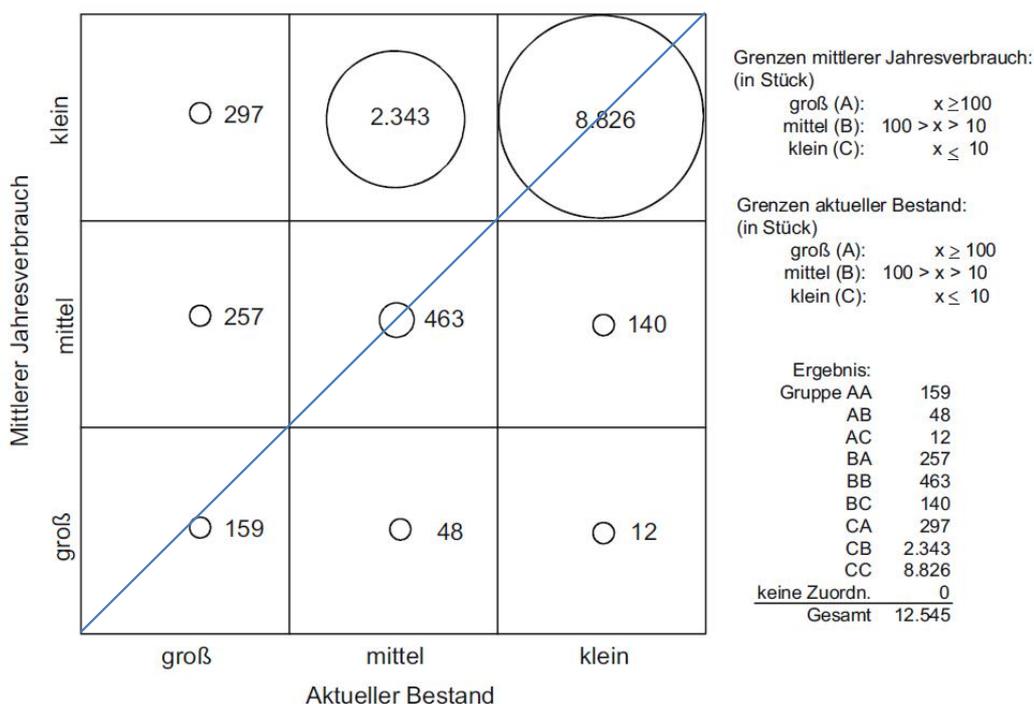


Abbildung 38: Portfolioanalyse Ladendreher³⁶⁷

Neben der Auswahl bzw. Festlegung artikelklassenspezifischer Dispositionsmethoden können die Ergebnisse der Analyse auch zur Bestimmung unterschiedlicher Automatisierungsgrade herangezogen werden. Dies hat nicht nur eine Entlastung des Disponenten von Routinetätigkeiten zur Folge sondern auch die Verlagerung der freiwerdenden Ressourcen hin zu wertschöpfenden Tätigkeiten, wie z.B. die Konzentration auf problematische Artikel, um dadurch eine Verbesserung der Dispositionsqualität zu erreichen.³⁶⁸

3.5.1.3 Normstrategien

Auf Basis der beiden kombinierten Analysen in Tabelle 15 ergibt sich die Frage nach konkreten Handlungsempfehlungen in Bezug auf Optimierungspotential und Steuerungsaufwand. In Tabelle 16 wird das Bestandsoptimierungspotential [O] für A- und B-Artikel als am höchsten dargestellt, wobei der Dispositionssteuerungsaufwand [S] bei den Y- und Z-Artikeln am größten ist.³⁶⁹

³⁶⁷ Quelle: Pawellek, P. (2013), S. 230. Darstellung der Werte ist beispielhaft zur Erläuterung des Portfolios. Vgl. Beschaffung-aktuell, http://www.beschaffung-aktuell.de/home/-/article/16537505/26965522/Bestandssenkung-im-Ersatzteillager/art_co_INSTANCE_0000/maximized/ (Zugriff: 08.01.2016).

³⁶⁸ Vgl. Piontek, J. (2004), S. 145f.

³⁶⁹ Vgl. Hoppe, M. (2012), S. 134.

Tabelle 16: Optimierungspotentiale abgeleitet aus der ABC-XYZ Analyse³⁷⁰

ABC-XYZ-KLASSIFIZIERUNG		WERTIGKEIT-A	WERTIGKEIT-B	WERTIGKEIT-C
		[O]	[O]	
	VERBRAUCH-X	<ul style="list-style-type: none"> •automatisches Dispoverfahren •alert Monitor •Bestandsreduzierungspotential 	<ul style="list-style-type: none"> •automatisches Dispoverfahren •Bestandsreduzierungspotential 	<ul style="list-style-type: none"> •automatisches Dispoverfahren •automatische Ausnahme- steuerung
		[O][S]		
VERBRAUCH-Y	<ul style="list-style-type: none"> •hohes Bestandsrisiko •Bestandsreduzierungspotential 	<ul style="list-style-type: none"> •Bestandsreduzierungspotential 	<ul style="list-style-type: none"> •angemessener Sicherheits- bestand •Anzahl Artikel senken 	
	[S]	[S]		
VERBRAUCH-Z	<ul style="list-style-type: none"> •manuelle Überwachung •Bestandsreduzierungspotential •hohes Bestandsrisiko 	<ul style="list-style-type: none"> •manuelle Überwachung •Bestandsreduzierungspotential 	<ul style="list-style-type: none"> •angemessener Sicherheits- bestand •Anzahl Artikel senken 	

Die Maßnahmen zur Bestandsoptimierung aus Tabelle 16 zeigen klare Handlungsempfehlungen in den Eckpunkten der Matrix. Diese stehen im Fokus der Betrachtung, da sie Extrema repräsentieren. Die restlichen Felder ergeben sich durch fallweise Kombination der eindeutig definierten Handlungsalternativen. AX-Artikel sollten möglichst automatisiert geplant werden, wobei es wichtig ist, dass der Disponent über Abweichungen und Ausnahmesituationen umgehend informiert wird. AZ-Artikel sollen möglichst durch den Disponenten beobachtet werden, um rasch manuell einzugreifen, falls Bedarf aufgrund von Bedarfsschwankungen besteht. Jedoch besteht hinsichtlich der Z-Artikel ein besonderes Bestandssenkungspotential. Die Eigenschaft von AX-Materialien ist die Kopplung von hohem Verbrauchswert und hoher Materialbewegung, was wiederum hohes Bestandsoptimierungspotential in sich birgt. Als letztes großes Segment gilt das AZ-Segment. Auf diese Gruppe sollte der Disponent besonders sensibel reagieren, da hier ein hoher Verbrauchswert mit einem unregelmäßigen Verbrauchsverhalten korreliert. Empfehlenswert ist hierbei die Unterstützung des Disponenten durch eine intelligente IT-Unterstützung, die den Disponenten automatisch auf eine Ausnahmesituation aufmerksam macht.³⁷¹

Unter Einbeziehung der Information aus dem Ersatzteilmanagement, welche Art Ersatzteil sich wo im ABC Portfolio befindet, lässt sich die ABC-XYZ Analyse für das Ersatzteilmanagement zusätzlich adaptieren (siehe Tabelle 17).

³⁷⁰ Quelle: Hoppe, M. (2012), S. 134-135.

³⁷¹ Vgl. Hoppe, M. (2012), S. 134ff., Jäger, S. Ch. (2009), S. 28f.

Tabelle 17: ABC-XYZ-Analyse mit Ersatzteilart³⁷²

ABC-XYZ-KLASSIFIZIERUNG	WERTIGKEIT-A	WERTIGKEIT-B	WERTIGKEIT-C
	VERBRAUCH-X		•Kleinteil
	VERBRAUCH-Y	•Verbrauchsteil	
	VERBRAUCH-Z	•Reserveteil	

Ein generelles Problem bei der praktischen Durchführung der ABC-XYZ Analyse besteht in der Festlegung der jeweiligen Klassengrenzen. Grundsätzlich sind weder die Klassengrenzen noch die Klassenanzahl fest vorgegeben. Diese Festlegung bei kritischen Wertanteilen ist also eine rein subjektive Entscheidung und lässt sich je nach Verwendungszweck differenziert festlegen.³⁷³

3.5.2 Kennzahlen und Kennzahlensysteme

Kennzahlen (KPI's) dienen zur vereinfachten Darstellung großer Informationsmengen, somit ist ein hoher Verdichtungsgrad von Einzelinformationen ein charakteristisches Merkmal von Kennzahlen. Sie reduzieren die komplexe Realität und geben diese in verdichteter Form wieder. Der Verwendungszweck von Kennzahlen als Hilfsmittel liegt in der Planung, Steuerung und Kontrolle von Prozessen.³⁷⁴ Dementsprechend existieren drei Hauptfunktionen von Kennzahlen:³⁷⁵

- **Informationsfunktion** (Rahmen- und Strukturkennzahlen): zur Darstellung von komplexen Sachverhalten in Datenform
- **Steuerungsfunktion** (Leistungskennzahlen): zum Operationalisieren und Steuern von Zielvorgaben
- **Koordinationsfunktion** (Kennzahlensystem): zum Zusammenfassen von einzelnen Leistungskennzahlen zu einem Kennzahlensystem

³⁷² Quelle: Biedermann, H. (2008), S. 92.

³⁷³ Vgl. Hoppe, M. (2012), S. 86.

³⁷⁴ Vgl. Wagner, S., Weber, J. (2007) S. 11f.; Jäger (2009), S. 35.; Piontek, J. (2004), S. 190ff.

³⁷⁵ Vgl. Jäger, S. Ch. (2009), S. 35ff.; Hug, W., Weber, J. (2011), S. 34f.

Jede Kennzahl an sich hat zusätzlich zum Informationscharakter einerseits den Anspruch auf Quantifizierbarkeit und andererseits einen subjektiven Charakter, nämlich die spezifische Form des Interpretieren. Kennzahlen sind jedoch immer mit Vorsicht zu genießen, sie geben nur eine Momentaufnahme einer Situation wieder und sind daher, wenn möglich, stets im Vergleich zu interpretieren. Ein wirklich sinnvoller Kennzahlenvergleich kann durch Benchmarking erreicht werden.³⁷⁶ Des Weiteren basieren Kennzahlen auf quantifizierbaren Größen und vernachlässigen somit qualitative Sachverhalte, bzw. wird durch die „Genauigkeit“ der Zahlen eine übertriebene Zahlengläubigkeit erzeugt.³⁷⁷

Um den Leser bezüglich Kennzahlen auf die oben genannten Ausführungen zu sensibilisieren sind im Folgenden die zu dokumentierenden Aspekte eines Kennzahlenchecks angeführt.³⁷⁸

- Wie ist die Kennzahl genau definiert?
- Wie berechnet sie sich genau, welche Formel wird zugrunde gelegt?
- Woher kommt die Datenbasis? Welche Anforderungen sind zu stellen?
- Wie oft, wann oder zu welchem Anlass wird die Kennzahl berechnet und ermittelt?
- Was sagt die Kennzahl aus bzw. was nicht? Warum berechnen wir diese Kennzahl?

Abbildung 39 zeigt die weiteren verfeinerten Unterteilungsmöglichkeiten von Kennzahlen. **Absolute Kennzahlen** werden unabhängig von anderen Zahlengröße dargestellt und sind stichpunktbezogene Größen, die direkt aus dem Betriebsgeschehen ermittelt werden können (z.B. Wert eines Reserveteils). Hierbei kann es sich um eine Einzelzahl, eine Summe, eine Differenz oder einen Mittelwert handeln. **Relative Kennzahlen**, auch **Verhältniszahlen** genannt, sind Kombinationen aus mehreren absoluten Kennzahlen, um aussagekräftigere Indikatoren des Betriebsgeschehens zu erhalten. Diese relativen Kennzahlen sind wiederum unterteilbar in **Gliederungskennzahlen**, die eine Aussage über den Zusammenhang zweier absoluten Kennzahlen erlauben (z.B. wertmäßiger Reserveteilbestand Produktionslinie 1 / wertmäßiger Reserveteilbestand Produktionslinien gesamt), in **Beziehungszahlen**, die den sachlichen Bezug zweier Zahlen wiedergeben (z.B. Reserveteilbestandswert/Anlagenwert = relativer Reserveteilbestand), und **Messzahlen**, wobei hier wiederum eine Unterteilung in einfache Messzahlen und Indexzahlen möglich ist. Einfache Messzahlen werden verwendet, um den zeitlichen Verlauf einer Grundzahl zu dokumentieren (z.B. Ersatzteilbestandswert der Periode t), und Indexzahlen um den Verlauf von mehreren sachlich zusammengehörenden Reihen zu beschreiben.³⁷⁹

³⁷⁶ Vgl. Kreuzer, Ch. (2007), S. 290ff.; Hug, W., Weber, J. (2011), S. 35ff.

³⁷⁷ Vgl. Piontek, J. (2004), S. 193f.

³⁷⁸ Vgl. Kreuzer, Ch. (2007), S. 290ff.

³⁷⁹ Vgl. Pawellek, P. (2013), S. 67ff.; Biedermann, H. (2008), S. 86f.; Siegart, H. (2002), S. 5ff.

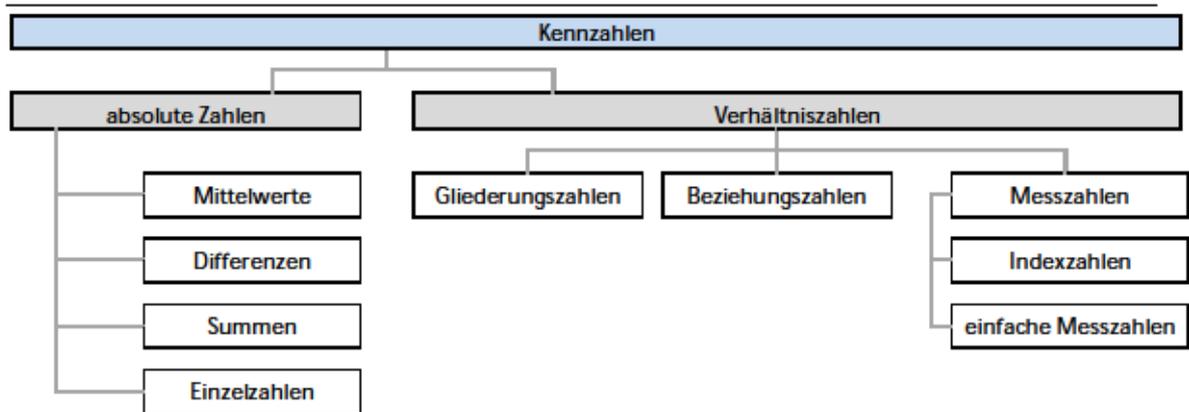


Abbildung 39: Weiter Darstellungsmöglichkeiten von Kennzahlenarten³⁸⁰

Ein Kennzahlensystem stellt eine geordnete Gesamtheit von Kennzahlen dar, die in sinnvoller sachlicher Beziehung zueinanderstehen und mit deren Hilfe ein ausgewogener und vollständiger Überblick über den Betrachtungsgegenstand gegeben wird. Somit ist es in diesem Fall unbedingt erforderlich, dass eine mathematische Verknüpfung zwischen den einzelnen Objekten herrscht. Dies gilt jedoch nur für gesamthafte Rechensysteme. Für sachlogisch strukturierte Kennzahlensysteme wird gefordert, dass sie bestimmte Unternehmensaspekte durch eine Kennzahlengliederung aus mehreren Bereichen darstellen.³⁸¹

3.5.2.1 Entwicklung von Kennzahlen

Aufbauend auf die Diskussion der Gliederung und Einteilung von Kennzahlen und deren Bedeutung folgen in diesem Abschnitt Erläuterungen zum Prozess der Kennzahlenbildung. Unter Heranziehung der VDI Richtlinie 2893 soll vorab der theoretische Hintergrund zur Bildung von Kennzahlen vermittelt werden. Dazu ist dem Flussdiagramm in Abbildung 40 entlang zu folgen.³⁸²

³⁸⁰ Quelle: in Anlehnung an Reisbeck, T., Schöne, L. (2009), S. 72.; Westermann, H. (2009), S. 9ff.; Pawellek, P. (2013), S. 67ff.; Biedermann, H. (2008), S. 86f.

³⁸¹ Vgl. Biedermann, H. (2008), S. 86ff.

³⁸² Vgl. Pawellek, P. (2013), S. 69ff.

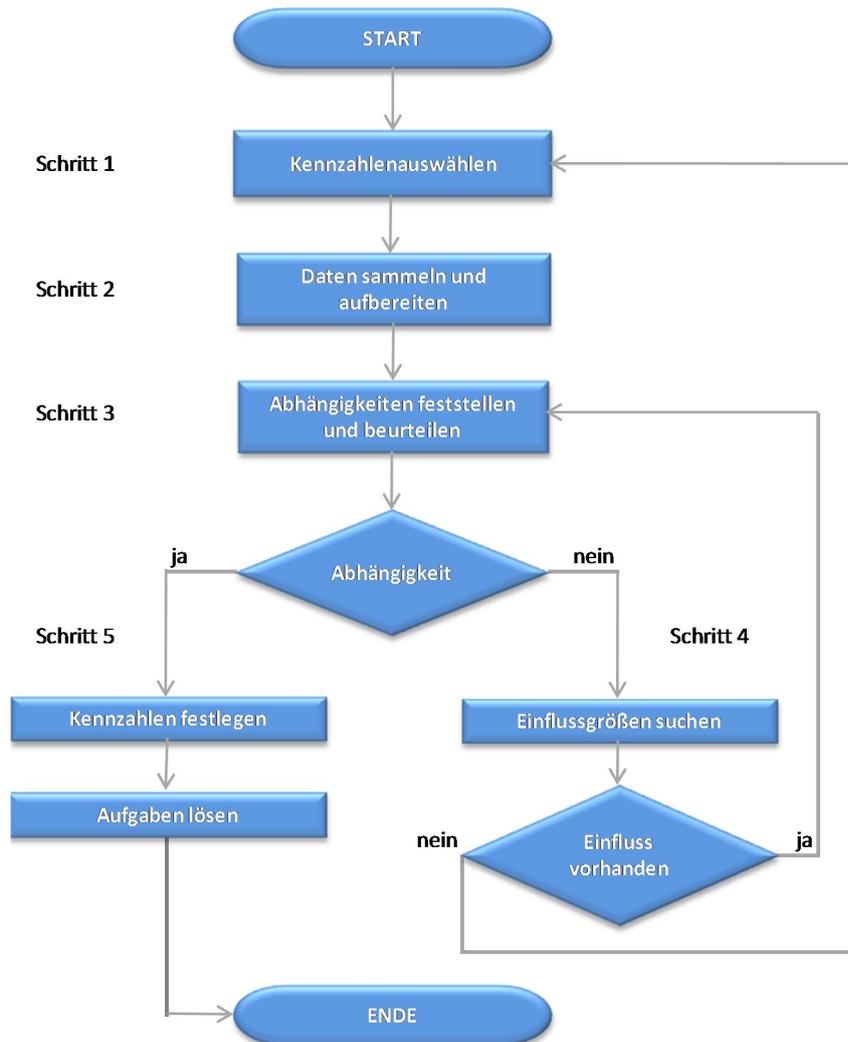


Abbildung 40: Flussdiagramm zur Kennzahlenauswahl³⁸³

Schritt 1: Im ersten Schritt ist die Kennzahl auszuwählen, diese soll möglichst detaillierte Information über den Sachverhalt geben.

Schritt 2: Auf Basis der ausgewählten Kennzahl ergibt sich, welche Daten zur Bildung notwendig sind.

Schritt 3: Es ist zu prüfen, ob die absoluten Zahlen des Sachverhaltes voneinander abhängig sind. Liegen Abhängigkeiten vor, so kann die relative Zahl daraus als Kennzahl verwendet werden, bzw. falls keine Abhängigkeiten vorliegen, dominieren externe Einflüsse, die in Schritt 4 eruiert werden.

Schritt 4: Ausgehend von Schritt 3 folgt nun die Überprüfung der unbekannteren Einflussgrößen. Die eruierte Einflussgröße mit der größten Auswirkung auf den Kennzahlenwert wird infolge zur Abhängigkeitsprüfung verwendet. Schritt 4 ist eine Schleife von Schritt 3, bis alle Einflussgrößen und Abhängigkeiten gefunden wurden.

Schritt 5: Bei eindeutiger Feststellung der Abhängigkeiten eignet sich die Zahl zur Beschreibung des Sachverhaltes als Kennzahl. Bei mehreren gefundenen Kennzahlen ist jene am besten, die der Lösung der Aufgabe am nächsten kommt.

³⁸³ Quelle: in Anlehnung an VDI 2893 (1994). S. 12.

3.5.2.2 Kennzahlen für die Ersatzteillogistik

Mittels Kennzahlen zu der Kategorie Ersatzteilbestände können die Performance des Ersatzteilmanagements geplant, der Zielerreichungsgrad kontrolliert und die Ergebnisse in komprimierter Form reported werden.³⁸⁴ Dies hat eine kontinuierliche Prozess- und Leistungsverbesserung zur Folge und sorgt zugleich für eine systematische Ausrichtung auf strategische Ziele.³⁸⁵ Diesbezüglich besteht bei rein sachlogisch aufgebauten Kennzahlensystemen keine einzelne absolute Spitzenkennzahl, die sämtliche Informationen verdichtet widerspiegelt. Erst aufgrund der gemeinsamen Betrachtung der verschiedenen Kennzahlen eines Kennzahlensystems wird eine ausgewogene Analyse der Situation möglich.³⁸⁶

Tabelle 18: Kennzahlen zur operativen Lagerbewirtschaftung³⁸⁷

KENNZAHL	DEFINITION	FRAGESTELLUNG	EINFLUSSGRÖSSEN	EINHEIT
OPERATIVE LAGERBEWIRTSCHAFTUNG Zugangsrate Artikel	$\frac{\text{Anzahl Warenzugänge (Stk. Artikel)}}{\text{Zeitperiode (t)}}$	Ressourcenauslastung	IH-Strategie	Stück/Zeit
		Kommissionierer	Bestandsmanagement	
			Anlagenkonfiguration	
			Bestellwesen	
Abgangsrate Artikel	$\frac{\text{Anzahl Warenabgänge (Stk. Artikel)}}{\text{Zeitperiode (t)}}$	Ressourcenauslastung	IH-Strategie	Stück/Zeit
		Kommissionierer	Anlagenkonfiguration	
Neue Materialnummer	$\frac{\text{Anzahl neue Materialnummern (Stk.)}}{\text{Zeitperiode (t)}}$	Bestandshöhe,	Bestandsmanagement	Stück/Zeit
		Standardisierung	Anlagenkonfiguration	
Lagernutzungsgrad	$\frac{\text{belegte Lagerfläche (m}^2\text{)} \times 100}{\text{vorhandene Lagerfläche (m}^2\text{)}}$	Nutzung der Ressource	Bestandsmanagement	%
		Lagerkapazität	Anlagenkonfiguration	
Beschaffungsart Rahmen	$\frac{\text{Anzahl RA-Abrufe (Stk.)} \times 100}{\text{Anzahl Gesamt-Bestellungen (Stk.)}}$	Lagerbewirtschaftung	Bestellwesen	%
Beschaffungsart e-commerce	$\frac{\text{Anzahl e-commerce-Abrufe (Stk.)} \times 100}{\text{Anzahl Gesamt-Bestellungen (Stk.)}}$	Lagerbewirtschaftung	Bestellwesen	%
		Automatisierungsgrad	Bestandsmanagement	

³⁸⁴ Vgl. Jäger, S. Ch. (2009), S. 37.

³⁸⁵ Vgl. Hug, W., Weber, J. (2011), S. 34.

³⁸⁶ Vgl. Hug, W. (1986), S. 52.

³⁸⁷ Quelle: in Anlehnung an Wagner, S., Weber, J. (2007) S. 13f.; Hug, W., Weber, J. (2011), S. 40.; Bäck, S. et al. (2007), S. 29.; Matyas, K. (2013), S. 87ff.; Schmidt, T., Hompel, M. ten. (2010), S. 68.; Biedermann, H. (2008), S. 90ff.

Tabelle 19: Kostenkennzahlen³⁸⁸

KOSTENKENNZAHLEN	KENNZAHL	DEFINITION	FRAGESTELLUNG	EINFLUSSGRÖSSEN	EINHEIT
	Lagerbewirtschaftungskosten	Sämtliche operativen Kosten (GE) zum Betreiben des Lagers (Personal, Betriebsmittel, Miete)	Kosten der Lagerhaltung	Anlagenkonfiguration Bestandsmanagement	EUR/Zeit
	Anlagevermögen	Wiederbeschaffungswert der Anlage (GE)	Verhältniss zum Ersatzteilbedarf	Anlagenkonfiguration	EUR
	Abgewertete/Unbewertete Bestände	Anzahl Artikel mit Bewertungskosten 0 EUR (Stk.)	Ladenhüter	Bestandsmanagement Anlagenkonfiguration	Stück
	Bestandswert Artikelebene	Bestandswert Summe aller Artikel (GE)	Bestandskosten, Preisklassen	Bestandsmanagement Anlagenkonfiguration	EUR
	Bestandswert Teileebene	Bestandswert Summe aller Teile(GE)	Bestandskosten, Preisklassen	Bestandsmanagement Anlagenkonfiguration	EUR
	Obligowert Teileebene	Summe aller Teile (GE), die bestellt sind, aber noch nicht geliefert wurden	Bestandskosten, forecast	Bestandsmanagement Anlagenkonfiguration	EUR

Tabelle 20: Dispositionskenzzahlen³⁸⁹

DISPOSITIONSKENNZAHLEN	KENNZAHL	DEFINITION	FRAGESTELLUNG	EINFLUSSGRÖSSEN	EINHEIT
	Lagerhüter	$\frac{\text{Anzahl Artikel mit Lagerbewegung 0 (Stk.)}}{\text{Zeitraum (t)}}$	Ladenhüter, Verwertung, Verbrauchsstetigkeit	Anlagenkonfiguration Bestandsmanagement	Stück/Zeit
	Umschlagsgrad	$\frac{\text{Verbrauch Teile(GE/t)}}{\text{Aktueller Bestandwert (GE)}}$	Bestandshöhe, Bestandskosten, Ladenhüter	Anlagenkonfiguration Bestandsmanagement	Anzahl/Zeit
	Fehlmenge	Menge der Artikeln, die zum Nachfragezeitpunkt aufgrund mangelnder Artikelverfügbarkeit nicht im Lager entnommen werden können.	Fehlbestandskosten	Bestandsmanagement Anlagenkonfiguration	Stück/Zeit
	Lagerreichweite mengenbezogen	$\frac{\text{Aktueller Lagerbestand (Stk. Teile)}}{\text{Verbrauch (Stk. Teile/t)}}$	Bestandshöhe auf Teileebene	IH-Strategie Bestellwesen Bestandsmanagement Anlagenkonfiguration	Zeit
	Lagerreichweite wertbezogen	$\frac{\text{Aktueller Lagerbestand (GE)}}{\text{Verbrauch (GE/t)}}$	Bestandskosten auf Teileebene	IH-Strategie Bestellwesen Bestandsmanagement Anlagenkonfiguration	Zeit

³⁸⁸ Quelle: in Anlehnung an Wagner, S., Weber, J. (2007) S. 13f.; Hug, W., Weber, J. (2011), S. 40.; Bäck, S. et al. (2007), S. 29.; Matyas, K. (2013), S. 87ff.; Schmidt, T., Hompel, M. ten. (2010), S. 68.; Biedermann, H. (2008), S. 90ff.

³⁸⁹ Quelle: in Anlehnung an Wagner, S., Weber, J. (2007) S. 13f.; Hug, W., Weber, J. (2011), S. 40.; Bäck, S. et al. (2007), S. 29.; Matyas, K. (2013), S. 87ff.; Schmidt, T., Hompel, M. ten. (2010), S. 68.; Biedermann, H. (2008), S. 90ff.

Tabelle 21: Strukturkennzahlen³⁹⁰

STRUKTURKENNZAHLEN	KENNZAHL	DEFINITION	FRAGESTELLUNG	EINFLUSSGRÖSSEN	EINHEIT	
	Bestandsmenge Artikelebene	Bestandsmenge Summe aller Artikel (Stk.)		Mehrfachteile, Mehrortteile,	Anlagenkonfiguration	Stück
				Mehrzweckteile	Bestandsmanagement	
	Bestandsmenge Teileebene	Bestandsmenge Summe aller Teile (Stk.)		Lagerbestand	Anlagenkonfiguration	Stück
				Sicherheitsbestand		
	Ersatzteilverrat	Bestandswert Summe aller Artikel (GE) x 100 Wiederbeschaffungswert der Anlage (GE)		Anlagenbestand vs.	Bestandsmanagement	%
Ersatzteilbestand				Anlagenkonfiguration		

In Tabelle 18 bis Tabelle 21 findet eine beispielhafte Aufstellung von Kennzahlen aus der Literatur zum Thema Ersatzteilwirtschaft statt. Zur Vereinfachung erfolgt dabei eine Clustering nach Themengebiet des Verwendungszweckes der Kennzahl.³⁹¹

3.5.3 Stellgrößen des Lagerbestands

Als globaler Ansatz im Ersatzteilmanagement gilt, dass Ersatzteilbestände dann bereitgestellt werden, wenn der erwartete wirtschaftliche Nutzen der Bevorratung größer ist als die mit der Bevorratung verbundenen Kosten. Durch eine erfolgsorientierte und optimale Dimensionierung der Ersatzteilbestände soll daher sichergestellt werden, dass bei etwaigen Betriebsausfällen und den damit verbundenen durchzuführenden Instandhaltungsmaßnahmen die erforderlichen Ersatzteile in der benötigten Qualität, Menge und Zeit auf möglichst wirtschaftliche Art und Weise zur Verfügung stehen.³⁹²

Das klassische Bestandsmanagement optimiert unter Einbeziehung aller relevanten Prozesse und Kosten die Höhe der Lagerbestände, wobei die Werkzeuge des Bestandsmanagements im Allgemeinen wie folgt lauten:

- Optimierung der Lagerdrehung und der Lagerreichweite
- Priorisierung der Artikel gemäß ABC-, XYZ-Klassifizierung
- Steuerung Nachfrageverhalten (deterministisch, stochastisch)
- Losgrößenoptimierung
- Sicherheitsbestandoptimierung
- Durchlaufzeitenoptimierung
- Optimierung Lagerhaltungsstrategie in Bezug auf Bestandssteuerung (Bestellzeitpunkt, Bestellmenge)

³⁹⁰ Quelle: in Anlehnung an Wagner, S., Weber, J. (2007) S. 13f.; Hug, W., Weber, J. (2011), S. 40.; Bäck, S. et al. (2007), S. 29.; Matyas, K. (2013), S. 87ff.; Schmidt, T., Hompel, M. ten. (2010), S. 68.; Biedermann, H. (2008), S. 90ff.

³⁹¹ Gemäß Literatur existiert eine Vielzahl von Logistik/Lagerbestandskennzahlen, jedoch erfolgt aufgrund der hier besprochenen Thematik „Ersatzteilmanagement“ bereits im Vorfeld eine Selektion nach Kennzahlen zum Verwendungszweck „Ersatzteillogistik“. Bzw. ist die Definition der Kennzahl ebenfalls abhängig von der Branche und der betriebsinternen Organisation.

³⁹² Vgl. Biedermann, H. (2008), S. 82f.

Für die Optimierung von Ersatzteillagern sind aus dieser Aufstellung jedoch nicht alle Werkzeuge geeignet. Allgemein gültig sind bei der Auslegung und Dimensionierung von Ersatzteillagern vier zusammenhängende Fragen abzuklären:³⁹³

- Welche Artikel sollen vorgehalten werden?
- Wie viele Teile sollen von einem Artikel vorgehalten werden?
- Wie viele Teile sollen zur Wiederauffüllung des Lagerbestandes bestellt werden?
- Wann soll zur Wiederauffüllung des Lagerbestandes bestellt werden?

Die erste Frage zielt darauf ab, ob Ersatzteilstände für alle möglichen Artikel anzulegen sind, oder ob im Sinne einer selektiven Lagerhaltung nur ganz bestimmte Ersatzteile bevorratet werden (siehe Abschnitt 3.4.2). Durch die Klärung der restlichen drei Fragen wird dann unter Berücksichtigung von Maßnahmen der Ersatzteilbedarfsplanung und -disposition die Höhe der Ersatzteillagerbestände festgelegt.³⁹⁴

Um die Prinzipien des Zugangs- und Abgangsverlaufes eines Lagers darzustellen, kann das aus der Produktionslogistik bekannte Trichtermodell (siehe Abbildung 41) herangezogen werden. Die dabei unerwünschten Zustände, die sich im Lager einstellen können, sind zum einen ein zu hoher Lagerbestand (hohe Lagerkosten) oder zum anderen eine Unterdeckung (Fehlbestandskosten aufgrund eines Produktionsausfalls). Der Trichter (Lager) selbst dient dem Ausgleich von Unregelmäßigkeiten bei Zu- und Abgängen von Ersatzteilen. An den Zu- und Abgangskurven ist graphisch abzulesen, wie hoch der theoretisch notwendige Bestand sein muss. Aufgrund von ungeplanten Instandsetzungsarbeiten kann hierbei die Lagerabgangskurve stark schwanken. Oberstes Ziel des Ersatzteilbestandsmanagements ist es, den Lagerbestand so gering wie möglich zu halten ohne einen Fehlbestand zu erzeugen.³⁹⁵

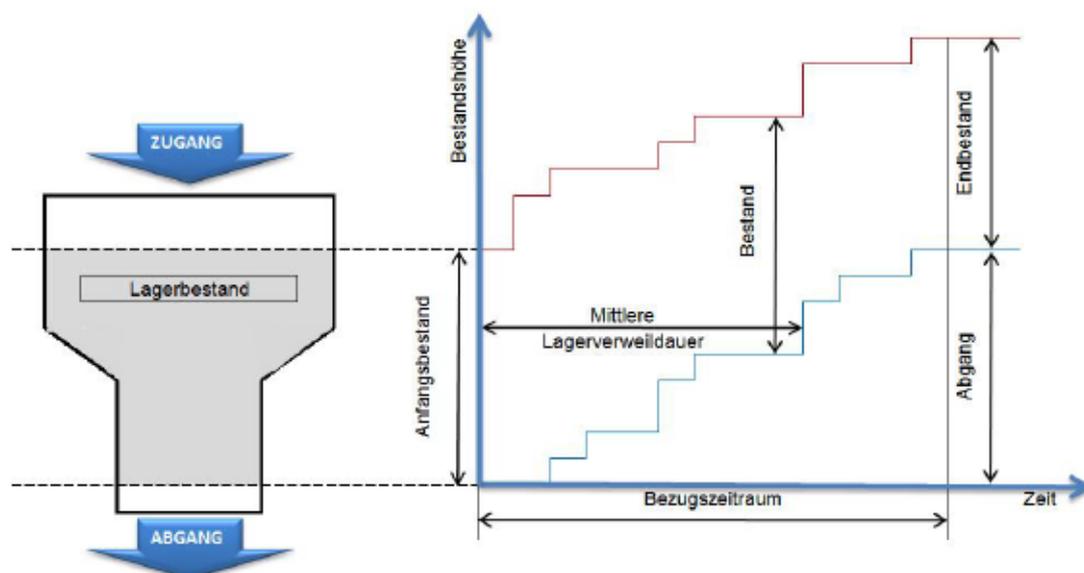


Abbildung 41: Trichtermodell und Lagerdurchlaufdiagramm³⁹⁶

³⁹³ Vgl. Matyas, K. (2013), S. 160.

³⁹⁴ Vgl. Matyas, K. (2013), S. 160f.

³⁹⁵ Vgl. Matyas, K. (2013), S. 165ff. Unter Berücksichtigung des festgelegten Servicegrades.

³⁹⁶ Quelle: in Anlehnung an Matyas, K. (2013), S. 165.

Für eine tiefergehende Betrachtung ist es zweckmäßig, einen detaillierten Blick auf die elementaren Parameter des Lagerbestandsverlaufs zu werfen. Abbildung 42 zeigt in vereinfachter Darstellung anhand des Sägezahnmodells unabhängig von der Lagerbewirtschaftungsstrategie die wesentlichen Parameter, die mit dem **Lagerbestand** verknüpft sind.

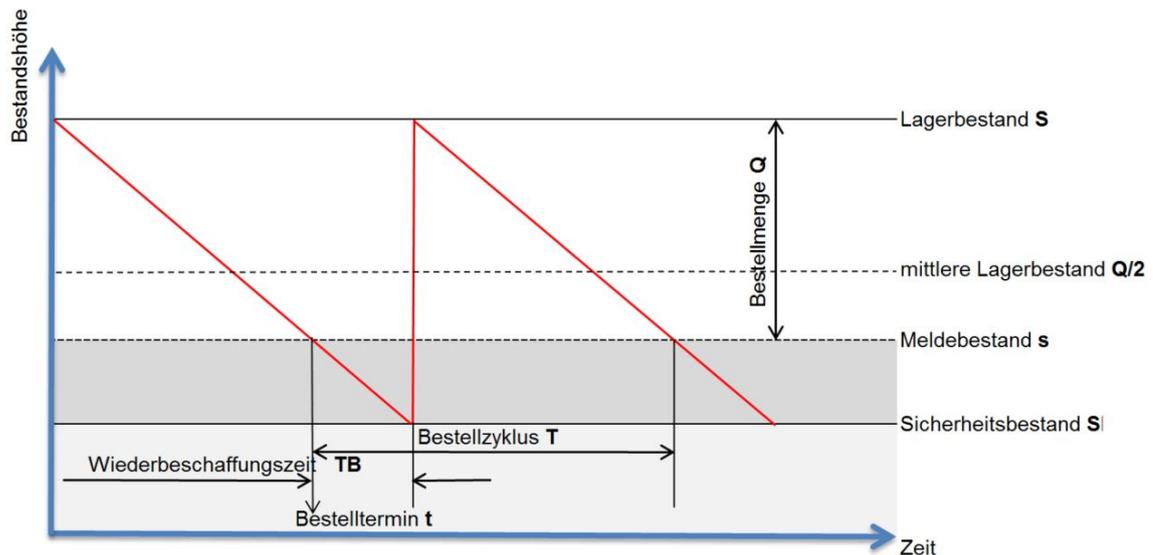


Abbildung 42: Lagerbestandsparameter³⁹⁷

Die **Bestellmenge** ist jene Menge, mit der der Lagervorrat wieder ergänzt wird. Je größer die Bestellmenge ist, bzw. je weniger häufig bestellt wird, desto größer ist der durchschnittlich im Lager vorhandene Bestand, welcher als **mittlerer Lagerbestand** bezeichnet wird. Die erste dispositive Herausforderung liegt in der Optimierung der Bestellmenge. Als Mindestbestellmenge wird die Differenz zwischen dem aktuell verfügbaren Bestand und dem Soll-Lagerbestand bezeichnet. Der **gesamte Durchschnittsbestand** inkludiert zum mittleren Bestand noch den **Sicherheitsbestand**. Dieser Sicherheitsbestand kompensiert zum einen die Schwankungen der geplanten Ersatzteillieferungen im Lager bei Nachbestellung und zum anderen die nachfrageseitigen Bedarfsschwankungen seitens des Betriebs. Ein geringer Sicherheitsbestand erhöht zwar das Risiko von Fehlbestandskosten, verursacht aber auch geringere Lagerkosten und ist somit das zweite steuernde Element praktischer Lagerhaltungsdispositionen. Die **Wiederbeschaffungszeit** definiert auch den sogenannten **Meldebestand**³⁹⁸ (Bestellbestand), da dieser den Zeitpunkt der Vorratsergänzung/Nachbestellung auf Basis der geplanten Lieferzeiten determiniert. Der Meldebestand muss so gewählt sein, dass er in der Lage ist, den Wiederbeschaffungszeitraum zu überbrücken ohne den Sicherheitsbestand zu unterschrei-

³⁹⁷ Quelle: in Anlehnung an Matyas, K. (2013), S. 164.

³⁹⁸ Laut Bichler ist der Meldebestand determiniert durch Wiederbeschaffungszeit, Überprüfungszeit, Genauigkeit der Verbrauchsvorhersage und Zuverlässigkeit des Lieferanten. Vgl. Bichler, K. (1984), S. 102.

ten. Die Wiederbeschaffungszeit besteht aus der Bestelldurchlaufzeit und der reinen Lieferzeit des Artikels.³⁹⁹

Abhängig von der gewählten Dispositionspolitik und der daraus resultierenden Bestandssteuerung erfolgt die Auffüllung des Lagerbestandes, wobei diese vergangenheitsorientiert (verbrauchsgesteuerte Disposition) oder zukunftsorientiert (auftragsgesteuerte bzw. plangesteuerte Disposition) ausgerichtet sein kann. Im Wesentlichen hängt die Entscheidung der verwendeten Dispositionsart von der Qualität der Bedarfsvorhersage und der Wertigkeit der Ersatzteile ab. Somit ergibt sich als weiterer Ansatzpunkt die Diversifikation von unterschiedlichen Dispositionsstrategien, sozusagen eine Anpassung der Strategie an das jeweilige Ersatzteil, was im Folgenden diskutiert wird.

3.5.4 Ersatzteildisposition

Der Ersatzteilbestand einer Periode wird im Wesentlichen durch die Lagerzugänge und Lagerabgänge festgelegt, wobei zwei grundsätzliche Modelle zur Verfügung stehen. Bei Verwendung des materialwirtschaftlich geprägten Dispositionsansatzes in der Ersatzteilmirtschaft liegt der Schwerpunkt im Bereich des Lagerzuganges bei den Bereitstellungsstrategien. Die Lagerabgänge werden dabei auf Basis von Verbräuchen aus der Vergangenheitsdaten berechnet. Bei Verwendung eines zuverlässigkeitstheoretisch ausgerichteten Bevorratungsmodells wird der Ersatzteilbedarf auf Basis des Ausfallsverhaltens von Anlagen zur Berechnung herangezogen. Die folgenden Betrachtungen finden auf Basis des materialwirtschaftlich ausgerichteten Modells statt.⁴⁰⁰

Das Ziel der operativen Bedarfsplanung ist die Bestimmung des **quantitativen Materialbedarfes** (Wann soll wieviel beschafft werden?) über den gesamten Planungszeitraum. Ausgangsdaten für die Ermittlung des Bedarfes sind entweder Ist-Verbrauchsdaten der Vergangenheit (vergangenheitsbezogen) oder Plandaten für einen zukünftigen Verbrauch (zukunftsbezogen). Eine fundierte Bedarfsermittlung ist die Basis für die darauf aufbauenden Lagerbewirtschaftungspolitiken.⁴⁰¹ Dabei muss die Disposition um eine stetige Optimierung der konkurrierenden Zielsetzung zwischen bestmöglicher Lieferperformance und minimalster Kapitalbindung bemüht sein.⁴⁰²

Eine teiledifferenzierte Strategiebetrachtung für die Bedarfsermittlung von Ersatzteilen versucht dem breiten Ersatzteilspektrum Rechnung zu tragen, indem unterschiedliche Logistikstrategien für die spezifischen Ersatzteileigenschaften ausgewählt werden. Hierbei ist der Einfluss der verwendeten Instandhaltungsstrategie auf die Logistikstrategie für

³⁹⁹ Vgl. Matyas, K. (2013), S. 163ff.; Biedermann, H. (2008), S. 42 bis 43. Als Wiederbeschaffungszeit wird der Zeitraum von der Bedarfsmeldung am Disponenten bis zum Zeitpunkt, zu dem die Materialien dem Bedarfsträger zur Verfügung stehen, verstanden. Und beinhaltet somit die Beschaffungszeit, Lieferzeit, Transportzeit, Prüfungszeit und Einlagerungszeit.

⁴⁰⁰ Vgl. Hug, W. (1986), S. 327ff.

⁴⁰¹ Vgl. Biedermann, H. (2008), S. 34f.; Bäck, H. (1987), S. 211.

⁴⁰² Vgl. Hartmann, H. (2005), S. 272. Die Disposition nimmt hier gemäß Hartmann bei der Erfolgs- und Liquiditätsbeeinflussung eine Schlüsselstellung ein.

die Ersatzteilbewirtschaftung von unverzichtbarer Bedeutung.⁴⁰³ Rein materialwirtschaftlich ausgerichtete Ersatzteillagerhaltungsmodelle differenzieren sich von den rein zuverlässigkeitstheoretisch geprägten Modellen. Die wesentlichen Bestimmungsparameter sind hierbei:⁴⁰⁴

- Bestelltermin (t) und Bestellzyklus (T)
- Bestellmenge (Q)
- Meldebestand (s)
- Soll-Lagerbestand (S)
- Sicherheitsbestand (SI)

Für das rein materialwirtschaftlich ausgerichtete Ersatzteilmanagement bedeutet dies eine Kombination der verschiedensten Dispositionsstrategien im Bereich der Bedarfsrechnung für Ersatzteile mit unterschiedlichsten Ausprägungen gemäß ABC-XYZ-Analyse, um daraus konkrete Handlungsempfehlungen für die Bewirtschaftungsstrategien zu entwickeln.⁴⁰⁵ Zusammenfassend ist zur Thematik optimaler Ersatzteilbestand festzuhalten, dass die Bestellmenge (**wieviele**) und der Bestellzeitpunkt (**wann**) die entscheidenden Einflussfaktoren für eine optimale Bestandssteuerung sind.⁴⁰⁶

3.5.4.1 Bedarfsermittlung

Die Bedarfsermittlung für Ersatzteile gehört mitunter zu den schwierigsten Dispositionsproblemen in der Ersatzteillogistik.⁴⁰⁷ Da sich die Ersatzteillogistik grundsätzlich von der Beschaffungslogistik, wie diese in der Produktionslogistik eingesetzt wird, unterscheidet, spielen z.B. Rabatte durch Skaleneffekte bei der Materialbeschaffung eine sekundäre Rolle. Das Charakteristikum Fehlbestand nimmt jedoch den primären Stellenwert ein, weil ein nicht verfügbares Ersatzteil im Störfall erhebliche Produktionsausfallkosten nach sich ziehen kann. Die Herausforderung im Ersatzteilmanagement liegt nun in der Voraussage wann, welche Artikel in welcher Menge bereitgestellt werden müssen. Die wesentlichen Strategien in der Ersatzteilbedarfsrechnung sind in Abbildung 44 dargestellt.⁴⁰⁸ Prinzipiell können drei Methoden zur Ersatzteilbedarfsermittlung unterschieden werden. Diese werden durch das Verbrauchsverhalten, Verbrauchsmenge, Wiederbeschaffungszeit, Fehlbestandskosten und den Materialwert der Ersatzteile beeinflusst.⁴⁰⁹

⁴⁰³ Gemäß Einleitung wird der Einfluss der Instandhaltungsstrategie auf die Ersatzteillogistik in dieser Arbeit nicht betrachtet sondern ausschließlich mit den Möglichkeiten der Bereitstellungsoptimierung gearbeitet.

⁴⁰⁴ Vgl. Biedermann, H. (2008), S. 31f.

⁴⁰⁵ Vgl. Pawellek, P. (2013), S. 238f.; Biedermann, H. (2008), S. 34f.

⁴⁰⁶ Vgl. Biedermann, H. (2008), S. 31f.

⁴⁰⁷ Vgl. Heuer, G. (1992) S. 456f.

⁴⁰⁸ Vgl. Pawellek, P. (2013), S. 239ff.; Heuer, G. (1992) S. 456f.

⁴⁰⁹ Vgl. Matyas, K. (2013), S. 161f.; Pawellek, P. (2013), S. 239ff.; Hoppe, M. (2012), S. 296ff.; Hartmann, H. (2005), S. 276ff.

- **Deterministische Bedarfsrechnung** (plangesteuert): Bedarfsmenge wird gemäß Anforderung/Planung exakt determiniert.
 - Nachfragesynchrone Disposition
 - Einsatzsynchrone Disposition
- **Stochastische Bedarfsrechnung** (verbrauchsgesteuert): Bedarfsmenge orientiert sich an der Vergangenheit.
 - Bestellmengen Disposition
 - Bestellzeitpunkt Disposition
- **Subjektive Bedarfsrechnung** (heuristisch): Schätzung, Erfahrungswerte
 - Basis ist die persönliche Meinung einer oder mehrerer Personen

Heuristische Bedarfsermittlungen basieren auf subjektiven Schätzungen der Disponenten und lassen sich in zwei Formen unterteilen. Dies ist zum einen, ob der Disponent intuitiv schätzt (Intuitivschätzung) oder ob zum anderen seine Vermutungen auf logische Zusammenhänge (Analogschätzung) aufbauen. Aufgrund des hohen Unsicherheitsfaktors wird dieses Verfahren in der Praxis nur bei Artikeln mit geringem Teilewert eingesetzt.⁴¹⁰

Die deterministische Bedarfsrechnung (programmorientierte Bedarfsrechnung) benötigt eine Vorplanung in der Form von Planprimärbedarfen bzw. Reservierungen seitens der Instandhaltung, auf deren Basis dann direkt die Bedarfe eingeplant werden können.⁴¹¹ Unterschieden wird hierbei die nachfragesynchrone Bedarfsermittlung, in der nur die benötigte Menge beschafft und bis zum tatsächlichen Bedarf zwischengelagert wird, und die einsatzsynchrone Bedarfsermittlung, in der die exakte Bedarfsmenge beschafft und direkt an den Einbauort geliefert wird. Die Zwischenlagerung der Ersatzteile entfällt in dieser Variante. Im Gegensatz zur deterministischen Bedarfsrechnung basiert in der stochastischen Bedarfsrechnung der Prozessablauf rein auf Vergangenheitsdaten resultierend aus Materialbewegungen im Lager. Die Bestellmengen Disposition löst eine Beschaffung aus, wenn bestimmte festgelegte Kennzahlen (z.B. Meldebestand) erreicht sind. Im Unterschied dazu wird bei der Bestellzeitpunkt Disposition zu einem festgelegten Termin unabhängig von der Bestandshöhe ein Beschaffungsvorgang basierend auf einer vorgegebenen Losgröße ausgelöst. Diese Art der Bedarfsermittlung ist im Bereich der Bestandsführung sehr einfach und mit wenig Aufwand durchzuführen, jedoch ist das Risiko von Fehlmengen oder zu hohen Lagerbeständen äußerst hoch.⁴¹² Laut Matyas und Biedermann ist allerdings das stochastische Modell in der Ersatzteillogistik die wichtigste Methode zur Bedarfsermittlung. Mittels mathematisch-statistischer Berechnungen wird dabei eine rein theoretische Prognosemenge für die Zukunft erstellt.⁴¹³

⁴¹⁰ Vgl. Alsfasser, P. (2007), S. 28.

⁴¹¹ Die Grenzen des deterministischen Dispositionsverfahren liegen vor allem in der Unsicherheit des Ausfallverhaltens von Anlagen und ist als solches zumeist nur bei periodisch vorbeugender Instandsetzung und einem hohen Anteil von identischen Mehrerteilen anwendbar. Vgl. Biedermann, H. (2008), S. 35f.

⁴¹² Vgl. Pawellek, P. (2013), S. 240ff.; Hoppe, M. (2012), S. 296ff.

⁴¹³ Vgl. Matyas, K. (2013), S. 168.; Biedermann, H. (2008), S. 34f.

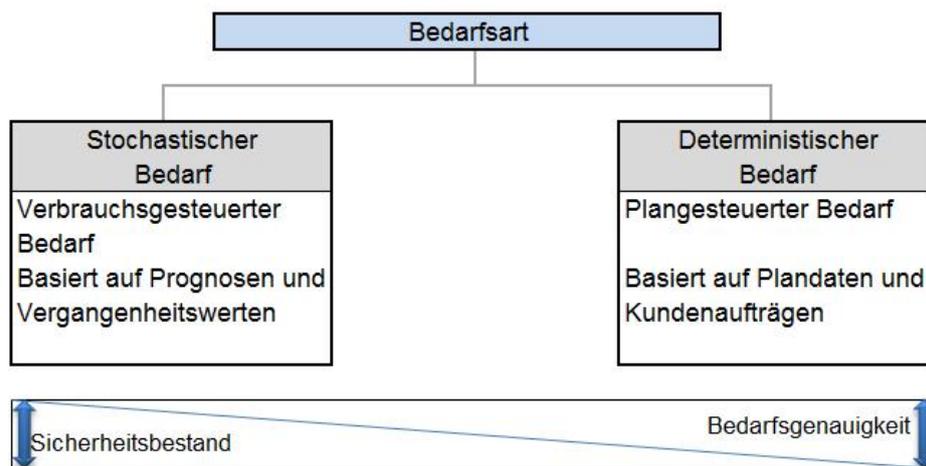


Abbildung 43: Einfluss der Bedarfsart auf den Sicherheitsbestand und die Bedarfsgenauigkeit⁴¹⁴

Für die Kombination der beschriebenen Dispositionsstrategien (siehe Abbildung 43) mit den verfolgten Instandhaltungsstrategien ergeben sich folgende Restriktionen. Stochastischen Beschaffungsstrategien können grundsätzlich für alle Instandhaltungsstrategien eingesetzt werden, da jedes Mal eine Lagerhaltung von Ersatzteilen notwendig ist. Die deterministische Bedarfsermittlung benötigt jedoch das Vorhandensein von exakten Verbrauchsdaten, um eine terminbezogene Beschaffung mit dem richtigen Ersatzteillumfang durchführen zu können.

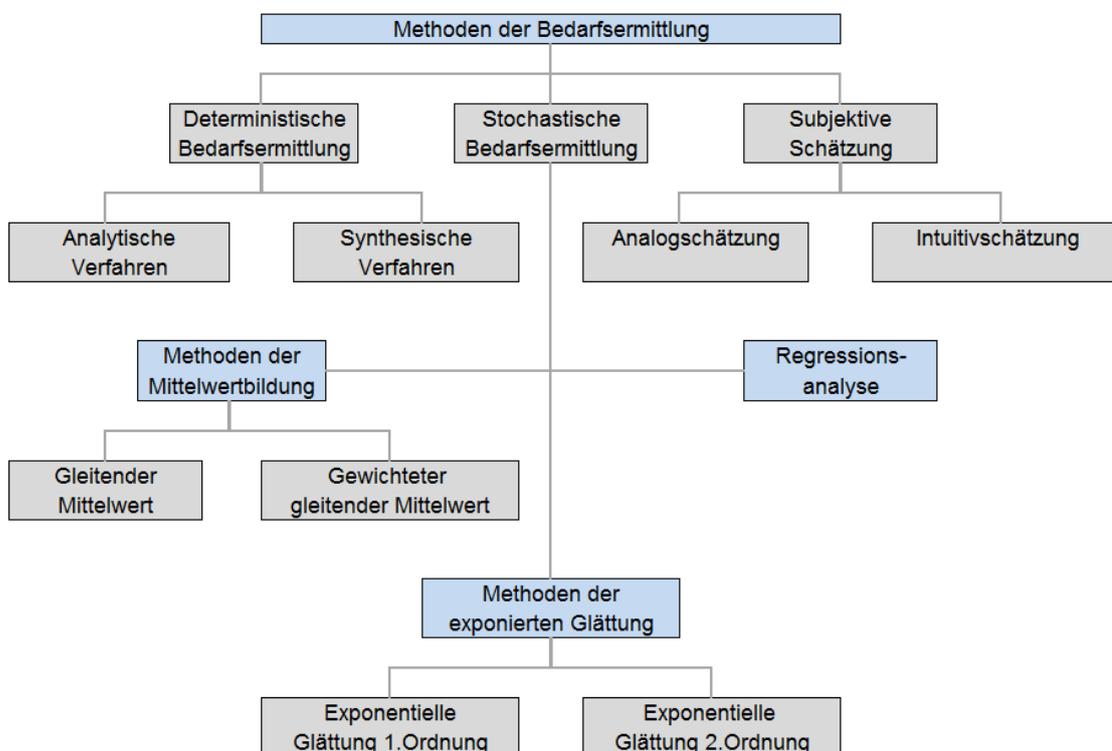


Abbildung 44: Methoden der Bedarfsermittlung⁴¹⁵

⁴¹⁴ Quelle: eigene Darstellung.

⁴¹⁵ Quelle: in Anlehnung an Matyas, K. (2013), S. 161.; Hartmann, H. (2005), S. 284.

Laut Pawellek kann die Eignung der beschriebenen Dispositionspolitiken für unterschiedliche Ersatzteile mithilfe von Merkmalen des Ersatzteils dargestellt werden (siehe Tabelle 22). Für eine bedarfsbezogene Beschaffung eignen sich demnach besonders Ersatzteile, von denen nur wenige Teile im Zeitverlauf (Jahresverbrauchsmenge) benötigt werden, die eine hohe Verbrauchsstetigkeit besitzen, d.h. regelmäßig gebraucht werden und kostenintensiv in der Anschaffung sind.⁴¹⁶

Tabelle 22: Auswahl der Bedarfsermittlung⁴¹⁷

MERKMAL	DETERMINISTISCH		STOCHASTISCH	
	NACHFRAGESYNCHRON	EINSATZSYNCHRON	BESTELLMENGE	BESTELLZEITPUNKT
VERBRAUCHSMENGE	gering	groß	mittel	groß
VERBRAUCHSSTETIGKEIT	hoch	hoch	gering	gering
WERT	hoch	hoch	gering	gering
FEHLBESTANDSKOSTEN	mittel	hoch	mittel	gering
WIEDERBESCHAFFUNGSZEIT	gering	groß	gering	groß

Ein Werkzeug zur Ermittlung, welche Methode für welches Ersatzteil angewendet wird, stellt die ABC-XYZ-Analyse gemäß Tabelle 23 dar.⁴¹⁸

Tabelle 23: ABC-XYZ-Matrix mit Bedarfsermittlung der Dispositionsart⁴¹⁹

ABC-XYZ-KLASSIFIZIERUNG	WERTIGKEIT-A	WERTIGKEIT-B	WERTIGKEIT-C
	VERBRAUCH-X	•Deterministisch	•Deterministisch
VERBRAUCH-Y	•Übergang Deterministisch auf Stochastisch	•Übergang Deterministisch auf Stochastisch	•Stochastisch (Bestellzeitpunkt)
VERBRAUCH-Z	•Stochastisch	•Stochastisch (Bestellmenge)	•Stochastisch (Bestellmenge)

Durch Verwendung der ABC-XYZ-Analyse entsteht somit eine Entscheidungshilfe zur differenzierten Bedarfsermittlung aller Ersatzteilpositionen.

⁴¹⁶ Vgl. Pawellek, P. (2012), S. 242f.

⁴¹⁷ Quelle: in Anlehnung an Pawellek, P. (2012), S. 242.; Alsfasser, P. (2007) S. 41ff. Alsfasser benützt ebenfalls die Darstellung der kombinierten ABC- und XYZ-Analyse für eine zweidimensionale Produktklassifizierung, um den tendenziell zweckmäßigsten Bereitstellungs- bzw. Beschaffungsprozess festzulegen.

⁴¹⁸ Vgl. Matyas, K. (2013), S. 162.

⁴¹⁹ Quelle: Pawellek, P. (2012), S. 255.

3.5.4.2 Bestandssteuerung für das stochastische Modell

Aufbauend auf den Erkenntnissen aus Tabelle 23, mit welcher Dispositionspolitik gearbeitet werden soll, gilt es nun geeignete Verfahren anzuwenden, d.h. eine materialwirtschaftlich ausgerichtete verbrauchsbedingte Bestandsergänzung durchzuführen, um eine optimale Bestandssteuerung zur Bewirtschaftung in der jeweiligen Dispositionspolitik zu erreichen. Dabei wird im stochastischen Modell im Allgemeinen von kontinuierlichen Lagerabgängen ausgegangen, die aufgrund von Bedarfen in der Vergangenheit mathematisch errechnet werden können. Ziel der Bestandssteuerung ist es Lagerauffüllungen in Form einer Bestellung termingerecht so zu generieren, dass bis zur Verfügbarkeit des neuen Ersatzteils jede mögliche zwischenzeitliche Bedarfsanforderung abgedeckt werden kann und das Globalziel, ausreichende Lieferbereitschaft des Lagers zu minimalen Kosten, trotzdem gewährleistet ist.⁴²⁰

Da der Großteil der Ersatzteile stochastisch also vergangenheitsorientiert disponiert wird, wird hier nachstehend das Bestellzeitpunkt- und das Bestellmengen-Verfahren diskutiert. Je nach Lagerhaltungspolitik und -strategie existieren innerhalb dieser Verfahren weitere Variationsmöglichkeiten. Das stochastische Modell geht von einer durch Zufallseinflüsse bestimmte und somit schwer planbaren Nachfragestruktur aus. Die Planung und Steuerung der Lagerhaltung kann nur aufgrund von Bedarfsdaten aus der Vergangenheit erfolgen, aus welchen Bedarfe für die Zukunft abgeleitet werden. Aufgrund von Schwankungen der Bedarfszeiten, Bedarfsmengen und den Lieferzeiten sind Lagerhaltungsstrategien bezogen auf **Bestellbestand** und **Bestelltermin** zu entwickeln, mit denen auf die wechselnden Rahmenbedingungen reagiert werden kann.⁴²¹

Der **Bestellbestand** gibt an, wie viele Teile eines Artikels bestellt werden sollen, und kann ebenfalls auf zwei Arten geregelt werden:⁴²²

- Bestellmenge Q wird einmal festgelegt und bleibt dann konstant.
- Bestellmenge Q ist individuell und ergibt sich aus der Differenz von Ist-Lagerbestand zu Soll-Lagerbestand.

Der **Bestelltermin** gibt an, wann eine Bestellung ausgelöst werden soll, und kann auf zwei Arten festgelegt werden:⁴²³

- Bestellauslösung, sobald bei einer Entnahme der Meldebestand s erreicht wird.
- Bestellauslösung erfolgt in festgelegten Zeitintervallen T bzw. zum festgelegten Bestelltermin t für alle Artikel, bei denen durch Entnahme der Meldebestand s erreicht ist (Verbundstrategie).

Auf Basis von Kombination der oben genannten Parameter können nun Verfahren zur Bestandssteuerung definiert werden.

Bei dem Verfahren mit dem Parameter „**Bestellbestand**“ sind dies das Bestellpunkt-System (s,Q -Politik) und das Optionalsystem (s,S -Politik) gemäß Abbildung 45 und Ta-

⁴²⁰ Vgl. Biedermann, H. (2008), S. 55ff.

⁴²¹ Vgl. Matyas, K. (2013), S. 168f.; Biedermann, H. (2008), S. 55ff.; Günther, H. O., Tempelmeier, H. (2005), S. 253.

⁴²² Vgl. Matyas, K. (2013), S. 168f.

⁴²³ Vgl. Matyas, K. (2013), S. 168f.

belle 24. In der s,Q -Strategie erfolgt nach Erreichen einer kritischen Bestandsmenge s eine Bestellauslösung mit einer fixen vorab definierte Bestellmenge Q . Im Gegensatz dazu wird bei der s,S -Strategie anstatt einer fixen Bestellmenge ein Soll-Lagerbestand S vorgegeben, auf welchen das Lager durch Bestellung der Differenzmenge wieder aufgefüllt wird. Bei beiden Verfahren wird der Lagerbestand bei jeder Entnahme überprüft. Der Unterschied in den beiden Verfahren liegt in der Auswirkung der Bestellmenge auf die Soll-Lagerbestandshöhe; nämlich dann, wenn bei einer einzigen Entnahme der Bestellpunkt deutlich unterschritten und/oder diskontinuierlich entnommen wird, was laut Biedermann in der Regel bei Ersatzteil-Normbauteilen (Mehrortteilen) wahrscheinlich ist. Allgemein benötigt das Optionalsystem jedoch einen geringeren Planungsaufwand und auch geringere Lagerkapazitäten. Darüber hinaus existiert zum Optionalsystem noch eine zusätzliche Variante, nämlich das spezielle Optionalsystem ($s-1,S$ -Politik). In dieser Variante wird nach jedem Lagerabgang eine Auffüllung auf den Soll-Lagerbestand angestoßen. Somit eignet sich diese Politik für besonders hochwertige selten ausfallende Teile.

Nachdem der verfügbare Bestand den Ersatzteilbedarf im Zeitraum von der Bestellauslösung bis zum Einlangen der neuen Lieferung abdecken sollte, muss die kritische Bestandsmenge so festgelegt werden, dass der voraussichtliche Bedarf gedeckt werden kann. Sinngemäß ist der Bestellbestand immer von den Bedarfsprognosen und von der Lieferzuverlässigkeit des Ersatzteillieferanten abhängig. Beide Kriterien sind mit der Höhe des Sicherheitsbestandes zu berücksichtigen. Somit ergeben sich drei Möglichkeiten: erstens den Meldebestand konstant halten, zweitens den Meldebestand laufend aktualisieren und bei jedem Überprüfintervall aktuell anpassen (gleitender Meldebestand) oder drittens den Bestellpunkt über die Lagerreichweite bei jeder Überprüfung neu berechnen. Im dritten Fall wird der Bestellpunkt nicht mehr als Mengeneinheit sondern als Zeiteinheit angegeben.⁴²⁴

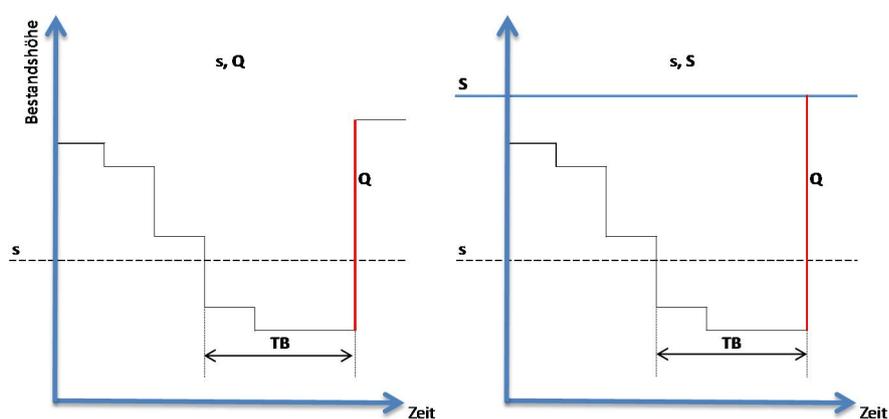


Abbildung 45: Bestellsystem (s,Q -Politik) und das Optionalsystem (s,S -Politik)⁴²⁵

⁴²⁴ Vgl. Matyas, K. (2013), S. 168f.; Biedermann, H. (2008), S. 32f.; Biedermann, H. (2008), S. 56ff.

⁴²⁵ Quelle: in Anlehnung an Matyas, K. (2013), S. 168.

Der Vorteil dieser Politiken liegt in der konsequenten Überwachung der Lagerbestände und der Lagerabgänge. Welches der beiden Systeme verwendet wird, liegt laut Biedermann in den betrieblichen Rahmenbedingungen.⁴²⁶

Tabelle 24: Merkmale der Bestellpolitiken (s,Q-Politik) und (s,S-Politik)⁴²⁷

MERKMAL	STRATEGIE	
	s,Q-POLITIK	s,S-POLITIK
BESTELLPERIODE	variabel	variabel
BESTELLMENGE	fix	variabel
BESCHREIBUNG	Bei Erreichen des Meldebestandes wird eine fixe Menge bestellt	Bei Erreichen des Meldebestandes wird auf einen Sollbestand aufgefüllt
STÄRKEN	Berücksichtigung auftretender Bedarfsschwankungen	Höchstbestände sind limitiert, Fehlbestände werden vermieden
SCHWÄCHEN	Lagerbestand muss nach jeder Entnahme überprüft werden	Lagerbestand muss nach jeder Entnahme überprüft werden
GÜTERART	A,B/Y,Z	A/Z

Bei Lagerbewirtschaftungsstrategien basierend auf dem „Bestelltermin“ siehe Abbildung 46 und Tabelle 25 ist das Bestellzyklussystem (t,Q-Politik) und das Bestellrhythmusssystem (t,S-Politik) zutreffend.

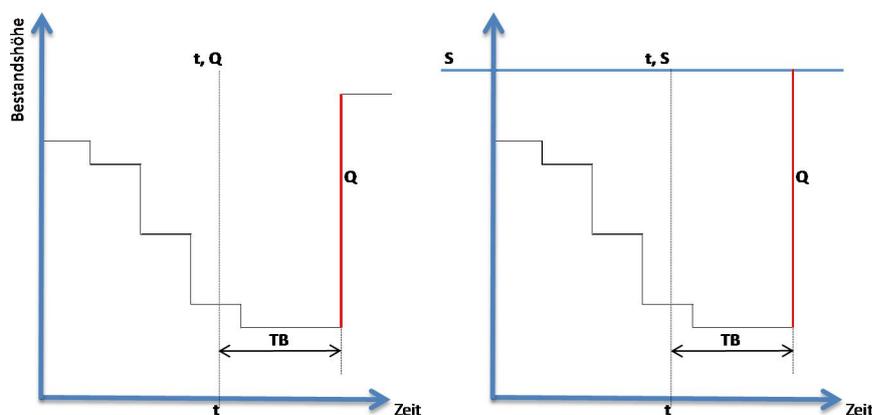


Abbildung 46: Bestellzyklussystem (t,Q-Politik) und das Bestellrhythmusssystem (t,S-Politik)⁴²⁸

⁴²⁶ Vgl. Biedermann, H. (2009), S. 58f. Gemäß Biedermann ist speziell für die Lagerhaltung in der Ersatzteilwirtschaft ein selektives Vorgehen notwendig. Die materialwirtschaftlich ausgerichteten und in ihrer Grundstruktur nicht ersatzteilspezifischen Modelle erfahren erst dann eine wesentliche Erweiterung, wenn ersatzteilspezifische zuverlässigkeitstheoretische Modelle, die konkreten hinter dem Ersatzteilbedarf stehenden Ausfallsmechanismen der Betriebsmittel bzw. die gewählte Instandhaltungsstrategie berücksichtigen. Weitere Einflussgrößen, wie die Anlagenstruktur, die Instandsetzbarkeit, die mögliche Bereitstellungshäufigkeit von Ersatzteilen und natürlich die Höhe der Fehlmengenkosten von Ersatzteilen erweitern die Möglichkeiten und Verfahren zur Optimierung der Ersatzteilwirtschaft beträchtlich. Vgl. hierzu Biedermann, H. (2008), S. 58.

⁴²⁷ Quelle: Grün, O. et al. (2006), S. 124.

Im Bestellzyklussystem erfolgt eine Bestellauslösung mit einer fix vorab definierten Bestellmenge Q . Eine Bestellung erfolgt hierbei nur zum vorgegebenen Bestelltermin und wird zum betreffenden Zeitpunkt nur dann ausgelöst, wenn eine Erreichung bzw. Unterschreitung einer kritischen Bestandsmenge s erfolgt ist. Im Bestellrhythmusystem ist wiederum anstatt der fix vorab definierten Bestellmenge Q eine variable Bestellmenge zur Wiederauffüllung des Soll-Lagerbestandes zutreffend. Eine laufende Bestandsführung ist für beide Strategien nicht notwendig, jedoch sollte mittels einer periodischen Bestandsüberprüfung der Verbrauch der vergangenen Bestellperiode ermittelt werden. Je häufiger diese Analyse erfolgt, desto genauer kann die optimale Bestellmenge definiert werden.⁴²⁹

Tabelle 25: Merkmale der Bestellpolitiken (t,Q-Politik) und (t,S-Politik)⁴³⁰

MERKMAL	STRATEGIE	
	t,Q-POLITIK	t,S-POLITIK
BESTELLPERIODE	fix	fix
BESTELLMENGE	fix	variabel
BESCHREIBUNG	In konstanten Intervallen wird die konstante Menge bestellt	In konstanten Intervallen wird der Lagerbestand auf den Sollbestand aufgefüllt
STÄRKEN	Einfache Handhabung, besonders geeignet für Fälle mit langfristigem konstanten Bedarf	Einfache Handhabung, eignet sich zur Limitierung der Höchstbestände
SCHWÄCHEN	Bei unregelmäßigem Bedarf, stark schwankende Lagerbestände und Gefahr von Fehlbeständen	Bei unregelmäßigem Bedarf besteht die Gefahr von Fehlbeständen
GÜTERART	C/X	B,C/X,Y

In der betrieblichen Praxis stellt sich die Ermittlung der kostenminimalen Dispositionspolitik aufgrund der Komplexität in der Artikelvielfalt und Teileanzahl als sehr aufwendig heraus. Die Einflussfaktoren Reaktionsverzögerung und Kostenwirkung spielen hierbei eine Rolle. Bei der Reaktionsverzögerung neigt die (t,S-Politik) zu dem größten antizyklischen Verhalten (hohe Bestände bei geringem Bedarf und umgekehrt) im Vergleich zur (s, S-Politik) oder zur (s, Q-Politik). Grund hierfür ist die periodische Überwachung auf Basis geringer Zeitintervallbreiten.⁴³¹ Kostenseitig gilt bezogen auf die Lagerbestandskosten (Aufgrund der Höhe der Sicherheitsbestände) folgendes Ranking der Dispositionspolitiken:⁴³²

$$K(s, S) < K(s, Q) < K(t, S)$$

⁴²⁸ Quelle: in Anlehnung an Matyas, K. (2013), S. 169.

⁴²⁹ Vgl. Biedermann, H. (2008), S. 32f.; Biedermann, H. (2008), S. 57f.

⁴³⁰ Quelle: Grün, O. et al. (2006), S. 124.

⁴³¹ Vgl. Robrade, A. D. (1991), S. 129–130.

⁴³² Vgl. Robrade, A. D. (1991), S. 131.

Und haben entsprechend dieser Reihenfolge auch eine praktische Bedeutung und Relevanz für die Ersatzteilbewirtschaftung.

Beim „**erweiterten Bestellzyklussystem**“ (TsQ-Politik) und dem erweiterten Bestellrhythmusystem (TsS-Politik) gemäß Abbildung 47 gilt neben dem Bestellbestand s , der Bestellmenge Q , dem Soll-Lagerbestand S als vierter Parameter das Bestellintervall T . Somit stellen diese Verfahren Erweiterungen zu den oben genannten beiden Lagerhaltungssystemen dar. Eine Bestellung erfolgt hierbei nur periodisch im Intervall T und wird in der betreffenden Periode nur dann ausgelöst, wenn eine Erreichung bzw. Unterschreitung einer kritischen Bestandsmenge s erfolgt ist. Im erweiterten Bestellrhythmusystem ist wiederum anstatt der fix vorab definierten Bestellmenge Q eine variable Bestellmenge zur Wiederauffüllung des Soll-Lagerbestandes zutreffend. Eine laufende Bestandsführung ist für beide Strategien nicht notwendig. Jedoch stellt dieser zusätzliche Parameter T laut Matyas eine Restriktion bei der Wahl des Bestellzeitpunktes dar, der nur zu schlechteren bzw. gleichen Ergebnissen wie bei reinen s, Q - oder s, S -Strategien führt. Die durch den Einsatz einer Strategie mit Bestellzyklus bzw. Bestellrhythmus entstehenden Mehrkosten können nur durch Effekte aus Bestellauslösungen (Vermeidung von Kleinstbestellungen) in größeren Intervallen kompensiert werden, was jedoch in der Ersatzteilwirtschaft äußerst schwierig ist, da Skaleneffekte nicht zum Tragen kommen.⁴³³

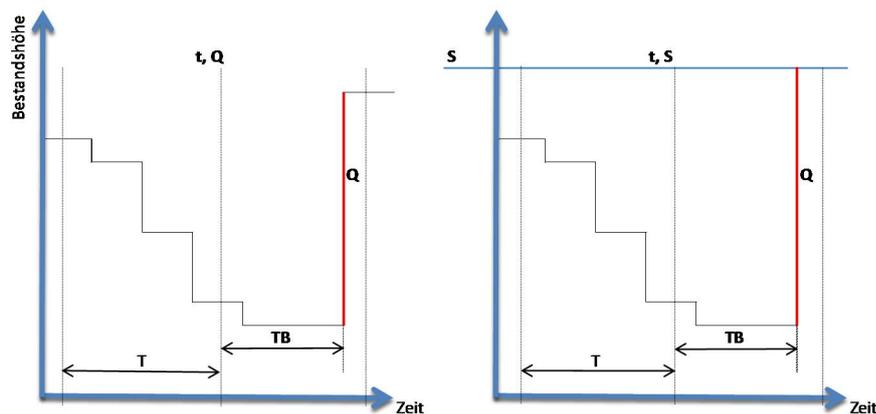


Abbildung 47: Erweitertes Bestellzyklussystem (TsQ-Politik) und erweitertes Bestellrhythmusystem (TsS-Politik)⁴³⁴

Als Ergänzung zu den oben genannten Ausführungen ist bei hypersporadischem Bedarf noch das Nullpunktverfahren erwähnenswert. Hierbei wird erst der Nachschub ausgelöst, wenn der Bestand auf null fällt. Das Nullpunktverfahren ist ein Verfahren, bei dem der Meldebestand und der Sicherheitsbestand gleich Null sind. Die Bestellfrequenz ergibt sich selbstregelnd aus dem aktuellen Bedarf. Es erfordert keine Prognoserechnung und keine Berechnung des Sicherheitsbestandes.⁴³⁵

⁴³³ Vgl. Matyas, K. (2013), S. 169f.; Biedermann, H. (2008), S. 33f.

⁴³⁴ Quelle: in Anlehnung an Matyas, K. (2013), S. 169.

⁴³⁵ Vgl. Gudehus, T. (2011), S. 195ff. Als sporadisch werden Bedarfe bezeichnet, deren Anteil der Perioden ohne Abruf des Artikels über 50% liegt.

Tabelle 26: Dispositionspolitiken

ABC-XYZ-KLASSIFIZIERUNG		WERTIGKEIT-A	WERTIGKEIT-B	WERTIGKEIT-C
	VERBRAUCH-X	•Deterministisch	•Deterministisch	•Stochastisch (Bestellzeitpunkt) (t,Q-Politik), bzw. (t,S-Politik)
	VERBRAUCH-Y	•Übergang Deterministisch auf Stochastisch (s,Q-Politik)	•Übergang Deterministisch auf Stochastisch (s,Q-Politik)	•Stochastisch (Bestellzeitpunkt) (t,S-Politik)
	VERBRAUCH-Z	•Stochastisch (s,S-Politik), bzw. (s,Q-Politik)	•Stochastisch (Bestellmenge) (s,Q-Politik)	•Stochastisch (Bestellmenge) (s,Q-Politik)

Tabelle 26 zeigt zusammenfassend bezüglich der empfohlenen Dispositionspolitiken je Güterart bezogen auf Wert und Verbrauchsverhalten die anzuwendenden Bestellsysteme.

3.5.4.3 Prognoserechnung

Auf Basis des vorangegangenen Ersatzteilbedarfs und des dazugehörigen Zeitverlaufs ist es möglich, den zukünftigen Bedarf im Sinne einer Prognose zu errechnen. Damit eine möglichst hohe Vorhersagegenauigkeit erreicht werden kann, muss das zum Einsatz kommende Prognosemodell an den identifizierten Bedarfsverlauf angepasst sein. Dazu sind folgende grundsätzliche Daten und Datenstrukturen von Interesse: die im Zeitintervall tatsächlich aufgetretenen Verbräuche und die daraus errechneten Prognosewerte. Um die Qualität des Prognosemodells zu evaluieren, ist es erforderlich eine ex post Prognose zu erstellen um dann die mithilfe des Vorhersageverfahrens errechneten ex post Prognosewerte mit den tatsächlichen Verbräuchen zu vergleichen. Als Qualitätskriterium wird dabei der sogenannte Prognosefehler herangezogen, welcher sich aus der Differenz der tatsächlichen Verbräuche und den ex post Prognosewerten ergibt.⁴³⁸ Gemäß Abbildung 44 kommen für die Bedarfsermittlung folgende Vorhersageverfahren zum Einsatz:⁴³⁷

- Methode des arithmetischen Mittelwertes
- Methode der exponentiellen Glättung (1. Ordnung oder bei starker Trendentwicklung 2. Ordnung)
- Regressionsanalyse

Einen wichtigen Einfluss bei der Bedarfsprognose hat der betrachtete Vorhersagezeitraum einer Prognoserechnung. Je weiter sich das Prognosefenster, also der Vorhersa-

⁴³⁸ Vgl. Corsten, H. (2007), S. 407f.

⁴³⁷ Vgl. Hartmann, H. (2005), S. 315f. In der Praxis haben sich laut Hartmann die Verfahren der Mittelwertbildung und der exponentiellen Glättung durchgesetzt.

gezeitraum, in die Zukunft erstreckt, desto mehr nimmt auch der Vorhersagefehler zu, d.h. desto größer wird dieser.⁴³⁸

Eine der einfachsten und am häufigsten verwendeten Prognoseverfahren ist die Bildung des arithmetischen Mittelwertes.⁴³⁹ Bei konstantem Bedarf (hohe Verbrauchsstetigkeit) um einen Mittelwert empfiehlt es sich, den zukünftigen Bedarf durch die Ermittlung des arithmetischen Mittelwertes zu errechnen, d.h. bei Zeitreihen, die keinen trendförmigen oder saisonalen Verlauf aufweisen. Zufallsbedingte Unregelmäßigkeiten im Zeitreihenverlauf werden nicht berücksichtigt.⁴⁴⁰ Dabei werden aus der Vergangenheit nicht alle Werte sondern lediglich die n neuesten Verbrauchswerte herangezogen.⁴⁴¹

$$M_{i+1} = \frac{1}{n} * \sum_{k=i+1-n}^i M_k \quad (1)$$

Das Hauptproblem ist hierbei die Festlegung der Größe n (Anzahl der betrachteten Perioden). Je kleiner n bemessen wird, desto eher wird dabei auf Verbrauchsschwankungen reagiert, jedoch darf n auch nicht zu klein sein, weil dann zufällige Schwankungen in der Zeitreihe nicht genügend ausgeglichen werden können.⁴⁴² Somit versagt diese Methode, sobald eine hohe Verbrauchsschwankung auftritt.⁴⁴³

Da sich der berechnete gleitende Mittelwert auf Vergangenheitswerte bezieht, ist zu beachten, dass bei einem steigenden oder fallenden Trend stets der gleitende Mittelwert hinterherhinkt. Aus diesem Grund ist es ratsam, sich der Methode der exponentiellen Glättung (siehe Tabelle 27) zu bedienen; bei diesem Verfahren fließen jüngste Vergangenheitsdaten mit hohem Aktualitätsbezug mit einer höheren Gewichtung in die Prognoserechnung ein als alte Vorhersagedaten.⁴⁴⁴ Zu unterscheiden ist dabei die Variante erster Ordnung, bei der Abschnitte der Zeitreihe, Trend- oder Saisoncharakter besitzen, sich aber in Stärke und Dauer nicht eindeutig ausprägen, von der Variante zweiter Ordnung, die auf eine starke Trendentwicklung eingeht und somit rascher auf den tatsächlichen Verlauf der Bedarfswerte reagiert.⁴⁴⁵

Dies bedeutet für den exponentiell geglätteten Mittelwert 1. Ordnung:⁴⁴⁶

$$P = P' + a * (M - P') \quad (2)$$

⁴³⁸ Vgl. Hartmann, H. (2005), S. 317f.

⁴³⁹ Vgl. Kluck, D. (2008), S.88.

⁴⁴⁰ Vgl. Hoppe, M. (2012), S. 217f.

⁴⁴¹ Vgl. Corsten, H. (2007), S. 408f.

⁴⁴² Vgl. Corsten, H. (2007), S. 408f

⁴⁴³ Vgl. Hartmann, H. (2005), S. 318f.

⁴⁴⁴ Vgl. Hoppe, M. (2012), S. 217f.; Corsten, H. (2007), S. 410f.

⁴⁴⁵ Vgl. Hoppe, M. (2012), S. 224–226.

⁴⁴⁶ Vgl. Biedermann, H. (2008), S. 65f.; Investor-Verlag, <http://www.investor-verlag.de/technische-analyse/der-exponentielle-gleitende-durchschnitt/105020102/> (Zugriff: 15.02.2016); Hartmann, H. (2005), S. 323ff.

Tabelle 27: Mittelwertberechnungsparameter⁴⁴⁷

P	Prognosewert (exponentiell geglätteter Mittelwert) für die neue Periode (Stück/Monat)
P'	Prognosewert für die laufende Periode (Stück/Monat)
M	gegenwärtiger tatsächlicher Bedarf (Stück/Monat)
a	Glättungsfaktor = $2/(n+1)$

Mit zunehmender Periodenlänge steigt dabei das Gewicht der Vergangenheitsdaten entsprechend einer Exponentialfunktion, ausgedrückt durch den Glättungsfaktor. Dieser bestimmt auch, mit wieviel Gewicht der Prognosefehler berücksichtigt wird.⁴⁴⁸

Tabelle 28: Tendenzielle Wirkung unterschiedlicher a-Werte⁴⁴⁹

	"GROSSES" a	"KLEINES" a
Berücksichtigung von Vergangenheitswerten	gering	stark
Berücksichtigung neuester Werte	stark	gering
Glättung der Zeitreihe	gering	stark
Anpassung an Niveauverschiebungen	schnell	langsam

Der Nachteil in diesem Verfahren liegt darin, dass bei Perioden mit Nullbedarf ein Nullstand prognostiziert wird und die Berechnung dahingehend angepasst werden muss. Dies erfolgt unter Einbeziehung der tatsächlich eingetretenen Nachfragewerte in den vergangenen Perioden. Somit lässt sich der exponentiell geglättete Mittelwert 1. Ordnung dahingehend adaptieren.⁴⁵⁰

$$P = P' + a * \left(\sum_{i=1}^{T_B+1} M'_i - P' \right) \quad (3)$$

Die Prognose wird für den gesamten betrachteten Zeithorizont (Prognosehorizont + Lieferzeit $[T_B+1]$) summarisch erstellt und periodenweise gleitend korrigiert.

Die Differenz zwischen der Prognosemenge und dem tatsächlichen Bedarf der betreffenden Periode nennt sich Mittlere Absolute Differenz (MAD), wobei in die MAD_{NEU} Berechnung der Absolute Fehler (AF) und der Glättungsfaktor einfließt.

$$MAD_{NEU} = MAD_{ALT} + a (AF - MAD_{ALT}) \quad (4)$$

⁴⁴⁷ Vgl. Kluck, D. (2008), S. 91f.

⁴⁴⁸ Vgl. Kluck, D. (2008), S. 91f.; Hartmann, H. (2005), S. 324ff.

⁴⁴⁹ Quelle: Corsten, H. (2007), S. 412.

⁴⁵⁰ Vgl. Biedermann, H. (2008), S. 66f.

Eine Addition des MAD-Wertes (multipliziert mit dem gewünschten Sicherheitsfaktor) mit dem Prognosewert verbessert das Ergebnis der Prognoserechnung.

$$D = P + SF * MAD \quad (5)$$

Die Variante zweiter Ordnung, bei der der exponentiell geglättete Mittelwert auf eine stärkere Trendentwicklung eingeht, d.h. ein Trendmodell zugrunde liegt, wird folgendermaßen berechnet. Ausgangspunkt hierbei ist der exponentiell geglättete Mittelwert der 1. Ordnung.⁴⁵¹

- 1.) Berechnung des exponentiell geglätteten Mittelwerts 1. Ordnung

$$P_t^{(1)} = P_{t-1}^{(1)} + a * (M_{t-1} - P_{t-1}^{(1)}) \quad (6)$$

- 2.) Berechnung des exponentiell geglätteten Mittelwertes der 2. Ordnung, welcher gegenüber dem Mittelwert 1. Ordnung eine weitere Zeitverzögerung beinhaltet.

$$P_t^{(2)} = P_{t-1}^{(2)} + a * (P_t^{(1)} - P_{t-1}^{(2)}) \quad (7)$$

- 3.) Berechnung des Steigungsmaßes für die Prognosefunktion. Aufgrund der Möglichkeit einer Trendänderung in jeder Periode wird der Anstieg jedes Mal berechnet.

$$b_t = \frac{1-a}{a} * (P_t^{(1)} - P_t^{(2)}) \quad (8)$$

- 4.) Berechnung des Mittelwertes der laufenden Periode

$$P_t = P_t^{(1)} + \frac{1-a}{a} * b_t \quad (9)$$

- 5.) Der Prognosewert für die nächste Periode mittels der Methode exponentiell geglätteter Mittelwert der 2. Ordnung lautet nun

$$D = P_t + b_t \quad (10)$$

Die Regressionsanalyse beschreibt die Art des Zusammenhangs zwischen zwei Merkmalen; die Bedarfsentwicklung wird dabei als Gerade in Abhängigkeit der Zeit (oder aber anderer Abhängigkeiten) dargestellt. Der Vorhersagewert wird ermittelt, indem in die Punktmenge (tatsächliche Bedarfswerte) aus der Vergangenheit eine Gerade platziert. Und zwar so, dass diese Gerade die Punktmenge bestmöglich wiedergibt.⁴⁵²

Ergänzend sei an dieser Stelle noch auf die Croston-Methode verwiesen. Diese versucht das Auftreten einer Periode mit Bedarfen und die Bedarfsmenge vorherzusagen. Diese zweistufige Prognoserechnung kombiniert zunächst aus der mittleren Bedarfshöhe auf der exponentiellen Glättung basierende Schätzwerte mit der Berechnung der mittleren Dauer zwischen den Nachfragen.⁴⁵³

⁴⁵¹ Vgl. Hartmann, H. (2005), S. 330ff. Die im Exponenten (hochgestellte Ziffer in Klammern) angeführte Zahl weist auf den Grad der exponentiellen Ordnung hin.

⁴⁵² Vgl. Kluck, D. (2008), S. 93-94.

⁴⁵³ Vgl. Hoppe, M. (2012), S239ff.

3.5.4.4 Bestellmengenrechnung

Ausgehend von der Annahme, dass in der Ersatzteilbewirtschaftung die Bestellmenge und Liefermenge identisch sind und somit die Menge dem Bedarf eines bestimmten Ersatzteiles entspricht, sind folgende Konventionen betreffend die Begrifflichkeit zu berücksichtigen:⁴⁵⁴

- Der Gesamtbedarf ist als Gesamtmenge eines in der Periode zu beschaffenden Ersatzteils zu betrachten.
- Die Bestellmenge ist jene Menge, die bei einem Lieferanten durch einen Auftrag erstellt wird.
- Die Liefermenge ist jene Menge, die als geschlossene Lieferung im Unternehmen eintrifft.

Grundsätzlich kann die Bestellmenge auf zwei Arten definiert werden. Erstens als Mindestbestellmenge zum Auffüllen eines vorgegebenen Soll-Lagerbestands bzw. zweitens in der Form einer Losgrößenoptimierung als optimale Bestellmenge.

Die **Mindestbestellmenge** entspricht dem Bedarf (z.B. s,S-Politik) zwischen dem verfügbaren Bestand und dem Lagerhöchstbestand (Soll-Lagerbestand). Eine Mindestbestellmenge tritt bei Bewirtschaftungsstrategien mit fix vorab definierten Bestellmengen (z.B. s,Q-Politik) nicht auf.⁴⁵⁵

Gemäß Hartmann und Savvoglou sind folgende Vor- bzw. Nachteile gegeben, die für die Verwendung einer Mindestbestellmengenstrategie sprechen: Durch die ausschließliche Lagerauffüllung auf den Soll-Lagerbestand wirkt sich dies zum einen positiv auf die Bestandshöhe aus (da es zu keiner Überschreitung der max. Bestandshöhe kommt), zum anderen entfällt die Berechnung der optimalen Bestellmenge und der Bedarfsprognose. Negativ hingegen sind der Entfall von Mengenrabatten bei Bedarfsbündelungen und höhere Bestellabwicklungskosten, da wesentlich öfter mit unterschiedlichen Kleinstmengen gearbeitet wird. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass dieses Verfahren nur dann sinnvoll ist, wenn die fixen Bestellabwicklungskosten sehr gering sind, Preisvorteile durch Mengenrabatte (was bei Ersatzteilen zutrifft) nicht realisiert werden können und die Anzahl von Lagerzugängen keiner Restriktion unterliegt. Als Alternative zur Mindestbestellmengenstrategie ist die Bestellmengenoptimierung zu sehen.⁴⁵⁶

Im Rahmen der Beschaffungsprogrammplanung ist die Festlegung der **optimalen Bestellmenge** vor allem bei s,Q- und t,Q-Politiken ein wichtiges Thema. Da es hierbei keinen Soll-Lagerbestand gibt, steht in diesem Ansatz eine Optimierung des Mixes aus Beschaffungskosten und Lagerhaltungskosten im Vordergrund. Soll diese Strategie angewendet werden, so ist es erforderlich den Bedarf eines definierten Zeitraums (Periode) zu kennen. Wird der Bedarf zu Periodenbeginn gestellt, entspricht die Bestellmenge der der Bedarfsmenge und der Gesamtbedarf liegt auf Lager. Beträgt jedoch die Bestell-

Hartmann, H. (2005), S. 388ff.

(93), S. 9ff.; Lokad, <https://www.lokad.com/de/optimale->
(Zugriff: 02.03.2016).

⁴⁵⁴ Vgl. Biedermann, H. (2008), S. 37ff.; H

⁴⁵⁵ Vgl. Biedermann, H. (2008), S. 37f.

⁴⁵⁶ Vgl. Hartmann, T., Savvoglou, C. (19
bestellmenge-eoq-definition-und-formel

Vorgehen basiert auf den Kosten, die wiederum von der Bestellmenge abhängen. D.h. die Bestellkosten erreichen ein Minimum, wenn die Bestellmenge maximiert wird.⁴⁵⁷

Das Grundmodell zur Berechnung der optimalen Bestellmenge ist die klassische Losgrößenberechnung (siehe Abbildung 48). Diese Abbildung zeigt die grafische Darstellung der optimalen Bestellmenge in Abhängigkeit der Jahresgesamtkosten und der Bestellmenge. Die zu errechnende Bestellmenge Q ist jene Menge eines Ersatzteils, bei der die Kosten je beschaffter Mengeneinheit insgesamt ein Minimum (Bestehend aus den Bestellkosten und den Lagerhaltungskosten) erreichen. Anschließend wird die Losgrößenberechnung durchgeführt.⁴⁵⁸

Tabelle 29: Losgrößenberechnungsparameter⁴⁵⁹

m	Bestellmenge
m_{opt}	gesuchte optimale Bestellmenge (Q)
D	prognostizierte Jahresmenge
K_f	von der Bestellmenge unabhängige fixe Bestellkosten
K_E	Einstandspreis je Mengeneinheit
Z_s	Zinssatz für das während eines Jahres durchschnittlich gebundene Kapital (%)
L_s	Lagerkostensatz für die während eines Jahres durchschnittlich gebundenen Kosten der Lagerhaltung in % des durchschnittlichen Lagerwertes
L_{hs}	Lagerhaltungskostensatz (=Z _s +L _s) in % des durchschnittlichen Lagerwertes
K	Gesamtkosten
n	Bestellhäufigkeit (=M/m)

Unter der Annahme, dass ein gleichmäßig über das Jahr verteilter Lagerabgang (annähernd konstant) erfolgt, lassen sich die Gesamtkosten, bestehend aus Beschaffungskosten in der Planperiode und den Lagerhaltungskosten in der Planperiode, wie folgt berechnen.⁴⁶⁰

$$K = \text{Beschaffungskosten} + \text{Lagerhaltungskosten} = K_f \cdot \frac{D}{m} + \frac{m}{2} \cdot K_E \cdot \frac{(Z_s + L_s)}{100}$$

⁴⁵⁷ Vgl. Biedermann, H. (2008), S. 38ff.

⁴⁵⁸ Vgl. Biedermann, H. (2008), S. 50ff.; Corsten, H. (2007), S. 446ff.

⁴⁵⁹ Quelle: Biedermann, H. (2008), S. 50.

⁴⁶⁰ Vgl. Biedermann, H. (2008), S. 51f. Die Herleitung der Andlerschen Bestellmengenrechnung ist in dieser Darstellung vernachlässigt.

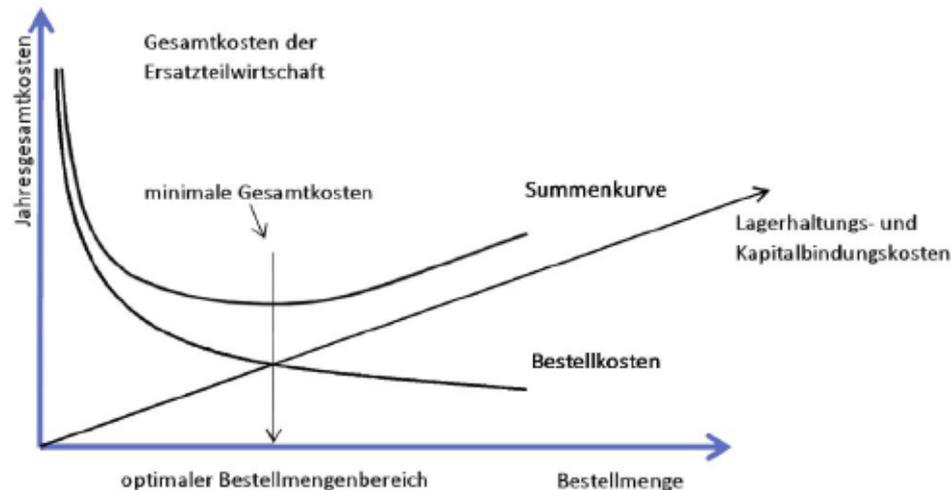


Abbildung 48: Graphische Darstellung der optimalen Bestellmenge⁴⁶¹

Als optimal gilt jene Bestellmenge, bei der die Summe aus fixen und variablen Kosten (Gesamtkosten) im Planungszeitraum ein Minimum aufweist.⁴⁶² Die optimale Bestellmenge auf Basis des Jahresbedarfs ergibt sich aus der klassischen Losgrößenformel.⁴⁶³

$$m_{opt} = \sqrt{\frac{200 * D * K_f}{K_E * (Z_S + L_S)}} \quad (11)$$

In der Praxis empfiehlt Hartmann, die Bestellmenge über einen längeren Zeitraum nicht zu verändern und Abweichungen vom Optimum innerhalb des Bereichs von etwa 30% nach unten und ca. 50% nach oben in Kauf zu nehmen.⁴⁶⁴

Bei Vorliegen eines schwankenden Bedarfs bietet sich die Verwendung einer dynamischen Bestellmengenrechnung an. Hierbei fließen die Rechnungsparameter als variable dynamische Größen in das Berechnungsmodell ein. Als Ausgangspunkt der optimierenden Näherungsverfahren wird der ermittelte IST-Eindeckungs- bzw. Unterdeckungstermin verwendet. Dies bedeutet am Beispiel der Methode der „gleitenden wirtschaftlichen Bestellmenge“ folgendes:⁴⁶⁵

Sie baut auf der Eigenschaft der Andlerischen Formel auf, dass die jährlichen Gesamtkosten an der gleichen Stelle ihr Minimum aufweisen wie die gesamten Stückkosten pro Mengeneinheit. Dabei wird aufgrund des schwankenden Bedarfs in den Teilperioden das Minimum der Bereitstellungskosten gesucht. Das Grundprinzip besteht hierbei im Vergleich der Stückkosten, die bei der Zusammenfassung der Periodenbedarfe entstehen. Dieser Rechenschritt wird solange fortgesetzt, bis die Stückkosten bei Hinzunahme ei-

⁴⁶¹ Quelle: in Anlehnung an Grün, O. et al. (2006), S. 122.; Bichler, K. (1984), S. 87.

⁴⁶² Grün, O. et al. (2006), S. 122.

⁴⁶³ Vgl. Biedermann, H. (2008), S. 51f. Durch Umstellen der Gleichung ergibt sich die optimale Bestellhäufigkeit oder der optimale Bestellwert. Lokad empfiehlt für eine praxisbezogene Anwendung die Verwendung der Prognosemenge für die Dauer des Intervalls. Vgl. Lokad, <https://www.lokad.com/de/optimale-bestellmenge-eoq-definition-und-formel> (Zugriff: 02.03.2016).

⁴⁶⁴ Vgl. Hartmann, H. (2005), S. 405.

⁴⁶⁵ Vgl. Hartmann, H. (2005), S. 410ff.

nes weiteren Periodenbedarfs wieder ansteigen. Anschließend wird mit der Berechnung des nächsten Loses begonnen, die solange läuft, bis das nächste Minimum gefunden wurde. Die optimale Bestellmenge ist bei diesem Verfahren in der Periode mit den geringsten Stückkosten gefunden.⁴⁶⁶

m_{opt} = Kumulierter Bedarf bis zu der Teilperiode für die gilt:

$$\text{Minimum von } \frac{\text{Bestellkosten} + \text{kumulierte Lagerhaltungskosten}}{\text{kumulierten Bedarf}}$$

3.5.4.5 Der Sicherheitsbestand

Der Mindestbestand von Ersatzteilen, der für Ausnahmefälle auf Lager liegt, wird als Sicherheitsbestand (SI) bezeichnet (siehe Abbildung 49). Ausnahmefälle sind abnormales und unvorhergesehenes Abgangs- bzw. auch Zugangsverhalten von Ersatzteilen bei Lager Zu- und Abgängen sowie Bestandsunsicherheiten. Vor allem aber in der stochastischen Bedarfsermittlung besteht ein Fehlmengenpotential in Bezug auf die Bedarfsprognosedaten. Diese Vielfachen Einflüsse, insbesondere durch Verbrauchsabweichungen, Bestands- und Liefermengenabweichungen sowie Schwankungen im Liefertermin, sind im Lagerbestandsverlauf sichtbar. Der Sicherheitsbestand ist ein weiteres steuerndes Element praktischer Lagerhaltungsdisposition, dessen Höhe vom vorgegebenen bzw. angestrebten Servicegrad (SG) in Bezug auf Fehlmengen abhängt.⁴⁶⁷

Der Servicegrad drückt hierbei die Wahrscheinlichkeit aus, dass es aufgrund einer bestimmten Höhe des Sicherheitsbestandes zu Fehlbestandskosten mangels Nichtverfügbarkeit von Ersatzteilen kommt. Somit führt ein Anstieg des Sicherheitsbestandes die Ersatzteilverfügbarkeit in Richtung 100%. Der Sicherheitsfaktor ist der Servicegrad umgewandelt in ein Fehlerniveau unter Zuhilfenahme der Normalverteilung. Zwischen dem Ziel „Maximierung des Servicegrades“ und „Minimierung der Lagerhaltungskosten“ besteht folglich eine konfliktäre Beziehung.⁴⁶⁸ Strunz definiert in diesem Zusammenhang drei Klassen des Servicegrades (ereignisorientiert, mengenorientiert und zeitorientiert).⁴⁶⁹

Im Gegensatz zum Sicherheitsbestand sind unter Risikobestand jene Ersatzteilmengen zu verstehen, die nur einmal bzw. zweimal als Ersatzteilverrat vorhanden sind. Dies dient ausschließlich zum Zwecke eventuelle hohe Ausfallkosten abzufangen (Stückbestandsbewirtschaftung bzw. verzögerte Stückbestandsbewirtschaftung bietet sich hierbei

⁴⁶⁶ Vgl. Hartmann, H. (2005), S.412ff.

⁴⁶⁷ Vgl. Biedermann, H. (2008), S. 43f. Je gravierender die Auswirkungen einer Unterdeckung in Bezug auf Fehlmengenkosten eingeschätzt werden, desto höher wird der Servicegrad und somit der Sicherheitsbestand angesetzt. Dies wiederum impliziert das der Servicegrad für jeden Artikel bzw. Artikelgruppe individuell festgelegt werden muss. Vgl. Hartmann, H. (2005), S. 425ff.

⁴⁶⁸ Vgl. Lokad, <https://www.lokad.com/de/berechne-sicherheitsbestand-anhand-verkaufsprognose> (Zugriff: 15.02.2016).; Corsten, H. (2007), S. 459.; Hoppe, M. (2012), S. 437.

⁴⁶⁹ Vgl. Strunz, M. (2012), S. 606.

an).⁴⁷⁰ Zur Festlegung des optimalen Sicherheitsbestandes werden grundsätzlich drei praktische Verfahren angewendet:⁴⁷¹

- Die Einbeziehung eines festen Sicherheitsbestands aufgrund von Erfahrungswerten und Vergangenheitsdaten
- Heuristische Funktionen
- Festlegung des Sicherheitsbestandes in Abhängigkeit vom Lieferbereitschaftsgrad

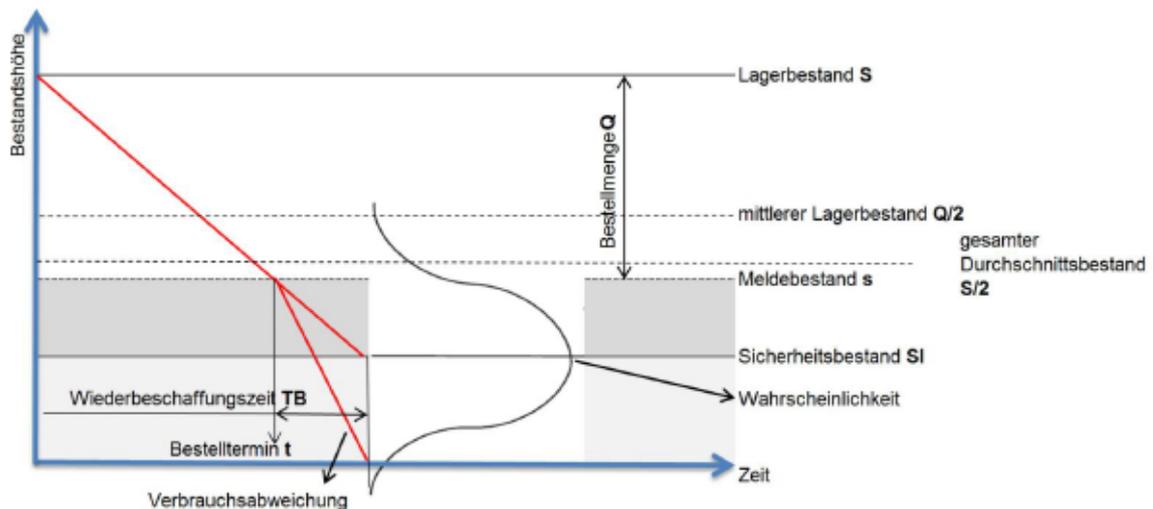


Abbildung 49: Logik des Sicherheitsbestandes⁴⁷²

In der Praxis wird bei manueller Disposition oftmals mit einem **festen Sicherheitsbestand SI** disponiert. Er deckt den möglichen Zusatzverbrauch während der Beschaffungszeit. Dazu bieten sich folgende Berechnungsmöglichkeiten an:⁴⁷³

- Höchster Tagesverbrauch mal längste Beschaffungszeit in Tagen
- Der Sicherheitsbestand wird als %-Satz aus durchschnittlicher Beschaffungszeit und der Lagerabgangsrate gebildet.
- Berechnung unter Einbeziehung aller möglichen Abweichungen

$$SI = \sqrt{TL^2 + V^2 + M^2 + B^2} \quad (12)$$

Tabelle 30: Sicherheitsbestandsparameter⁴⁷⁴

SI	Sicherheitsbestand
T_L	Lieferzeitabweichung
V	Verbrauchsabweichung
M	Minderlieferung
B	Bestandsabweichungen

⁴⁷⁰ Vgl. Biedermann, H. (2008), S. 65f.; Strunz, M. (2012), S. 597.

⁴⁷¹ Vgl. Biedermann, H. (2008), S. 43f.

⁴⁷² Quelle: in Anlehnung an Hartmann, H. (2005), S. 424.; Bretzke, W. R. (2008), S. 134.

⁴⁷³ Vgl. Biedermann, H. (2008), S. 44f.

⁴⁷⁴ Vgl. Hartmann, H. (2005), S. 430.

- Mittels heuristische Festlegung des Sicherheitsbestandes, als Funktion des durchschnittlichen Lagerabganges, der Streuung des Lagerabganges und der durchschnittlichen Beschaffungszeit, wobei hier unter Vorhandensein von hinreichender qualitativer Datenbasis sehr wohl befriedigende Ergebnisse erzielt werden können.⁴⁷⁵
- Die Festlegung des Sicherheitsbestandes in Abhängigkeit vom Lieferbereitschaftsgrad des Sicherheitsbestandes, bei denen Verteilungsfunktionen zugrunde liegen. Und zwar Verteilungsfunktionen die dem Abgangsverhaltens des Lager- bzw. Bedarfsverhaltens der Ersatzteile am besten entsprechen. (Wobei beispielhaft unter Einbeziehung des Servicegrades eine Normalverteilung zugrunde gelegt wird, siehe hierzu Abbildung 50.) Die Höhe des Sicherheitsbestand ergibt sich aus dem Produkt der Standardabweichung des Fehlers (MAD) plus Sicherheitsfaktor (SF).⁴⁷⁶

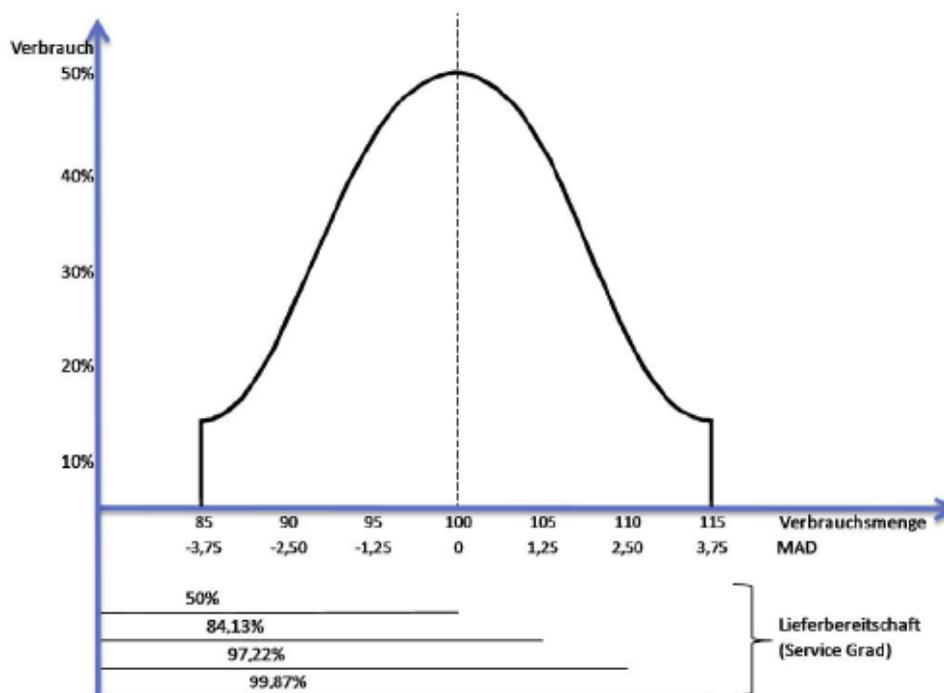


Abbildung 50: Gaußsche Normalverteilung und MAD⁴⁷⁷

Wie Abbildung 50 verdeutlicht, kann ein Disponent, der sich an dem Durchschnittsverbrauch der Vergangenheit orientiert, nur mit 50%-iger Wahrscheinlichkeit damit rechnen, dass der zukünftige tatsächliche Verbrauch nicht größer als 100 Mengeneinheiten ist. Soll dagegen ein Servicegrad von 84,13% erreicht werden, so sind 105 Teile als Sicherheitsbestand auf Lager zu legen.⁴⁷⁸

⁴⁷⁵ Vgl. Biedermann, H. (2008), S. 45f.

⁴⁷⁶ Vgl. Hartmann, H. (2005), S. 432ff.

⁴⁷⁷ Quelle: in Anlehnung an Hartmann, H. (2005), S. 434.; Biedermann, H. (2008), S. 46.

⁴⁷⁸ Vgl. Biedermann, H. (2008), S. 45f.

3.6 Kosten in der Ersatzteillogistik

Allgemein definieren sich Logistikkosten durch diejenigen Kosten, die durch Planung, Steuerung, Kontrolle und Durchführung von Güterbewegungen anfallen.⁴⁷⁹ Die Leistung der Ersatzteillogistik drückt sich als Servicegrad hinsichtlich der Ersatzteilverfügbarkeit im Lager aus. Als Konterpart zum Logistikservice zeigen sich hierbei die Kosten der Ersatzteillogistik. Allgemein gilt in diesem Zusammenhang, dass je höher der Servicegrad (Anteil der verfügbaren Ersatzteile) definiert ist, desto höher sind auch die dafür anfallenden Logistikkosten.⁴⁸⁰ Diese Logistikkosten sind absolut branchenbezogen und werden speziell im Kontext mit der Ersatzteillogistik auch als Bestandskosten Total Inventory Cost (TIC) bezeichnet. Diese enthalten neben den Kosten für Betrieb und Instandhaltung der Lagerinfrastruktur zusätzlich die Kapitalbindungskosten für den Lagerbestand. Üblicherweise werden Bestandskosten als Prozentsatz des durchschnittlichen Lagerwertes beschrieben und dieser Prozentsatz als Lagerhaltungskostensatz auf Jahresbasis angegeben.⁴⁸¹ Eine exakte Berechnung des Lagerhaltungskostensatz pro Artikel ist aufgrund der oben genannten unternehmensspezifischen Einflussfaktoren äußerst schwierig. Lokad hat dazu als Ansatz mittels Literaturrecherche folgende grobe Schätzung einzelner Einflussfaktoren zusammengestellt.⁴⁸²

- Geldmarktsätze/Kapitalkosten/Finanzierungskosten: 6%–12%
- Abwertung: 6%–12%
- Steuern: 2%–6%
- Steuerungskosten: 3%–6%
- Lageraufwand: 2%–5%
- Physische Handhabung: 2%–5%
- Risikokosten: 3%–6%

Dies bedeutet, dass im Durchschnitt pro Jahr im besten Fall 24% (Lagerhaltungskostensatz) des Bestandswerts als Bestandskosten auflaufen. Aufgrund der erheblichen Kosten, die aus dem Titel Lagerbestand entstehen, sind Maßnahmen zur Kostenreduzierung natürlich äußerst sinnvoll. Obwohl nicht alle Ausgaben linear reduziert werden können (z.B. Lagerhalle oder Ausrüstung), ohne gleichzeitig die Organisation erheblich zu verändern, stehen die meisten Einflussfaktoren im direkten Zusammenhang mit dem Bestandswert und können somit als Prozentsatz des durchschnittlichen Inventarwertes quantifiziert werden.⁴⁸³

⁴⁷⁹ Vgl. Kestel, R. (1995), S. 30.

⁴⁸⁰ Vgl. Zsifkovits, H. E. (2012), S. 52 bis 54.

⁴⁸¹ Vgl. Lokad, <https://www.lokad.com/de/definition-lagerhaltungskosten> (Zugriff: 15.02.2016).

⁴⁸² Vgl. Lokad, <https://www.lokad.com/de/definition-lagerhaltungskosten> (Zugriff: 15.02.2016). Es handelt sich dabei um eine branchenübergreifende und nicht nur auf Ersatzteile bezogene grobe Schätzung.

⁴⁸³ Vgl. Bornemann, H. (1986), S. 12.; Lokad, <https://www.lokad.com/de/definition-lagerhaltungskosten> (Zugriff: 15.02.2016).

Der Zusammenhang zwischen dem Bestandwert, Lagerhaltungskostensatz und den Bestandskosten lautet wie folgt:⁴⁸⁴

$$\text{Bestandskosten} = \text{Bestandwert} \times \text{Lagerhaltungskostensatz}$$

Die Bestandskosten für die Ersatzteillagerung werden dabei neben den indirekte Aufwendungen die durch Disponieren, Beschaffen, Einlagern, Lagern, Auslagern und Aussondern durch direkte Aufwendungen (Lagerinventar) während der Lagerzeit entstehen.⁴⁸⁵ Determiniert werden diese Kosten in Summe durch die Höhe der Ersatzteilbestände und die damit vernetzten Prozesse.⁴⁸⁶ Somit lassen sich die anfallenden Logistikkosten in Kategorien zusammenfassen:⁴⁸⁷

- **Kapitalkosten** entstehen durch das Vorhalten von Ersatzteilen und beinhalten neben den Kapitalbindungskosten (Eigen- und Fremdkapital), Abwertungen, Entsorgungskosten und eventuelle Reparaturkosten für die Ersatzteilaufbereitung.
- **Lenkungkosten** fallen für das Abwickeln der Ersatzteildisposition, die Ersatzteilbeschaffung und das Steuern der Material-, Beleg- und Informationsflüsse sowie für Buchhaltung, Rechnungsverarbeitung, Planungs- und Controllingtätigkeiten an.
- **Lagerkosten** resultieren aus dem Bereitstellen und Vorhalten der Lagerinfrastruktur (Gebäude, Gebäudeausrüstung und Equipment) inkl. Versicherungskosten, Steuern sowie der operativen Bewirtschaftung in Form von Lagerhandlings- und Lagerorganisationskosten, inkl. Third Party Logistics (3PL) Provider bei Outsourcing der Lagerbewirtschaftung.
- **Transportkosten** umfassen die Transport- und Fördermittelkosten für den werksinternen und -externen (Inbound/Outbound) Transport.
- **Risikokosten:** Die Risiken, die in der Lagerhaltung Kosten verursachen, sind einerseits das Vorhalten von Ladenhütern bzw. andererseits die Beschädigung der Ersatzteile bei der Manipulation und der Schwund von Artikeln.
- **Fehlmengenkosten:** Kosten, die aufgrund der Nichtverfügbarkeit eines benötigten Ersatzteiles aus dem Lager entstehen. Diese Nichtverfügbarkeit wirkt sich zum einen auf den Absatzbereich (Erfolgsausfall) in Form von Deckungsbeitragsentgang, verlorenen Kundenaufträgen und dergleichen aus, und zum anderen auf den Produktionsbereich in Form von ungenutzten Verbräuchen während der Ausfallsdauer und erhöhten Verbräuchen auf die vor- und nachgeschalteten Anlagen sowie in weiterer Folge, Kosten von Forcierungsmaßnahmen zum Aufholen eines Produktionsrückstandes.
- **Bestandskosten:** Sämtliche Kosten die durch die Bestandhaltung entstehen.

⁴⁸⁴ Vgl. VNL, <http://vn000001.host.inode.at/Bestandskosten.138.0.html> (Zugriff: 19.01.2018).

⁴⁸⁵ Vgl. Heuer, G. (1992), S. 466f., Biedermann, H. (2008), S. 118.

⁴⁸⁶ Vgl. Alsfasser, P. (2007), S. 33.

⁴⁸⁷ Vgl. Zsifkovits, H. E. (2012), S. 54ff.; Biedermann, H. (2008), S. 97ff.; Lokad, <https://www.lokad.com/de/definition-lagerhaltungskosten> (Zugriff: 15.02.2016); VNL, <http://vn000001.host.inode.at/Bestandskosten.138.0.html> (Zugriff: 19.01.2018); Binner, F. (1998), S. 6f. Binner definiert eine optimale Lagerkapazitätsauslastung, kurze Durchlaufzeiten und niedrige Lagerbestände als Garant für eine wirtschaftliche Lagerführung. Vgl. Matyas, K. (2013), S. 166 bis 167.

Die Kenntnis der Logistikkosten in strukturierter Form ist besonders dann wichtig, wenn Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen, wie z.B. die Beurteilung von Investitionen oder das Controlling von geplanten und realisierten Maßnahmen, eine Rolle spielen. Ebenso muss die Kostenstruktur bezogen auf Transparenz und Vergleichbarkeit so aufgebaut sein, dass Benchmarking möglich ist.

Die Auswirkungen von Optimierungen im materialwirtschaftlichen Bereich auf die Unternehmensrentabilität wird häufig mit der Kennzahl „Kapitalrentabilität“ dem Return on Investment (ROI) dargestellt.⁴⁸⁸ Die Darstellung des ROI-Baums gemäß Abbildung 51 erlaubt die einfache visuelle Zuordnung aller logistischen Einflussfaktoren auf den ROI.⁴⁸⁹

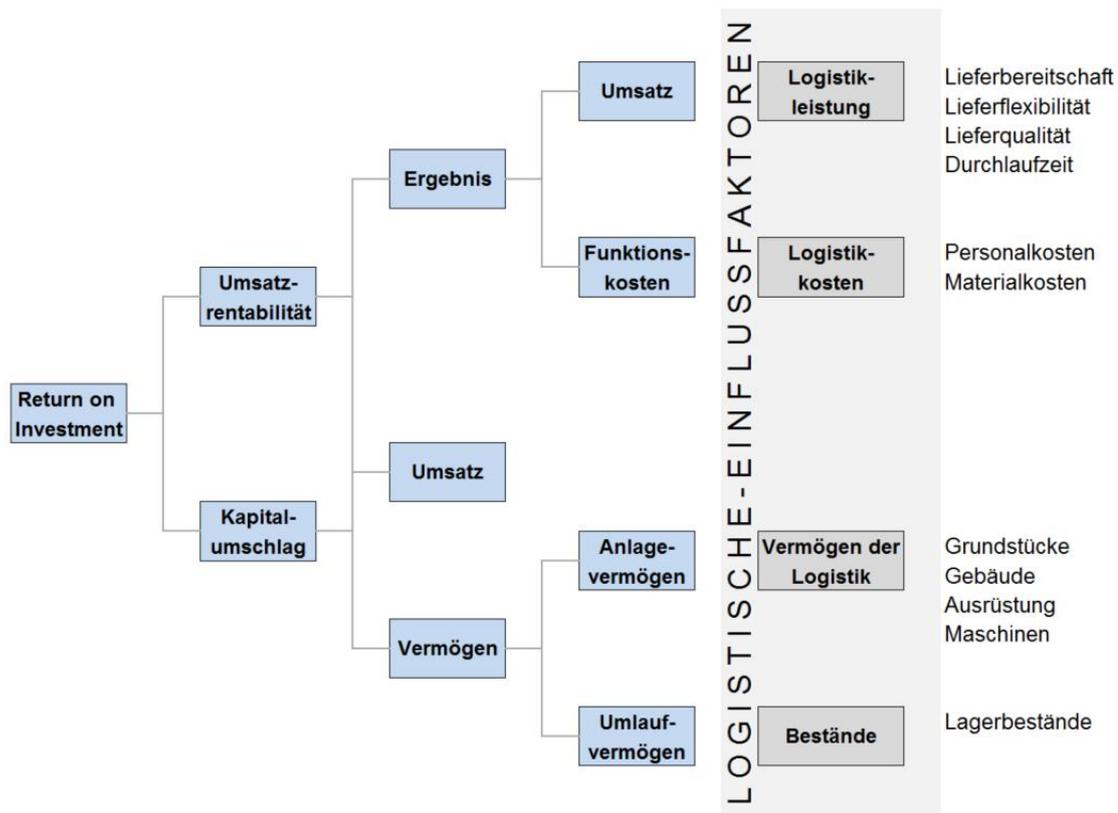


Abbildung 51: Du-Pont-Schema mit Wertetreibern und Stellgrößen der Logistik⁴⁹⁰

Der ROI wird als eine der wichtigsten Unternehmenskennzahlen zur Beurteilung der Unternehmensleistung herangezogen. Die Rentabilität des investierten Kapitals entspricht dem Umsatz abzüglich der Kosten dividiert durch das investierte Kapital. Der ROI ist hierbei ein typischer Erfolgsindikator für die Berechnung des Unternehmenserfolges, welcher Erkenntnisse über den Rückfluss des investierten Kapitals liefert.⁴⁹¹ Wie bereits im ersten Kapitel erwähnt besitzt die Reduzierung der Lagerbestände im Vergleich zu den anderen Einflussfaktoren (gemäß Abbildung 51) im Allgemeinen die weitaus höchste

⁴⁸⁸ Vgl. Hartmann, H. (2005), S. 54.

⁴⁸⁹ Vgl. Kreuzer, Ch. (2007), S. 290.

⁴⁹⁰ Vgl. TCW, https://www.tcw.de/uploads/html/publikationen/standpunkte/files/Artikel_34_Wertbeitrag.pdf (Zugriff: 01.04.2014).; Werner, H. (2008), S. 283.

⁴⁹¹ Vgl. Alsfasser, P. (2007), S. 14.

positive Hebelwirkung auf den ROI.⁴⁹² Der monetäre Einfluss des Risikofaktors für die Verschrottung von überzähligen und/oder nicht mehr benötigten Ersatzteilen ist hierbei bei den Beständen noch aufzusetzen.⁴⁹³

In der Praxis fließen die Ersatzteilbestände (sofern bestandsgeführt) direkt in die Bilanz ein. Die bilanzielle Zuordnung der Ersatzteilbestände zu Anlage- oder Umlaufvermögen erfolgt mittels der betriebsgewöhnlichen Nutzungsdauer der Ersatzteile.⁴⁹⁴ Allgemein gilt jedoch der Umstand, dass Lagerbestände in jeglicher Form Kapital binden.

Tabelle 31: Bilanzdarstellung in Kontoform⁴⁹⁵

BILANZ	AKTIVA	PASSIVA
	ANLAGEVERMÖGEN	EIGENKAPITAL
•Immaterielle Vermögensbestände	•Nennkapital	
•Sachanlagen	•Kapitalrücklagen	
•Finanzanlagen	•Gewinnrücklagen	
	•Bilanzgewinn	
UMLAUFVERMÖGEN	FREMDKAPITAL	
•Vorräte	•Verbindlichkeiten gegenüber Kreditinstituten	
•Forderungen	•Lieferantenverbindlichkeiten	
•Zahlungsmittel		
RECHNUNGSABGRENZUNGSPOSTEN		

Gemäß Rechnungslegungsvorschriften werden Ersatzteile, die für die Verwendung in bestimmten technischen Maschinen und Anlagen vorgesehen sind, auch diesen Vermögensgegenständen bilanziell zugerechnet.⁴⁹⁶ Die Bilanz in Tabelle 31 leitet sich dementsprechend aus dem Inventar ab, ist eine Gegenüberstellung von Vermögen und Kapital und gibt Auskunft über die wirtschaftliche Situation eines Unternehmens zu einem definierten Zeitpunkt.⁴⁹⁷

Eine weitere praktische Relevanz des Lagerbestandes liegt im Working-Capital-Management (Cash-Management). Die Working-Capital Grundkonzeption besteht im weitesten Sinne aus der gezielten Abstimmung von Finanzmittelherkunft mit Finanzmittelbindung und betrifft in diesem Zusammenhang die Bestandsoptimierung bezüglich

⁴⁹² Vgl. Hoppe, M. (2012), S. 24 ff.; Hartmann, H. (2005), S. 55.

⁴⁹³ Vgl. Bornemann, H. (1986), S. 11.

⁴⁹⁴ Vgl. Küting, K., Weber, C. P. (1995), S. 540. Dienen Ersatzteile nur vorübergehend dem Betrieb, weil sie aufgrund eines schnelleren Verschleißes verbraucht werden, so sind sie im Umlaufvermögen unter den Betriebsstoffen auszuweisen. Unterliegen die Ersatzteile hingegen keinem schnellen Verschleiß und werden sie demnach nicht verbraucht, sondern über einen längeren Zeitraum gebraucht, so sind sie dem Anlagevermögen zuzuordnen. Vgl. Hirschler, K. (2010), S. 199.

⁴⁹⁵ Quelle: Döring, U., Wöhe, G. (2008), S. 703. Die Bilanz informiert den Stakeholder in Form der Passiva über die Finanzmittel des Unternehmens und anhand der Aktiva, wie diese veranlagt wurden. Vgl. Kreuzer, Ch. (2007), S. 257.

⁴⁹⁶ Vgl. Küting, K., Weber, C. P. (1995), S. 540.

⁴⁹⁷ Vgl. Döring, U., Wöhe, G. (2008), S. 703.

deren Kapitalbindung.⁴⁹⁸ Lagerbestände beeinflussen neben dem ROI oder dem Working-Capital ebenso Rentabilitäts- und Cashflow-Kennzahlen, die zur Performancemesung eines Unternehmens, wie z.B. den Return on Capital Employed (RoCE) oder dem Return on Net Assets (RoNA), dienen.⁴⁹⁹

Da es sich bei dieser Arbeit um das Thema Komplexität durch Ersatzteile handelt, sind der korrekte Terminus der ökonomischen Wirkung der Komplexität die sogenannten Komplexitätskosten.⁵⁰⁰ Im eingangs diskutierten Variantenmanagement wurde festgestellt, dass Kosten vor allem aufgrund der Zunahme der Variantenvielfalt entstehen und größtenteils in den Gemeinkosten enthalten sind, sowie die Begrifflichkeit der Variantenkosten sehr weit gefasst auftritt. Aufbauend auf den Erkenntnissen von Wildemann gilt außerdem dass sich Komplexitätskosten nur ex post bestimmen lassen.⁵⁰¹

Angelehnt an diese Überlegungen hinsichtlich der Komplexitätskosten und unter Einbeziehung der Unterteilung in direkte und indirekte Kosten folgt im Weiteren für diese Arbeit: Dass als direkte Komplexitätskosten jenes Kostenpotential definiert wird, welches das Inventar (Kapitalbindungskosten und Risikokosten) betrifft, um das der Lagerbestandswert reduziert werden kann und trotzdem der bestehende/vorgegebene Servicegrad eingehalten wird. Die indirekten Komplexitätskosten betreffen Planung, Steuerung, Kontrolle und Durchführung der Ersatzteilbewegungen, wie Lenkungkosten, Lagerkosten und Transportkosten, die auf Grund der Ersatzteilvielfalt vorliegen. Wobei jedoch, zusätzlich Kosten für Ressourcen anfallen die diese Reduzierungsmaßnahmen hinsichtlich Komplexitätsmanagements durchführen. D.h. Komplexität führt also zum Aufbau zusätzlicher Prozesse und Ressourcen im Rahmen des Komplexitätsmanagements, die ebenfalls Kosten verursachen.⁵⁰² Zusammengefasst bedeutet dies, das Komplexitätskosten derjenige zusätzliche Bestandskostenanteil ist, der nicht Notwendigerweise hinsichtlich des vorgegebenen Servicegrades aufgrund der Vielfalt auftritt.

⁴⁹⁸ Vgl. Bleyer, M. et al. (2014), S. 339f.

⁴⁹⁹ Vgl. Coenberg, A. G. et al. (2016), S. 814ff. Diese Kapitalrenditekennzahlen beziehen sich nur auf das gebundene Kapital (RoCE) bzw. das gebundene Vermögen (RoNA) in denen jeweils das Netto-Umlaufvermögens enthalten ist. Vgl. Coenberg, A. G. et al. (2016), S. 814–815.

⁵⁰⁰ Vgl. Blockus, M. O. (2010), S. 5.

⁵⁰¹ Vgl. Wildemann, H. (1998), S. 52.

⁵⁰² Vgl. Westphal, J. R. (2001), S. 237. Siehe Abschnitt 3.2.7 Kostenauswirkung der Variantenvielfalt.

4 Hypothese

Aufbauend auf den Erkenntnissen der theoretischen Diskussionen in Kapitel 3 bezüglich Ersatzteillogistik und Komplexität im Hinblick auf Ursache, Wirkung und Charakter lässt sich folgende Hypothese für diese Arbeit aufstellen. Der primäre Komplexitätstreiber in der Ersatzteillogistik des Abnehmers ist die Varietät (Artikelvielfalt mit der Teileanzahl) sowie die Konnektivität (Beziehungen der Ersatzteile zu den Verwendungsplätzen und den Lagerplätzen). Die daraus resultierende Komplexität äußert sich durch die Ersatzteilbestandshöhe und in weiterer Folge durch die Bestandskosten. Da sich die Komplexität im System Ersatzteillogistik mit dem Zeitverlauf (Dynamik) aufgrund von Produktlebenszyklen und Anlagenerweiterungen bzw. -verbesserungen ständig erhöht, nimmt dementsprechend auch die Bestandshöhe an Ersatzteilen kontinuierlich zu. Daher lässt sich für den Zweck der vorliegenden Arbeit folgende Hypothese aufstellen.

Eine zielgerichtete Anwendung aus der Kombination von teiledifferenzierter Ersatzteilbewirtschaftung mit dem Komplexitätsmanagementansatz aus dem Bereich des Variantenmanagements von Wildemann führt zu einem Komplexitätsmanagementprozess für die Ersatzteillogistik des Abnehmers. Dieser Prozess reduziert die Ersatzteilbestandshöhe unter Einhaltung des vorgegebenen Servicegrades und stellt für die Zukunft eine nachhaltige Optimierung sicher.

Mithilfe dieses Komplexitätsmanagementprozesses wird die bestehende Komplexität (Ersatzteilbestandshöhe) des Gesamtsystems mittels der vier Komplexitätsstrategien, in der Form von

- erfassen und
- reduzieren und
- beherrschen und
- vermeiden bearbeitet.

Dies ist messbar an den Erfolgsindikatoren aus den Systemeigenschaften (Reduktion der Komplexität und der Komplexitätskosten) des Systems Ersatzteillogistik in Abhängigkeit von der dynamischen Änderung des Anlagen- und Maschinenparks (Anlagenbestand) und dem Servicegrad. Gemäß der Arbeit von Blockus wird auch hier der Ansatz gewählt, dass zuerst die bestehende Komplexität zu reduzieren ist und danach die verbleibende Komplexität beherrscht bzw. ein weiterer Anstieg vermieden werden muss.⁵⁰³

⁵⁰³ Vgl. Blockus, M. O. (2010), S. 32.

5 Operationalisierung der zentralen Begriffe

Für die Operationalisierung der vorangegangenen Hypothese bietet sich die Erstellung eines Optimierungsmodells an. Dieses Modell stellt zweckmäßig ein immaterielles Abbild des zeitlich-sachlogischen Ablaufs des Komplexitätsmanagementprozesses (Optimierungsprozess) am Objekt Ersatzteilbestand dar.⁵⁰⁴ Absicht ist, dass durch die Verwendung des Modells dem Anwender bei der operativen Problemlösung im Sinne des Komplexitätsmanagements unmittelbare Hilfestellung gegeben wird.⁵⁰⁵ Ein wesentlicher Eckpunkt bei der Modellierung ist, dass dieses Modell für alle Typen von Ersatzteilen Gültigkeit besitzt, bzw. keine unterschiedlichen Prozessmodelle existieren, die zueinander in Beziehung gebracht werden müssen. Somit wird keine zusätzliche interne Komplexität in das System eingebracht.⁵⁰⁶ Das Optimierungspotential ist je nach Vorliegen und Konfiguration der empirischen Ausgangssituation im System Ersatzteillogistik unterschiedlich effektiv. Es gilt nicht nur für den Einzelfall von Optimierungsmaßnahmen, sondern ist als ein in sich widerspruchsfreies System von Aussagen zu betrachten. Charakteristisch ist hierbei, dass die Abbildung der Realität nur symbolisch und auf das Wesentliche beschränkt erfolgt.⁵⁰⁷ Die Verwendung des Begriffs Optimierung für diese Arbeit lehnt sich an die Ausführungen von Grochla zum Problem des materialwirtschaftlichen Optimums an. Die dabei gegenständlichen Kriterien, die für die Realisierung des Optimums einen Einfluss haben, sind:⁵⁰⁸

- Sortimentsproblem (zum Zeitpunkt des Bedarfs müssen die Ersatzteile in der richtigen Art und Güte zur Verfügung stehen, Artikelanzahl)
- Mengenproblem (zum Zeitpunkt des Bedarfs müssen die Ersatzteile in der richtigen Menge zur Verfügung stehen, Teileanzahl)

Dieses Optimum ist nivellierend in der Praxis mit dem geforderten Servicegrad für den vorhandenen Anlagenbestand einzustellen. Der Servicegrad sowie der Anlagenbestand gelten als gegebene Rahmenbedingungen des Systems. Die operative Bewertung für die Problemstellung des Ersatzteillagerbestandes erfolgt klassisch über Mengeneinheiten, wie z.B. Stück oder Verpackungseinheit.⁵⁰⁹

5.1 Konzeptionierung und Anforderungen an die Modellierung

Die Prämisse bei der Gestaltung des Optimierungsmodells für die Ersatzteillogistik ist es, den vorgegebenen Servicegrad zu erfüllen, und dies bei einer gleichzeitig optimalen

⁵⁰⁴ Vgl. Rosemann, M. (1996), S. 1.

⁵⁰⁵ Vgl. Heinen, E. (1990), S. 11.

⁵⁰⁶ Vgl. Rosemann, M. (1996), S. 2ff.

⁵⁰⁷ Vgl. Heinen, E. (1990), S. 11.

⁵⁰⁸ Vgl. Grochla, E. (1990), S. 19–23.

⁵⁰⁹ Vgl. Jodlbauer, H. (2008), S. 27f.

Komplexität (minimale Artikel- und Teileanzahl, die auf Kosten des Betreibers vorgehalten werden) des Gesamtsystems Ersatzteillogistik. Optimierung bedeutet in diesem Kontext die Komplexitätsveränderung von der IST-Situation (Ausgangskomplexität) hin zur niedrigen SOLL-Situation (Endkomplexität) im Sinne einer Bestandskostenveränderung. Diese Bestandskostenveränderung wird in der weiteren Diskussion in dieser Arbeit als Komplexitätskosten bezeichnet, welche ausschließlich das monetäre Optimierungspotential abbilden.

Zu beachten ist hierbei, dass die komplexe Problemstellung nicht im Sinne einer ausschließlichen Reduktion gelöst, sondern nur über Schnittstellen hinweg unter Einbeziehung aller Systembeteiligten gemanagt werden kann.⁵¹⁰ Dieses Optimierungsmodell problematisiert den Grad der zulässigen und möglichen Komplexitätsvereinfachung einer Modellstruktur, die von Leitlinien, einer Strategie, Erfolgsindikatoren, Handlungsempfehlungen und deren Konkretisierung ausgeht.⁵¹¹ Die Sichtweise der Logistik als flussorientierte Führungsfunktion leistet hierbei einen wesentlichen Beitrag für die Koordination und Planung der Ersatzteillogistik im System des Ersatzteilverwenders.⁵¹² Im Rahmen der Konzeptionierung des Modells werden die aus Kapitel drei, inhaltlich definiert und begrifflich festgelegten Eigenschaften der Komplexität für die nachfolgende Untersuchung herangezogen. Für die Modellkomplexität an sich sowie den Detaillierungsgrad der gewonnenen Erkenntnisse ist der Aufbau des Optimierungsmodells ausschlaggebend.⁵¹³ Für das nachfolgende Modell wird eine eindimensionale Modellkonstruktion verwendet. Im Zuge der Operationalisierung werden auch Indikatoren generiert, mit deren Hilfe die Wirksamkeit des Modells messbar gemacht wird. Die Auswahl geeigneter und möglichst treffender Indikatoren besitzt eine entscheidende Bedeutung für den Erfolg des Modells und die Güte der Ergebnisse.⁵¹⁴

Abbildung 52 zeigt den Aufbau des Optimierungsmodells als vereinfachtes Abbild der Realität (Problemstellung). Optimierungsmodelle enthalten zusätzlich zu den erklärenden Ursache-Wirkungsbeziehungen Zielfunktionen zur Bewertung und Auswahl von Handlungsalternativen. Folglich ist ein Optimierungsmodell eine formale Darstellung eines Entscheidungsproblems, bei dem die im Hinblick auf die verfolgten Ziele realisierbaren Handlungen auszuwählen sind.⁵¹⁵

⁵¹⁰ Vgl. Westphal, J. R. (2001), S. 11ff.

⁵¹¹ Vgl. Ballwieser, W. (1987), S. 12.

⁵¹² Vgl. Westphal, J. R. (2001), S. 15f.

⁵¹³ Vgl. Gießmann, M. (2010), S. 173.

⁵¹⁴ Vgl. Gießmann, M. (2010), S. 174f.

⁵¹⁵ Vgl. Scholl, A. (2008), S. 36ff.

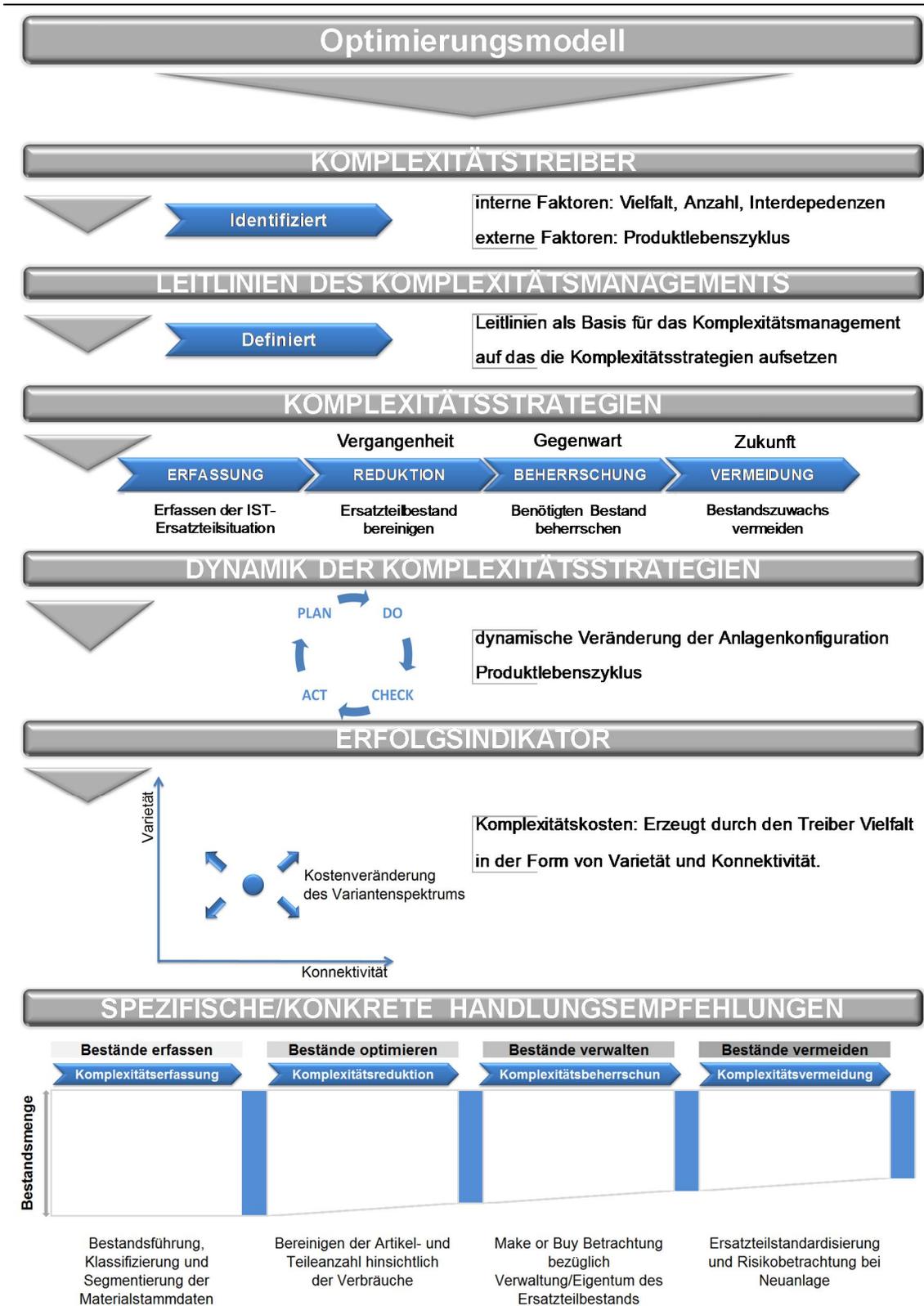


Abbildung 52: Aufbau Optimierungsmodell⁵¹⁶

In den folgenden Unterkapiteln werden die einzelnen Modellabschnitte aus Abbildung 52 im Detail diskutiert und erläutert.

⁵¹⁶ Quelle: eigene Darstellung.

5.2 Komplexitätstreiber

Im ersten Schritt des Modells erfolgt die Identifikation der Komplexitätstreiber mit deren Ausprägung. In der Hypothese wurde bereits angeführt, dass Varietät (Artikelvielfalt mit der Teileanzahl) der primäre Komplexitätstreiber ist. Diese Aussage ist nun zu präzisieren, da zusätzlich noch Konnektivität und zeitliche Veränderlichkeit, wenn auch in einem geringeren Ausmaß, zu den primären Komplexitätstreibern zu zählen sind. Zusammenfassend bedeutet dies, dass als primärer Komplexitätstreiber in der Ersatzteillogistik die Ersatzteilkomplexität wirkt, welche sich äußert in:⁵¹⁷

- der Vielfalt von Elementen (Artikelanzahl),
- dem Umfang im Sinne der Anzahl von Elementen (Teileanzahl pro Artikel),
- der Vernetzung (Interdependenzen) der Elemente mit Lager- und Einbauplätzen,
- der Dynamik und der Veränderlichkeit der Elemente (Produktlebenszyklen).

Die sekundären Komplexitätstreiber in der Ersatzteillogistik sind:⁵¹⁸

- Prozess- und Dienstleistungskomplexität (aufgrund der mannigfaltigen Lagerung, Kommissionierung, Transport, Beschaffung und Disposition)
- Ziel-, Aufgaben- und Koordinationskomplexität (Dynamik und Heterogenität der Zielvorgaben, klar umrissene und definierte Aufgaben und die Koordination aller Ziele sowie Aufgaben zwischen den Systembeteiligten entlang der Abteilungsgrenzen.)



Abbildung 53: Komplexitätstreiber in der Ersatzteillogistik⁵¹⁹

Die sekundären Komplexitätstreiber sind Resultate und Auswirkungen des Auftretens der primären Komplexitätstreiber, werden jedoch in dieser Arbeit vernachlässigt (siehe hierzu Abbildung 11). Die identifizierten primären Komplexitätstreiber können noch in interne/externe Komplexitätstreiber weiter unterteilt werden. Denkansatz der Unterteilung ist hierbei der Umstand, dass der Komplexitätsursprung für die Dynamik und die Veränderlichkeit der Elemente im Sinne eines Produktlebenszyklus⁵²⁰ vom Markt getrieben und angestoßen wird, also vom Hersteller der Ersatzteile (Ersatzteillogistik des Herstellers),

⁵¹⁷ Vgl. Blockus, M. O. (2010), S. 91.; siehe Abschnitt 3.4.

⁵¹⁸ Vgl. Blockus, M. O. (2010), S. 92ff.; siehe Abschnitt 3.4.1. Auf die Auswirkungen der sekundären Komplexitätstreiber wird in dieser Arbeit nicht eingegangen.

⁵¹⁹ Quelle: eigene Darstellung.

⁵²⁰ Die Zeitspanne zwischen der Markteinführung eines Produktes und seines Ausscheidens aus dem Markt wird als Produktlebenszyklus bezeichnet und beträgt meist mehrere Jahre. Jedoch wird in technologisch hochentwickelten Industriezweigen eine zunehmende Verkürzung der Lebenszyklen beobachtet.⁵²⁰ Schlüter verwendet in diesem Zusammenhang auch den Begriff der Obsoleszenz, wenn Ersatzteile nicht mehr am Markt verfügbar sind. Vgl. Schlüter, R. (2006), S. 229.

der die Verfügbarkeit von Ersatzteilen einer Produktgruppe aufkündigt und ein Nachfolgersatzteil am Markt etabliert. Dies tritt vor allem bei Elementen auf, die genormt sind. Währenddessen Vielfalt, Anzahl und Vernetzung als interner Komplexitätstreiber angesehen werden können, deren Ursprung in der Effektivität (Die richtigen Dinge tun) und Effizienz (Die Dinge richtig tun) des bestehenden Ersatzteilmanagements des Ersatzteilabnehmers liegen.

5.3 Leitlinien des Komplexitätsmanagements

Im Anschluss an die Identifikation der Komplexitätstreiber folgt die Definition der Leitlinien. Dabei handelt es sich um die Rahmenbedingungen, die für einen effizienten Einsatz des Optimierungsmodells gegeben sein müssen. Da, wie bereits im Theorieteil der Arbeit angeführt wurde, Komplexität oft isoliert in den unterschiedlichen Unternehmensbereichen entsteht, müssen Rahmenbedingungen vorhanden sein, die ein zentrales Management dieser Komplexität ermöglicht. Als wesentliche Arbeitsthemen, die für die Ersatzteillogistik als Leitlinien einen funktionieren Beitrag leisten müssen, gelten unten angeführten Punkte.⁵²¹

- Paradigmenwechsel: Loslösen von der Denke des Ersatzteilverwalters hin zum Supply Chain Gestalter.
- Simultane Zielbetrachtung: Abstimmung zwischen dem vorgegebenen Servicegrad mit der budgetierten Ersatzteilbestandshöhe um Zielkonflikte zu vermeiden sowie Kommunikation der Zielvorgaben an alle Beteiligten des Systems.
- Selbstorganisation: Es sind auf allen Hierarchieebenen die Rahmenbedingungen zu schaffen, die den Mitarbeiter zur Selbstorganisation in seinem Aufgabengebiet befähigen. Dies vor allem im Hinblick auf die Komplexitätsbeherrschung aus dem Thema Erfahrungswissen.
- Kein Totalmodell: Je nach Ersatzteilart (Warengruppe) ist der gezielte Einsatz von unterschiedlichen konkreten Handlungsalternativen aus dem Modell im Sinne einer operativen Exzellenz umzusetzen. D.h. Effektivität und Effizienz: Der operative Anwender entscheidet, welche Handlungsalternativen am sinnvollsten einzusetzen sind.⁵²²
- Unabhängigkeitsforderungen: Bei Entscheidungsfindungen in Bezug auf Umsetzung der konkreten Handlungsalternativen (Entscheidungsautonomie und Handlungskompetenzen müssen gegeben sein).
- Kurze Informations- und Abstimmungswege: Innerbetrieblich muss entlang der SC ein rascher Kommunikationsaustausch gegeben sein, um einen Zeitverzug bei einer Entscheidungsfindung so gering wie möglich zu halten.

⁵²¹ In Anlehnung an Westphal, J. R. (2001), S. 18ff.

⁵²² Vgl. Haasis, H. D. (2008), S. 13.

- Ersatzteilverfügbarkeit: Sicherstellen der größtmöglichen nachhaltigen Ersatzteilverfügbarkeit am freien Markt mittels bestmöglicher Sourcing Strategie und dem, soweit möglich, Vermeiden von Single Sourcing.⁵²³
- Instandhaltungsstrategie: Definierte und kommunizierte Instandhaltungsstrategie auf Unternehmensebene.



Abbildung 54: Leitlinien in der Ersatzteillogistik⁵²⁴

Diese Leitlinien sind parallel zu erfüllen und voneinander entkoppelt. Diesbezüglich muss angemerkt werden, dass eine effiziente Ersatzteillogistik einer hohen Prozessstabilität bedarf, damit folgende Ziele erfüllt sind.

- Geringe Kapitalbindung (Bestandswert)
- Hohe Anlagenverfügbarkeit (Erfüllung des geforderten Servicegrads)
- Geringe Verschrottungskosten

Zusätzlich zur Prozessstabilität bedarf es noch einer hohen Informationsdichte im System ohne Lücken im Prozess.

5.4 Komplexitätsstrategien

Die Festlegung der Komplexitätsstrategien erfolgt in Anlehnung an Abschnitt 3.3.2. Eine Erweiterung und dementsprechende Abweichung zum Originalmodell von Wildemann findet in diesem Ansatz grundsätzlich im Strategieabschnitt „Komplexitätserfassung“ statt. Da Komplexität nicht messbar ist, sondern nur einen vergleichenden Charakter (SOLL-IST Vergleich) besitzt, ist im ersten Schritt die Ersatzteilbestandsführung, Ersatzteilklassifizierung, Ersatzteilbestandsanalyse und Ersatzteilsortimentsanalyse integriert; also die IT-mäßige Erfassung des Ersatzteilbestandes, Stammdatenmanagement und

⁵²³ Vgl. Werner, H. (2008), S. 137. Wenn möglich mindestens Double Sourcing Beschaffungsquellen pro Artikel zur Risikostreuung.

⁵²⁴ Quelle: eigene Darstellung.

Controlling für die Ersatzteillogistik.⁵²⁵ Dies ist wichtig für den nächsten Prozessschritt unter Abschnitt 5.6 (Messung der Zielerreichung) als Festlegung der Ausgangssituation. Wie eingangs bereits erwähnt, wird für den Komplexitätswert des Gesamtsystems Ersatzteillogistik die Ersatzteilbestandshöhe (und konsequentermaßen die Bestandskosten) herangezogen. Der anschließende Prozessschritt der „Reduktion“ hat seinen Wirkungsbereich in der Vergangenheit und reduziert den bereits vorhandenen Ersatzteilbestand. Absicht hierbei ist die Komplexitätsreduktion durch das Entfernen von Artikeln und Teilen aus dem Bestand. Dieser so bereinigte Ersatzteilbestand mit der bestehenden Komplexität wird im Prozessschritt „Beherrschung“ verwaltet. Der Wirkungsbereich liegt hierbei in der Gegenwart. Ansatz ist ein gezielter Komplexitätsaufbau im Know-how des Verwalters, um über Make-or-Buy Entscheidungen die verbliebene Komplexität erfolgreich zu beherrschen. Im Wirkungsbereich der Zukunft liegt der Strategieabschnitt „Vermeidung“, um eine Komplexitätszunahme präventiv zu vermeiden. Die Auswirkungen der Handlungsalternativen dazu liegen nicht in der unmittelbaren Gegenwart, sondern erstrecken sich in die Zukunft. Hauptstoßrichtung liegt in der Vermeidung von zusätzlichen Artikeln und Teilen.

Da sich die Ersatzteillogistik über innerbetriebliche Bereiche, wie Instandhaltung, Engineering, Einkauf, Materialwirtschaft und externe Systemteilnehmer wie Ersatzteilhersteller, Großhändler und Logistikprovider erstreckt, müssen zahlreiche Informationen aus diesen Bereichen ermittelt und zielbezogen aufbereitet werden. Es ist deshalb ein Systemaufbau erforderlich, welcher den notwendigen Informationsbedarf deckt und die Koordination der betroffenen Betriebe übernimmt. Aus diesem Grund ist es für eine effiziente Ersatzteillogistik notwendig, ein Ersatzteillogistik-Controlling einzuführen, welches die für das Komplexitätsmanagement erforderlichen Informationen beschafft, entscheidungsadäquat aufbereitet, die Koordination der betroffenen Bereiche übernimmt und somit auch die Verantwortung für das Komplexitätsmanagement festlegt. Das Ersatzteillogistik-Controlling ist demnach für die Durchsetzung der von der Geschäftsführung getroffenen Entscheidung verantwortlich. Dementsprechend ist eine Berichts- und Ergebnispflicht des Ersatzteillogistik-Controllings gegenüber der Unternehmensführung zu implementieren.⁵²⁶



Abbildung 55: Komplexitätsstrategien der Ersatzteillogistik

Die nachhaltige Umsetzung des Optimierungsmodells erfolgt in zwei Schritten. Der erste Schritt ist der kurzfristige Schritt für die Einstellung des optimalen Komplexitätsgrades nach dem Durchlaufen der Komplexitätsstrategien gemäß Abbildung 55 und dem phasenspezifischen Umsetzen der Handlungsempfehlungen. Der zweite Schritt ist die langfristige Absicherung (nachhaltige Sicherstellung) eines optimalen Komplexitätsgrades und dieser bedarf einer regelmäßigen Überprüfung der aktuellen IST-Situation. Dieser iterative Charakter der wiederkehrenden Prozessschritte „reduzieren, beherrschen und

⁵²⁵ Möglicherweise müssen dazu noch nicht bestandsgeführte Lager aufgelassen werden.

⁵²⁶ Vgl. Kestel, R. (1995), S. 182ff.

vermeiden“ erfordert einen regelmäßigen Controllingkreislauf aufgrund der zeitlichen Dynamik des Systems Ersatzteillogistik.

5.5 Dynamik der Komplexitätsstrategien

Nahezu jedes reale System existiert im Zeitablauf und unterliegt entsprechenden dynamischen Veränderungen seines Aufbaus. Demgemäß erfolgte bereits eingangs in Kapitel 3 die Erwähnung der Tatsache, dass sich Komplexität in einem lebenden System von selbst erhöht (Komplexitätszunahme als Systemeigenschaft). Insbesondere, wenn von unsicheren Informationen oder unvollständig bekannten zukünftigen Informationen ausgegangen werden muss, sollte die Optimierung von Zeit zu Zeit wiederholt bzw. aktualisiert werden.⁵²⁷

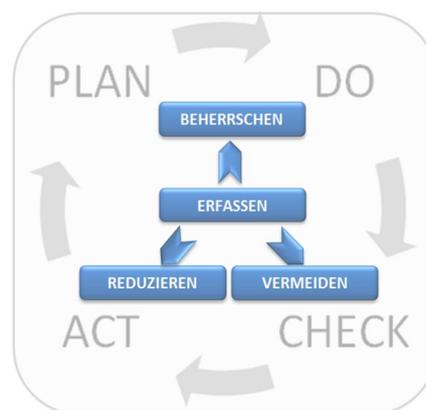


Abbildung 56: PDCA-Zyklus in der Ersatzteillogistik⁵²⁸

Mögliche Ursachen für eine dynamische Veränderung des Variantenspektrums sind die Anlagenkonfiguration und der Lebenszyklus von Produkten. Treiber in diesem Regelkreis ist das Ersatzteilbestandscontrolling, das eine mögliche Abweichung (Komplexitätszunahme) in der Bestandshöhe im Abgleich zum optimierten Bestand aufzeigt. Bezogen auf das Ziel der nachhaltigen Ersatzteilbestandsoptimierung bedeutet dies einen endlosen Ablauf von Plan, Do, Check, Act Zyklen (PDCA). Der PDCA Prozess hört demnach niemals auf und ein gerade erreichter Standard ist wahrscheinlich morgen schon wieder überholt.⁵²⁹

Gemäß den Ausführungen von Kesper ist das Management von Vielfalt (die wiederum Komplexität erzeugt) absolut notwendig. Er betont aber auch im gleichen Absatz, dass dieses Management wiederum Aktivitäten nach sich ziehen kann, die schlichtweg unnötig sind und kein merkbares Ergebnis erzielen. Dies resultiert aus oft vollkommen unkritischer, undifferenzierter Akzeptanz dieser Handlungen sowie dem nicht über Abteilungsgrenzen akkordierten Vorgehen.⁵³⁰

⁵²⁷ Vgl. Scholl, A. (2008), S. 37.

⁵²⁸ Quelle: eigene Darstellung. In Anlehnung an den Qualitäts- und Verbesserungsregelkreis nach dem Deming-Prinzip (Planen, Tun, Checken, Agieren)

⁵²⁹ Vgl. Reitz, A. (2008), S. 34ff.

⁵³⁰ Vgl. Kesper, H. (2012), S. 165.

5.6 Erfolgsindikatoren

Grundsätzlich dienen Erfolgsindikatoren zur Messung der Zielerreichung. In diesem Fall lautet die Frage nach dem Erfolgsindikator: Bei welchem Servicegrad sind wie viele Ersatzteile (Varietät) mit welchen Beziehungen (Konnektivität) zu welchen Kosten (Bestandskosten) im betrachteten System (in Form eines SOLL-IST Vergleichs⁵³¹)? Somit ergibt sich durch die komplexe Struktur (Varietät, Konnektivität) die Kostenkomponente – Bestandskostenveränderung sind Komplexitätskosten - als eindeutige Indikation über Erfolg und Misserfolg. Je höher in diesem Zusammenhang der geforderte Servicegrad⁵³² ist, desto geringer darf die Wahrscheinlichkeit eines Fehlbestandes sein und desto größer muss dementsprechend der verfügbare Ersatzteilbestand (in Art und Anzahl) sein. Das bedeutet, dass mit zunehmendem Servicegrad die Kosten für den Sicherheitsbestand überproportional steigen.⁵³³ Bei konstantem oder reduziertem Servicegrad bringt jedoch eine Optimierung hinsichtlich des Bestandswertes eine Reduktion der Varietät (Art und Anzahl) sowie eine Reduktion der Beziehungsart aber eine Erhöhung der Beziehungsdichte.

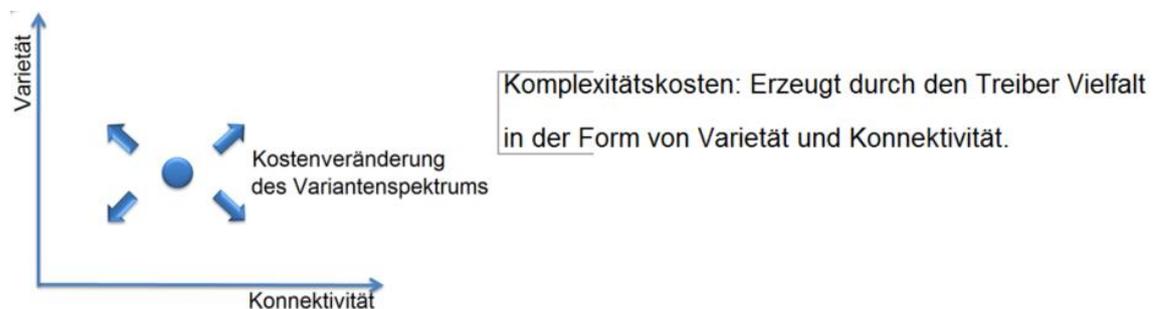


Abbildung 57: Erfolgsindikatoren für die Ersatzteillogistik

Da in dieser Betrachtung der Anlagenwert und dessen zeitliche Veränderung nicht vernachlässigbar sind, wird dieser in Relation zum Ersatzteilbestand gesetzt.

5.7 Spezifische Handlungsempfehlungen

Aufbauend auf den vorher erarbeiteten vier Normstrategien (Komplexitätsstrategien) werden im nächsten Schritt praktisch umsetzbare problemangepasste Kooperationsmuster/Vorgehensweisen, die spezifische Handlungsempfehlungen enthalten, für die einzelnen Optimierungsschritte erarbeitet. Ziel hierbei ist der Aufbau einer Toolbox, die problemangepasste Werkzeuge für die Ersatzteillogistik des Abnehmers bereithält.

⁵³¹ Wie bereits in Kapitel 3.1.5 diskutiert, besitzt Komplexität ausschließlich einen vergleichenden Charakter und erlaubt nur eine komparative Messung in der Form IST-SOLL.

⁵³² Vorgabe durch Geschäftsführung.

⁵³³ Vgl. Schmidt, A., Schneider, M. (2008), S. 375. Unter der Prämisse einer identen Anlagenkonfiguration.



Abbildung 58: Handlungsempfehlungen in der Ersatzteillogistik⁵³⁴

Die Abbildung 58 zeigt im Wesentlichen die verfügbaren Werkzeuge und die strategische Position im Wirkungsbereich dazu, um daraus folgend, die richtigen Handlungsschritte zu setzen. Dieses Werkzeug versetzt den Ersatzteillogistiker in die Lage für alle Herausforderungen, in denen sich sein Unternehmen befindet, gewappnet zu sein und die passende Vorgehensweise auszuwählen. Angelehnt an das Supply Chain Management (SCM) und, wie bereits eingangs erwähnt, richten sich manche Ansätze auf ausgewählte Bereiche dieses Prozesses, andere wiederum wirken bereichsübergreifend. Diesbezüglich können die einzelnen Ansätze auch anhand der Reichweite einer von drei Kategorien des Supply Chain Managements zugeordnet werden.⁵³⁵

- dem funktionsinternen SCM,
- dem unternehmensweiten SCM oder
- dem unternehmensübergreifenden SCM

Zum funktionsinternen SCM gehören Handlungsempfehlungen, die ausschließlich in einer Unternehmensfunktion (z.B. Disposition) Anwendung finden. In der zweiten Kategorie, dem unternehmensweiten SCM, findet die Abstimmung, Koordination und Mitarbeit über mehrere Unternehmensbereiche statt (z.B. interne Werkstätte mit Ersatzteillogistik). Ein weiterer positiver Aspekt durch das unternehmensweite SCM tritt durch das Beseitigen von Zielkonflikten zwischen den Bereichen auf, da die SCM aus Unternehmenssicht bezüglich der Handlungsempfehlungen optimal im Betrieb ausgerichtet wird. Die dritte Kategorie des SCM beschäftigt sich mit der unternehmensübergreifenden Koordination zwischen mehreren Unternehmen (z.B. Vendor Managed Inventory [VMI]).⁵³⁶ Dies findet vor allem bei solchen Handlungsempfehlungen Eingang, in denen der Ersatzteilhersteller/Ersatzteihändler oder Logistikprovider aktiv in die Systemkoordination miteinbezogen wird.

⁵³⁴ Quelle: eigene Darstellung.

⁵³⁵ Vgl. Papier, F., Thonemann, U. (2008), S. 21.

⁵³⁶ Vgl. Papier, F., Thonemann, U. (2008), S. 22–23.

5.8 Konkrete Handlungsempfehlungen

Es erfolgt in diesem Prozessschritt, im Sinne einer Trichtermethode, die Erhöhung des Detaillierungsgrades in den Handlungsempfehlungen zu den Komplexitätsstrategien, um dann in weiterer Folge daraus praktisch umsetzbare, detailliert beschriebene, konkretisierte Handlungsempfehlungen zu erarbeiten. Die vorliegenden konkreten Handlungsempfehlungen sind das Ergebnis der Literaturrecherche und der empirischen Erfahrungen, die der Autor im Rahmen seiner zehnjährigen Tätigkeit als Einkäufer für Investitionen, Ersatzteile und Hilfs- und Betriebsstoffe sammeln konnte.

Wie Schoeneberg in seiner Arbeit aufzeigt, existiert keine scharfe Trennung bezüglich der konkreten Handlungsempfehlungen für den Wirkungsbereich der Komplexitätsstrategien.⁵³⁷ Dementsprechend sind auch in diesem Modell unterschiedliche konkrete Handlungsempfehlungen in verschiedenen Wirkungsfeldern anzutreffen, bzw. können konkrete Handlungsempfehlungen in mehreren Handlungsempfehlungen zur Anwendung kommen.

Der entscheidende Schritt ist jedoch die Bestimmung und Festlegung der einzelnen konkreten Handlungsempfehlungen, die im weiteren Umsetzungsverlauf für die Effizienz des Modells stehen. Hierzu sind in Tabelle 32 die konkreten Handlungsempfehlungen der jeweiligen Komplexitätsstrategie zugeordnet und das betreffende Wirkungsfeld angeführt. Die Festlegung in diesem Schritt als Vorauswahl ist jedoch missverständlich, weil sie suggeriert, dass zu diesem Zeitpunkt mit nur einer begrenzten Auswahl von in Frage kommenden Optionen der Prozess ein Auslangen findet. Tatsächlich ist der Möglichkeitsraum immer unbegrenzt, wobei seine Größe auch von der Kreativität des Projektteams und den Marktmöglichkeiten abhängt.⁵³⁸

⁵³⁷ Vgl. Schoeneberg, K. P. (2014), S. 22.

⁵³⁸ Vgl. Bretzke, W. R. (2008), S. 55ff.

Tabelle 32: Konkrete Handlungsempfehlungen zur Ersatzteillogistik

ERFASSEN	KONKRETE HANDLUNGSEMPFEHLUNG	WIRKUNGSFELD
	Stammdatenanlage/Klassifikation von Ersatzteilen	Artikelanzahl
	Bestandsführung/Technische Platzstruktur	Artikel- und Teileanzahl
	Materialduplettenüberprüfung der Bestandsstammdaten	Artikelanzahl
	Artikeldifferenzierung/Segmentierung des Ersatzteilkpaketes	Artikel- und Teileanzahl
	Ersatzteilcontrolling	Artikel- und Teileanzahl
REDUZIEREN	KONKRETE HANDLUNGSEMPFEHLUNG	WIRKUNGSFELD
	Mehrortteile	Teileanzahl
	Mehrfachteile	Teileanzahl
	Mehrzweckteile	Artikelanzahl
	Ladendrehermatrix/Ladenhüterliste	Artikel- und Teileanzahl
BEHERRSCHEN	KONKRETE HANDLUNGSEMPFEHLUNG	WIRKUNGSFELD
	Make or Buy	Artikelanzahl
	Dispositionspolitik	Artikel- und Teileanzahl
	Klassifizierungsvorgabe	Artikelanzahl
	Materialduplettenüberprüfung vor Stammdatenanlage	Artikelanzahl
	Mobile Device	Teileanzahl
	C-Teile Management	Artikelanzahl
	Supply Chain Contracting	Artikelanzahl
	CMI/VMI/SMI	Artikelanzahl
	Konsignationslager	Artikelanzahl
Lieferanten-Logistik-Zentrum/3PL	Artikelanzahl	
VERMEIDEN	KONKRETE HANDLUNGSEMPFEHLUNG	WIRKUNGSFELD
	Mass Customization von Ersatzteilen	Artikelanzahl
	Service Level Agreement	Artikelanzahl
	Eigenfertigung im Anlassfall	Artikelanzahl
Spare-Part-Gate	Artikelanzahl	

Zur Themeneingrenzung sind in obiger Aufstellung diejenigen konkreten Handlungsempfehlungen, die auf eine Optimierung der Frachtkosten, des Personaleinsatzes, der Mitarbeiterqualifikation und des Rechnungsstellungsprozesses etc. abzielen dezidiert angenommen.

5.8.1 Detaillierung der konkreten Handlungsempfehlungen beim Erfassen der Komplexität

Als erste Maßnahme bedarf es der Datenerfassung und Aufbereitung dieser, um darauf aufbauend alle weiteren Schritte im Modell zu durchlaufen. In dieser Prozessphase wird zuerst das bestehende Ersatzteilspektrum auf Aktualität und Vollständigkeit überprüft und bei Bedarf die erforderliche Datenpflege nachgezogen. Ziel dieses Prozessschritts ist die Schaffung eines eindeutigen statisch eingefrorenen Datensatzes, der alle relevan-

ten Informationen für die darauf aufbauenden Prozessschritte beinhaltet. Erst danach werden im letzten Teil dieses Abschnitts die Stammdaten der Ersatzteile detailliert mittels Teiledifferenzierung segmentiert.⁵³⁹

Stammdatenanlage/Klassifikation von Ersatzteilen: Hierbei erfolgt die Abklärung, ob das gesamte physisch vorhandene Ersatzteilspektrum EDV-mäßig als Materialstamm erfasst ist oder ob es noch Ersatzteile gibt, die nicht bestandsmäßig vor Ort gelagert werden. Bei letzteren ist abzuklären, ob diese nicht bestandsgeführten Artikel in den Materialstammdaten nachgeführt werden sollen oder nicht.⁵⁴⁰ Eventuell muss in diesem Schritt, je nach verwendeter Materialklassifizierung, über eine Neuklassifizierung mittels eines Materialklassifizierungsstandards bezüglich des gesamten vorhandenen Ersatzteilspektrums entschieden werden, um Materialdubletten über die Klassifizierung identifizieren zu können und um über genügend Ersatzteilm Informationen (z.B. Sachmerkmale, Hersteller, Herstellertypenbezeichnung, Warengruppe, Zeichnungsteil, Kosten, etc.) für die weiteren Bearbeitungsschritte zu verfügen.

Bestandsführung/technische Platzstruktur der Ersatzteile: Bei den vorhandenen Materialstammdatensätzen ist im nächsten Schritt abzuklären, ob die vorhandenen Ersatzteile direkt einer Anlage (Einbauplatz) zugeordnet werden können. Ist dies nicht der Fall, ist zu hinterfragen, ob möglicherweise die Anlagenkennung in den Stammdaten fehlt oder die dazugehörige Anlage nicht mehr im Betrieb ist, bzw. nicht mehr vorhanden ist. Auch hier ist es notwendig, bei unvollständigen oder fehlerhaften Verknüpfung mit dem Einbauplatz diese Zuordnung im EDV-System nachzuvollziehen.⁵⁴¹ Ergebnis dieser Handlungen ist, dass alle Ersatzteile im EDV-System bestandsgeführt, klassifiziert und einer Anlage zugewiesen sind.

Materialdublettenprüfung der Bestandsstammdaten: Dies bedeutet das Zusammenführen von doppelt oder mehrfach angelegten Materialstammdatensätze eines Ersatzteils, welches jedoch nur für einen Einbauort vorgesehen ist.

Artikeldifferenzierung/Segmentierung des Ersatzteilkpaketes: Das Vorgehen hierzu entspricht dem theoretischen Diskurs in Kapitel 3.1.6 (Komplexitätsreduktion) unter dem Anspruch: Zerteile das System in kleinere Subsysteme, um diese dann getrennt betrachten zu können und somit die vorhandene Komplexität zu reduzieren, um das System beherrschbar zu machen. Im Allgemeinen ist hierbei die Datenaufbereitung für eine Ersatzteilsortimentsanalyse (Dekomposition) gemäß Abschnitt 3.5 im Sinne einer ABC-XYZ-Analyse gemeint. Am Ende dieses Abschnittes ist es gelungen, das Ersatzteilspektrum im Sinne einer ABC-XYZ-Darstellung in kleinere überschaubare Cluster zu segmentieren. Es bildet somit die Ausgangsbasis für weitere konkrete Handlungsalternativen. Wannowetsch spricht in diesem Zusammenhang von Data Mining. Der Begriff beinhaltet eine Vielzahl von Analysemethoden (siehe Abschnitt 3.5.1.2 Detailanalyse des Teile- und Artikelspektrums), mit deren Hilfe entscheidungsrelevante Informationen aus Rohdaten extrahiert werden können. Diese Informationen werden über Klassenbildung, Zeitrei-

⁵³⁹ Vgl. Pawellek, P. (2013), S. 227ff.

⁵⁴⁰ Vgl. Pawellek, P. (2013), S. 228ff. Möglicherweise sind die dafür vorgesehenen Einbauplätze nicht mehr vorhanden und die Ersatzteile können verschrottet/entsorgt werden.

⁵⁴¹ Vgl. Pawellek, P. (2013), S. 228ff.

hen/Sequenzen und Assoziationen identifiziert.⁵⁴² In diesen Interpretationen ist die wirtschaftliche Bedeutung des Vorhaltens von Ersatzteilen in Zusammenhang mit dem Einfluss auf die Funktionstüchtigkeit der Anlage herauszuarbeiten.⁵⁴³

Ersatzteilcontrolling: Grundsätzlich ist es ab diesem Zeitpunkt im Optimierungsmodell ratsam, eine Controlling Funktion zu implementieren, um die Datenanalyse betreffend Zusammensetzung und Veränderung des Ersatzteilbestandes sowie der Anlagenkonfiguration (Anlagenbestandsveränderung) darzustellen und zu reporten.⁵⁴⁴ Des Weiteren ist auch ein Tracking von ausgewählten Ersatzteilen gemäß Tabelle 16 hinsichtlich des Informationsgewinns für Handlungen von Interesse.⁵⁴⁵

5.8.2 Detaillierung der konkreten Handlungsempfehlungen beim Reduzieren der Komplexität

Der Ansatz bei all diesen konkreten Handlungsempfehlungen in diesem Abschnitt liegt in der Schaffung von bereinigten Artikelvarianten mit optimierten Soll-Lagerbeständen und Sicherheitsbeständen bezogen auf die Teileanzahl, inklusive einer etwaigen systemtechnischen Zentralisierung der Ersatzteile, um die positiven Effekte der Bestandsbündelung zu erhalten.⁵⁴⁶ Je nach Ergebnis der ABC-XYZ-Analyse wird hierbei Segment für Segment aus der neun Felder Matrix bearbeitet (Aufwand/Nutzen Abschätzung).

Mehrrorteile: Das Potential der Mehrrorteile liegt in der Optimierung der Teileanzahl pro Artikel, da die Dispositionsparameter, wie Sicherheitsbestand, Lagerbestand und dgl., hinsichtlich der Situation von mehreren Einbauplätzen Optimierungspotential besitzen.

Mehrfachteile: Das Potential der Mehrfachteile liegt in der Optimierung der Teileanzahl pro Artikel, da die Dispositionsparameter, wie Sicherheitsbestand, Lagerbestand und dgl., hinsichtlich der Situation von mehreren Lagerplätzen Optimierungspotential besitzen.

Mehrzweckteile: Bei diesen Teilen ist die Möglichkeit zu prüfen, ob sich einzelne Artikel durch andere Ersatzteile substituieren lassen. Der Wirkungsbereich liegt auf Artikel- und Teileebene.

Ladenhüterliste/Ladendrehermatrix: Mittels klassischer Ladenhüterlisten werden diejenigen Artikel aus dem Sortiment gefiltert, welche in einem definierten Zeitintervall keine Bewegung hatten und deren weiterer Bedarf bezüglich Bevorratung kritisch hinterfragt werden muss. Der Wirkungsbereich liegt auf der Artikelebene. Die Ladendrehermatrix (siehe Abbildung 38) wirkt auf Teileebene, stellt die Bestandshöhe der Lagerabgangsdaten auf Artikelebene gegenüber und hinterfragt somit die Teileanzahl pro Artikel. Gedankliche Basis hierzu ist das Lagerdurchlaufdiagramm (siehe Abbildung 41), das nicht mehr den Artikel per se in Frage stellt, sondern nur mehr die Teileanzahl über das Ver-

⁵⁴² Vgl. Wannenwetsch, H. (2005), S. 93f.

⁵⁴³ Vgl. Schuh, G. et al. (2012), S. 178.

⁵⁴⁴ Vgl. Werner, H. (2008), S. 187.

⁵⁴⁵ Vgl. Werner, H. (2008), S. 275.

⁵⁴⁶ Vgl. Gudehus, T. (2010), S. 366.

hältnis der Lagerzugangskurve zur Lagerabgangskurve.⁵⁴⁷ In der praktischen Anwendung ist die Ladenhüterliste die Ladendrehermatrix mit dem Verbrauch null pro Zeiteinheit. Nach Durchlauf des Reduktionsprozesses sind die Artikelanzahl sowie die Teileanzahl gemäß den stochastischen Verbrauchsdaten und der vorherrschenden Anlagenkonfiguration optimiert.

5.8.3 Detaillierung der konkreten Handlungsempfehlungen beim Beherrschen der Komplexität

Vor dem Hintergrund, dass die Ersatzteillogistik als die Königsdisziplin der Logistik bezeichnet wird, ist die Überlegung angebracht, ob die Ersatzteillogistik zur Kernkompetenz des Unternehmens gehört. Wenn logistische Strukturen und Prozesse einem optimierenden Design unterzogen worden sind, bleibt noch die Frage nach dem besten Prozesseigner zu beantworten. Schäfer-Kunz und Tewald zeigen in ihrer Arbeit mögliche Sourcing-Strategien in der Logistik abhängig von den Parametern „vorhandene Logistikkompetenz“ und „Möglichkeit zur Differenzierung mittels Logistik“. Als Empfehlung der Autoren resultiert hieraus bei einer geringen eigenen Logistikkompetenz aber bei einem hohen vorhandenen Differenzierungspotential die Handlungsempfehlung „Outsourcing“.⁵⁴⁸ Da Komplexitätsbeherrschung als Differenzierungsmerkmal gilt, ist in der Ersatzteillogistik durchaus die Make-or-Buy Überlegung angebracht.

Für die Logistik bedeutet die Komplexitätsbeherrschung in diesem Zusammenhang ein Wechselspiel zwischen Komplexitätsreduktion und Komplexitätserhöhung. Im richtigen Moment und Ausmaß sind auf Basis von Regelmäßigkeiten und Ordnungsmustern, die sich aus dem Verhalten des Systems ergeben, komplexitätsreduzierende oder -erhöhende Maßnahmen zu ergreifen. Die Komplexitätserhöhung kann unter Einbeziehung und Umsetzung der vielen Handlungsalternativen durchaus den Prozess der Ersatzteillogistik erhöhen.⁵⁴⁹ Ganz nach dem Ansatz Komplexität kann nur mit Komplexität gehandhabt werden.⁵⁵⁰ Zur Beherrschung der Komplexität im eigenen Unternehmen bietet es sich durch diese Methode an, die bestehende Komplexität in der Ersatzteillogistik in Form von Outsourcing auszulagern. Dies entspricht einem Verschieben der Komplexität auf den Zulieferunternehmer oder bzw. Logistikdienstleister.⁵⁵¹

Diese **Make-or-Buy**⁵⁵² Entscheidung wirft ganz eigenständige Probleme auf und erschöpft sich nicht nur in Fragen, Preis- und Leistungsvergleichen. Begriffe wie Kernkompetenz, Vertrauen und Abhängigkeit tauchen dabei auf. Die Ersatzteillogistik bekommt bezogen auf den Faktor des Servicegrads eine strategische Dimension. Grundsätzlich

⁵⁴⁷ Vgl. Jodlbauer, H. (2008), S. 294ff.

⁵⁴⁸ Vgl. Schäfer-Kunz, J. Tewald, C. (1998), S. 2. Qualifizierte Logistikdienstleister bieten potential für das Heben von Skaleneffekten aufgrund seiner Kompetenz. Vgl. Gudehus, T. (2010), S. 32.

⁵⁴⁹ Vgl. Wehberg, G. G. (2015), S. 22f.

⁵⁵⁰ Vgl. Wehberg, G. G. (2015), S. 321.

⁵⁵¹ Vgl. Kestel, R. (1995), S. 218.

⁵⁵² Da eine genaue Abgrenzung der Begriffe „Make-or-Buy“ und „Outsourcing“ logisch nicht wirklich möglich ist, werden in dieser Arbeit beide Begriffe synonym verwendet. Vgl. Schäfer-Kunz, J., Tewald, C. (1998), S. 8.

geht es im Bereich der Kontraktlogistik (je nach Grad der Zusammenarbeit) um schwer reversible Entscheidungen, da hier kundenspezifische Investitionen von Dienstleistern durch Langfristverträge vor Entwertung geschützt werden müssen.⁵⁵³

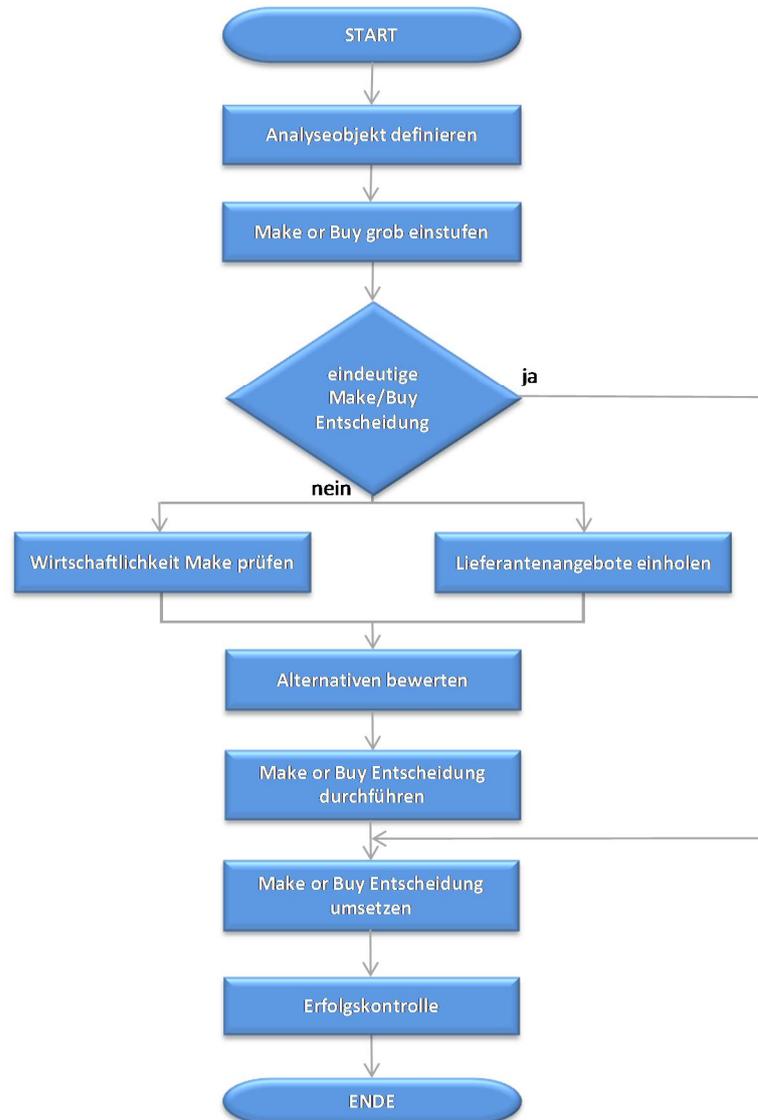


Abbildung 59: Outsourcing-Entscheidungsprozess⁵⁵⁴

Des Weiteren binden sich Kunde und Lieferant für längerfristige Zeiträume aneinander und der Lieferant muss auch die zukünftigen strategischen Ausrichtungen seines Kunden begleiten können. Aus der Sicht des potentiellen Kunden müssen Entscheidungen dahingehend (Risiko) mit Sorgfalt und vorbereitet getroffen werden.⁵⁵⁵ Die Leistungstiefe ergibt sich dabei aus dem Umfang der gemeinsam mit der Logistikfunktion vom Dienstleister übernommenen Steuerungs- und Planungsaufgabe.⁵⁵⁶ Ebenso ist die gewünschte sowie benötigte Leistungsbreite mit den am Markt verfügbaren Kompetenzen zu korrelieren.

⁵⁵³ Vgl. Bretzke, W. R. (2008), S. 239.

⁵⁵⁴ Quelle: Bick, W. Drexl-Wittbecker, S. (2008), S. 127.

⁵⁵⁵ Vgl. Bick, W. Drexl-Wittbecker, S. (2008), S. 74ff.

⁵⁵⁶ Vgl. Schäfer-Kunz, J. Tewald, C. (1998), S. 15.

ren. Ziel beim Outsourcing der Ersatzteillogistik ist ein messbarer Kostenvorteil bei zumindest gleich hohem Servicegrad. Abbildung 59 zeigt den gängigen Outsourcing-Entscheidungsprozess in Form eines Flussdiagrammes zur strukturierten Entscheidungsfindung von Make-or-Buy im Bereich Ersatzteillogistik.

Im Gegensatz zu den Ausführungen von Hoffmann, der die alternative Form der Fremdinstandhaltung in Kombination mit der dazugehörigen Ersatzteillogistik betrachtet, ist diese Überlegung hier nicht Themengebiet in dieser Arbeit.⁵⁵⁷

Der erste Teil in diesem Abschnitt widmet sich dem Thema Buyer Managed Inventory (BMI). Bestandsverantwortung und Disposition obliegt dem Ersatzteilverwender (Betrieb) selbst. In diesem Fall lautet der systemtheoretische Ansatz, dass sich ein komplexes System nur mittels eines ebenso komplexen Systems beherrschen lässt.⁵⁵⁸ Dies bezieht sich in dieser Aussage vor allem auf die zweckmäßige Wahl der eingesetzten Dispositionspolitik.

Dispositionspolitik: Die Wahl der geeignetsten Dispositionspolitik für Ersatzteile wird als ein kritischer Erfolgsfaktor angeführt. Andeutungsweise bedeutet dies, dass die Dispositionsart der Ersatzteile im Hinblick auf Verbrauchs-, bzw. Bedarfsänderungen durch Veränderungen in den Ausfall- oder Verschleißcharakteristiken der Anlagen aktuell nicht oder zu wenig in der Ersatzteilbestandsplanung berücksichtigt werden. In der Praxis wird also eine idente Dispositionsart für alle Teile angewendet. Das Ergebnis hieraus manifestiert sich in überhöhten Ersatzteilbeständen, bzw. in Fehlbeständen. Der Wirkungsbereich liegt auch hierbei auf der Teileebene des Ersatzteilspektrums. Ein möglicher Lösungsansatz hierzu ist eine differenzierte Beschaffungs-, Lagerhaltungs- und Bereitstellungsstrategie für sämtliche Ersatzteile. Dies hat unter Berücksichtigung der Bedarfsanforderungen aus der Instandhaltung und unter Einbeziehung der theoretischen Erkenntnisse aus Tabelle 23 bezüglich Dispositionsart zu erfolgen.⁵⁵⁹

Teiletypische Ersatzteilbewirtschaftungsstrategie bei Einorteilen: Um die in Kapitel 3 gestellte Frage zu beantworten, WANN WIEVIEL bestellt werden muss, um eine optimale Bewirtschaftungsstrategie zu praktizieren, sind die Lagerhaltungsstrategien unter Zuhilfenahme vom Vergangenheitsbedarf, Sicherheitsbestand und der optimalen Bestellmenge mit dem Bedarfsverhalten und dem Wiederbeschaffungszeitverhalten zu kombinieren. Hierbei herrscht bei der Betrachtungsweise von Einorteilen zu Mehrorteilen noch ein geringfügiger Unterschied, der einen Einfluss auf die Bewirtschaftungsstrategien ausübt, wobei die Handhabung in der Bewirtschaftung von Einorteilen gegenüber denen von Mehrorteilen einfacher ist. Reduziert auf das Wesentliche bedeutet dies unter dem Einfluss von Ungewissheiten für die nachfolgenden Überlegungen:

⁵⁵⁷ Vgl. Hoffmann, S. (2000), S. 191ff.

⁵⁵⁸ Siehe Abschnitt 3.1.6.

⁵⁵⁹ Vgl. Pawellek, P. (2013), S. 221ff. Pawellek spricht hierbei auch von einer Verringerung der vorherrschenden Komplexität.

Konstanter Bedarf und konstante Wiederbeschaffungszeit

In dieser Situation kann auf die Berechnung des Sicherheitsbestandes aufgrund der konstanten Lieferzeit verzichtet werden. Der maßgebende Bestellpunkt (WANN) wird folgendermaßen ermittelt:⁵⁶⁰

Zeitpunkt der Nachbestellung = Bedarf während der Wiederbeschaffungszeit + Sicherheitsbestand⁵⁶¹

$$t = M'_V * T_B \quad (13)$$

Tabelle 33: Abkürzungen

t	Bestelltermin
M'_V	Durchschnittsbedarf der der vergangenen Periode
D	Prognostizierter Bedarf
D'	Mittlerer prognostizierter Bedarf
T_B	Wiederbeschaffungszeit
T'_B	Mittlere Wiederbeschaffungszeit
M _i	Bedarf der i-ten Perioden
n	Anzahl der Perioden
σ	Standardabweichung Bedarf
σ _{TB}	Standardabweichung Lieferzeit
σ ²	Varianz (Gesamtabweichung des Bedarfs sprich Prognosefehler)

D. h. zum Zeitpunkt, wo die prognostizierte Bedarfsmenge (Durchschnittsbedarf der Vergangenheit) im Lagerbestand erreicht wird, ist die Lagerauffüllung anzusteuern. Die optimale Bestellmenge (WIEVIEL) ergibt sich durch die klassische Losgrößenformel.⁵⁶²

$$m_{opt} = \sqrt{\frac{200 * M * K_f}{K_E * (Z_S + L_S)}} \quad (14)$$

Schwankender Bedarf und konstante Wiederbeschaffungszeit

Dieser praxisnahe Fall geht von einem schwankenden Bedarf bei relativ konstanter Wiederbeschaffungszeit aus. Die Schwierigkeit in dieser Situation besteht in der der Abschätzung der Bedarfsschwankung während der Lieferzeit. Basis für die Bedarfsprognose ist die Verbrauchsanalyse, wobei aufgrund des schwankenden Bedarfs Klarheit über die theoretische Verteilung herrschen muss. Somit ist grundsätzlich festzulegen, über welche Verteilungsfunktion der schwankende Bedarf dargestellt werden kann.⁵⁶³

In den meisten Fällen, sprich bei normalbeanspruchten Teilen (bzw. Mehrortteilen mit vielen Einbaustellen), ist die Normalverteilung die passende Darstellung der Wahrscheinlichkeitsverteilung. Unter Berücksichtigung der doppelten Standardabweichung wären nur 2,3% aller Bedarfe nicht gedeckt. Diese Normalverteilung hat den Mittelwert (M'_V * T_B) und die Standardabweichung σ. Der Sicherheitsbestand kann als Vielfaches der Standardabweichung (siehe hierzu Tabelle 35) bestimmt werden. In diesem Fall bedeu-

⁵⁶⁰ Vgl. Biedermann, H. (2008), S. 66f.

⁵⁶¹ Vgl. Lokad, <https://www.lokad.com/de/berechne-sicherheitsbestand-anhand-verkaufsprognose> (Zugriff: 15.02.2016).

⁵⁶² Vgl. Biedermann, H. (2008), S. 66f.

⁵⁶³ Vgl. Biedermann, H. (2008), S. 67f.

tet ein Sicherheitsbestand von 2σ einen längerfristigen Fehlbestand von 2,3% aller Bedarfe oder anders ausgedrückt einen Servicegrad von 97,7%.

Die Poissonverteilung bietet sich bei Einorteilen bzw. Zufallsausfällen unter wechselnden Betriebsbedingungen an. Bei dieser Verteilung bedeutet ein Sicherheitsbestand von 2σ einen längerfristigen Fehlbestand von gerade einmal 2% aller Bedarfe bzw. einen Servicegrad von 98%.⁵⁶⁴

Die Exponentialverteilung bietet sich bei Ersatzteilen mit einem sogenannten Einlaufverhalten sowie mit einer konstanten Ausfallrate an. Hierbei bedeutet die doppelte Standardabweichung, dass bei 5% aller Ausfälle ein Fehlbestand besteht und somit ein Servicegrad von 95% existiert.⁵⁶⁵

Tabelle 34 zeigt als Zusammenfassung nochmals überblicksartig, welche Wahrscheinlichkeiten für einen Fehlbestand je Verteilungsfunktion verbleiben, wenn der Sicherheitsbestand als ein Vielfaches der Standardabweichung verwendet wird.⁵⁶⁶

Tabelle 34: Fehlbestandswahrscheinlichkeiten je nach Verteilungsfunktion⁵⁶⁷

WAHRSCHEINLICHKEIT	VERTEILUNG	>1 σ	>2 σ	>3 σ
		Normal	0,159	0,023
	Poisson		0,02	
	Exponential	0,135	0,05	

Die Definition der Standardabweichung lautet wie folgt:⁵⁶⁸

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = \sqrt{\frac{(M_i - M'_v)^2}{n}} \quad (15)$$

Der Bestellpunkt s wird damit folgendermaßen ermittelt⁵⁶⁹:

$$s = D * T_B + SF * \sigma \sqrt{T_B} \quad (16)$$

Mit dem Sicherheitsbestand:

$$SI = SF * \sigma \sqrt{T_B} \quad (17)$$

⁵⁶⁴ Vgl. Biedermann, H. (2008), S. 68f.

⁵⁶⁵ Vgl. Biedermann, H. (2008), S. 68f.

⁵⁶⁶ Vgl. Biedermann, H. (2008), S. 69f.

⁵⁶⁷ Quelle: Biedermann, H. (2008), S. 71.; Bartsch; H. J. (1998), S. 608 und S. 609.

⁵⁶⁸ Vgl. Biedermann, H. (2008), S. 71f.

⁵⁶⁹ Vgl. Biedermann, H. (2008), S. 71f.

Tabelle 35: Servicegrad gemäß Wertetafel der Standard-Normalverteilung⁵⁷⁰

SERVICEGRAD	SERVICEGRAD SG in %	SICHERHEITSAKTOR SF
	80	0,84
	90	1,28
	95	1,65
	97,5	1,96
	99	2,33
	99,9	3

Konstanter Bedarf und schwankende Wiederbeschaffungszeit

Bei normal verteiltem Verbrauch kommt es kaum vor, dass dieser mehr als 3σ vom Durchschnittsverbrauch streut, somit ist der Fehler gering. Der Sicherheitsbestand lautet ebenfalls.⁵⁷¹

$$SI = SG \cdot \sigma \sqrt{T_B} \quad (18)$$

Der Bestellpunkt wird so festgelegt, dass er den Durchschnittsverbrauch M'_V während der Wiederbeschaffungszeit T_B und den Sicherheitsbestand SI berücksichtigt.⁵⁷²

$$s = M'_V \cdot T_B + SG \cdot \sigma \sqrt{T_B} \quad (19)$$

Schwankender Bedarf und schwankende Lieferzeit

Unter der Voraussetzung, dass beide Verteilungen voneinander unabhängig sind, gilt für den Sicherheitsbestand:⁵⁷³

$$SI = SF \cdot \sqrt{T_B \cdot \sigma_M^2 + (D' + \sigma_{TB})^2} \quad (20)$$

Der Bestellpunkt wird so festgelegt, dass er den mittleren prognostizierten Bedarf D' während der Lieferzeit T_B und den Sicherheitsbestand SI berücksichtigt.⁵⁷⁴

$$s = D' \cdot T_B + SI \quad (21)$$

Die bisher dargestellten Verfahren sind nur bei höheren Abgangverhalten praktikabel, bei geringeren Abgangverhalten sind folgende Prinzipien anzuwenden.

⁵⁷⁰ Quelle: Biedermann, H. (2008), S. 70.; Corsten, H. (2007), S. 460ff.

⁵⁷¹ Vgl. Hoppe, M. (2012), S. 483ff.; Biedermann, H. (2008), S. 72f.

⁵⁷² Vgl. Biedermann, H. (2008), S. 72f.

⁵⁷³ Vgl. Biedermann, H. (2008), S. 73f.

⁵⁷⁴ Vgl. Biedermann, H. (2008), S. 73f.

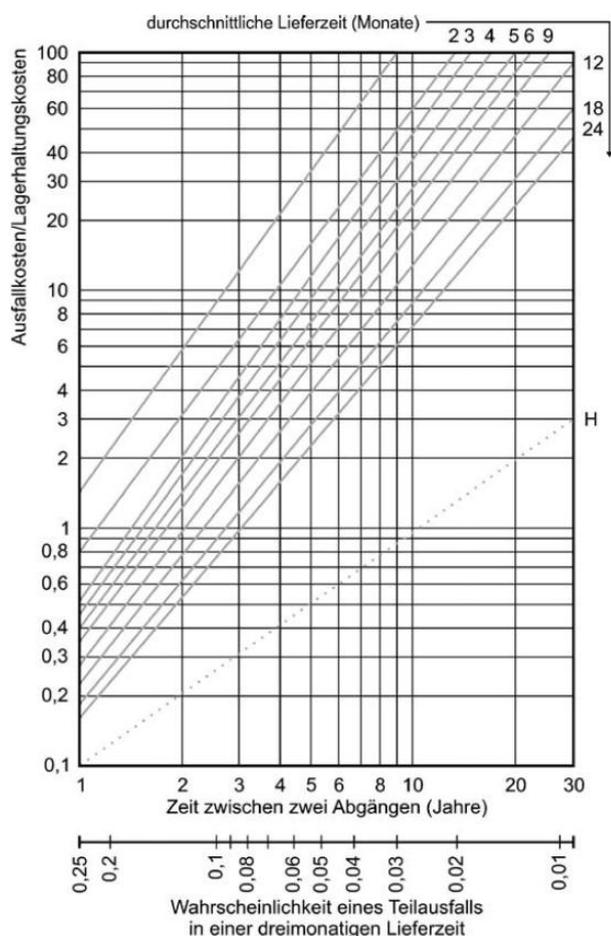
Tabelle 36: Bestandssteuerungsmöglichkeiten

BESTANDSSTEUERUNG	BEDARF	WIEDERBESCHAFFUNG	BESTANDSSTEUERUNG	m_{opt}	SI	D	t	S
	konstant	konstant	Bestelltermin	ja	nein	ja	ja	nein
	schwankend	konstant	Bestellbestand	nein	ja	nein	nein	ja
	konstant	schwankend	Bestellbestand	nein	ja	nein	nein	ja
	schwankend	schwankend	Bestellbestand	nein	ja	nein	nein	ja

Tabelle 36 fasst die vier Möglichkeiten der Bestandssteuerung in Abhängigkeit von Bedarf und Lieferzeit zusammen.

Geringer Bedarf und konstante oder schwankende Wiederbeschaffungszeit

Für den Fall, dass ein geringer Bedarf bei konstanter oder schwankender Lieferzeit vorherrscht, ist die Anwendung einer Stückbestandsbewirtschaftung vorzusehen. Da es sich hierbei in der Regel um teure Reserveteile handelt, deren Ausfall zumeist hohe Ausfallkosten zu Folge haben, ist hierbei der kostenoptimale Abgleich zwischen Fehlbestandskosten und Lagerhaltungskosten relevant. Zur Entscheidung, wie viele Reserveteile vorgehalten werden sollten, wird das Nomogramm in Abbildung 60 herangezogen.

Abbildung 60: Entscheidungsdiagramm für Stückbestand⁵⁷⁵

⁵⁷⁵ Quelle: Biedermann, H. (2008), S. 75.

Dazu sind bei zufallsverteiltem Ausfallverhalten folgende Parameter nötig:⁵⁷⁶

- Durchschnittliche Bedarfshäufigkeit (Poissonverteilung)
- Ausfallkosten
- Lagerhaltungskosten
- Durchschnittliche Lieferzeit: $T'_B = T_B + SF * \sigma_{TB} * \sqrt{T_B}$
- Bei verschleißbedingtem Ausfallverhalten ist dagegen die Wahrscheinlichkeit eines Ausfalls während einer dreimonatigen Lieferzeit anzugeben.

Teiletypische Ersatzteilbewirtschaftungsstrategie bei Mehrorteilen: Mehrorteile sind gemäß Definition Teile, die an mehreren Einbaustellen verwendet werden können. Bezüglich der Wahl der Bewirtschaftungsstrategie liegt ein wesentlicher Unterschied darin, ob ein gleichartiges oder verschiedenartiges Ausfallverhalten an den Verwendungsplätzen herrscht. Generell gilt aber, dass sich bei Verwendung von Mehrorteilen der jeweilige Ersatzteilbedarf vergrößert und dementsprechend der Ermittlung der optimalen Bestellmenge bzw. des eventuellen Sicherheitsbestandes eine größere Bedeutung als bei Einorteilen zukommt.⁵⁷⁷

Wenn kein verschiedenartiges/unterschiedliches Ausfallverhalten vorliegt, dann kann die Bewirtschaftungsstrategie analog zu den Einorteilen umgesetzt werden. Im Falle von unterschiedlichem Ausfallverhalten der Ersatzteile ist es notwendig, den einzelnen Einbaustellen differenzierte Gewichtungen in der strategischen Bewirtschaftung zu geben, um nicht aufgrund von falschen Annahmen Fehlbewirtschaftungen durchzuführen, d.h., dass eine einzelne überproportional oft betroffene Einbaustelle in der Masse der anderen weniger bedeutenden Einbaustellen untergeht. Dies bedeutet, dass für diese Einbaustellen ein separater Grundstock an Ersatzteilen vorgehalten werden muss und auf diesen aufbauend erst dann wieder die allgemein gültigen Bewirtschaftungsstrategien wie bei den Einorteilen zum Tragen kommen.⁵⁷⁸ Zum einen bedeutet das, dass unter dem Einsatz von Mehrorteilen die Anzahl der bevorrateten Artikel und Teile nur unterproportional steigt, aber die Umsetzung der optimalen Bewirtschaftungsstrategie zum anderen komplexer wird.⁵⁷⁹

Parallel zur Wahl der optimalen Dispositionsart gehört die semantische Güterklassifikation zu den wesentlichen Erfolgsfaktoren eines umfassenden Komplexitätsmanagements im Bereich des Ersatzteilmanagements.

Klassifizierungsvorgabe: Zur Komplexitätsbeherrschung sind neu einlangende Ersatzteile bereits durch den Lieferanten nach Vorgabe des Kunden zu klassifizieren. Eine Dublettenprüfung hinsichtlich bereits vorhandener Artikel ist auf diesem Wege rascher und effektiver (siehe nächster Punkt). Des Weiteren ist jede zukünftige Nachbeschaffung beim Originalhersteller der Ersatzteile aufgrund der vorhandenen Informationen möglich.

Materialdublettenprüfung vor Stammdatenanlage: Bezweckt das Vermeiden von doppelt oder mehrfach angelegten Materialstammdatensätzen eines Ersatzteils, welches nur für einen Einbauort vorgesehen ist.

⁵⁷⁶ Vgl. Lawrenson, J. (1986) zitiert nach Biedermann, H. (2008), S. 74ff.

⁵⁷⁷ Vgl. Biedermann, H. (2008), S. 78ff.

⁵⁷⁸ Vgl. Biedermann, H. (2008), S. 79ff.

⁵⁷⁹ Vgl. Biedermann, H. (2008), S. 80f.

Mobile Device: Die Ersatzteilkommissionierung erfolgt im System Mann-zur-Ware unter der Verwendung der beleglosen Kommissionierung.⁵⁸⁰ Der Einsatz von Mobile Device Lösungen zur Identifizierung von Warenbewegungen im Ersatzteillager dient zur Beherrschung des Komplexitätsproblems unter Verwendung von EDV. In der Theorie wird im Zusammenhang mit dem Vorhalten von Beständen davon ausgegangen, dass alle Bestandsdaten korrekt sind und die EDV-Bestandsdaten mit der Realität im Lager übereinstimmen. Ursache von Unsicherheit kann jedoch ein Abweichen der Aufzeichnungen der Lagerbestandsführung mit der Realität des tatsächlichen Bestandes erzeugen.⁵⁸¹ Durch den Einsatz von geeigneter Informationstechnologie gelingt es „fehlerfreie“ Daten zu erhalten, da Eingabe-, Rechen- sowie Übertragungsfehler vermieden werden können.⁵⁸² In der Ersatzteillogistik betrifft dies u.a. die Kommissioniertätigkeiten zur Artikelidentifikation im Materialfluss mit laufender Inventur zur Sicherstellung der aktuellen Ersatzteilbestandshöhe.⁵⁸³ Der Wirkungsbereich liegt hierbei auf der Teileebene.

Die zentrale Frage im zweiten Abschnitt lautet im Sinne der Komplexitätsbeherrschung, wer erledigt eine Aufgabe zu welchen Teilen. Probleme sollen nach Möglichkeit exportiert werden, um Systemspannungen abzubauen, bzw. das Einbeziehen der Systemumgebung in der Form der Supply Chain zur Problemlösung.⁵⁸⁴

Hierbei ist die Einbeziehung der Lieferkette und der Möglichkeit der Abgabe der Bestandsverantwortung, Bestandskosten und Disposition an Kooperationspartner in allen möglichen Ausprägungen von Inventory Collaborations gemeint. Inventory Collaboration meint die Zusammenarbeit im Ersatzteilbestandsmanagement entlang der Supply Chain, um eine verbesserte Sichtweise auf die Bestandshöhe zu erreichen. Dies bedeutet eine kollaborative Lösung bei Bestandsproblemen im Sinne von Unter- bzw. Überdeckungen sowie der Optimierung von Sicherheitsbeständen,⁵⁸⁵ bzw. mit der extremsten Ausprägung, dem Outsourcing der gesamten Ersatzteillogistik an Kooperationspartner in der Supply Chain. Das Supply Chain Management hat sich dabei als zentrale Disziplin zur Gestaltung und Führung von Lieferketten etabliert.⁵⁸⁶ Die wesentliche Herausforderung ist die richtige Balance zwischen dem Erreichen des geforderten Servicegrades gegenüber dem internen Kunden (Anwender der Ersatzteile), den Produktkosten bei Ersatzteilkauf und dem eingesetzten Kapital für die logistische Lösung zu finden. Somit soll die Kooperation und die mögliche Ausgestaltung in diesem Bereich in den Fokus gerückt werden. Reibungslose Abläufe zwischen Supply Chain Partnern bilden die Quelle für Effizienzgewinne und weitere gemeinsame Vorteile aus der Zusammenarbeit. Voraussetzung für eine gelungene Zusammenarbeit ist jedoch das Funktionieren der Kooperation auf der Ebene der persönlichen Beziehungen zwischen den Partnern.⁵⁸⁷ Um die Effi-

⁵⁸⁰ Vgl. Wannenwetsch, H. (2010), S. 336ff.

⁵⁸¹ Vgl. Günther, H. O., Tempelmeier, H. (2005), S. 249.

⁵⁸² Vgl. Dickmann, P., Dickmann, E. (2007), S. 72.

⁵⁸³ Siehe Abschnitt 3.4.4.

⁵⁸⁴ Siehe Abschnitt 3.1.6.

⁵⁸⁵ Vgl. Langemann, T. (2004), S. 447f.

⁵⁸⁶ Vgl. Friedrich, S., List, S. (2009), S. 55.

⁵⁸⁷ Vgl. Friedrich, S., List, S. (2009), S. 73.

zienz zu erhöhen, gilt es den gesamten Informations- und Materialfluss zu betrachten. Das schwächste Glied in dieser Lieferkette bestimmt daher die Effizienz der Lieferkette. Die Steuerung und Koordination dieser Supply Chain hinsichtlich Optimierungen kann nur bereichsübergreifend erfolgen, da operative Verbesserungen und Kostensenkungen mit Zielkonflikten verbunden sind und deshalb zusammenhängend betrachtet werden müssen.⁵⁸⁸ Daher ist es ratsam, von der funktionalen hin zur prozessorientierten Denk- und Sichtweise zu wechseln.⁵⁸⁹ Unterschiede zu nachfolgenden organisatorischen Varianten bei der Vorratsbeschaffung ergeben sich aus der Zuordnung der Bestands- und Dispositionsverantwortung und des Eigentumsübergangs der Ersatzteile.⁵⁹⁰

C-Teile Management: Gemäß Bandow können die C-Teile, welche auch als Ersatzteile (siehe Tabelle 17) gelten, wie Produktionsmaterial gehandhabt werden und unterliegen analogen Beschaffungs-, Dispositions- und Bevorratungsprozessen.⁵⁹¹ Ein wesentliches Ziel aus dem klassischen C-Teile-Management ist der Abbau von Lagerbeständen, Kapitalbindung und Logistikkosten sowie eine Erhöhung der Artikelverfügbarkeit und der Versorgungssicherheit.⁵⁹² Dies erfolgt mittels teilweiser und vollständiger Auslagerung des Beschaffungs- und Logistikprozesses für C-Artikel an Großhändler über den Einsatz verschiedener Beschaffungslogistik-Konzepte (z.B. Kanban).⁵⁹³ Somit hat der Kunde nichts mehr mit der gesamten C-Teile Versorgungslogistik zu tun.⁵⁹⁴

Laut einer Bundesverband für Materialwirtschaft, Einkauf und Logistik (BME) Umfrage sehen 31% der Einkaufsverantwortlichen C-Teile aus Komplexitätsgesichtspunkten.⁵⁹⁵ Ausprägungen in Händler-/Hersteller-Dienstleistungskonzepten des C-Teile-Managements in der Ersatzteillogistik können Konsignationslager und VMI-Collaborations (Regalservice) sein.⁵⁹⁶ Sackstetter und Schottmüller sprechen in Zusammenhang mit dem C-Teile-Management von der Möglichkeit des Zusammenschlusses mehrerer Dienstleister mit unterschiedlichen Sortimenten, um den Kunden ein sortimentsübergreifendes Angebot zu offerieren, sogenannte Dienstleister-Partnerverbund-

⁵⁸⁸ Vgl. Poluha, R. G. (2010), S. 4f. Eine Lieferkette umfasst neben der physischen Warenbewegung noch die Bewegung von Information, Kapital (in der Form von Geldeinheiten) und Wissen. Die Definition einer Supply Chain kann weit oder eng gefasst ausfallen, je nachdem, welche Perspektive eingenommen wird. Vgl. Poluha, R. G. (2010), S.12ff.

⁵⁸⁹ Vgl. Poluha, R. G. (2010), S. 7. Zur Betrachtung der Lieferkette wird hierbei der lieferantenzentrierte Ansatz gewählt, in dem die Lieferkette ein Netzwerk von Lieferanten ist, das Ersatzteile herstellt. Vgl. Poluha, R. G. (2010), S.14.

⁵⁹⁰ Vgl. Beckmann, H., Schmitz, M. (2008), S. 271.

⁵⁹¹ Vgl. Bandow, G. (2008), S. 544. C-Teile sind in der Regel Komponenten, die meist standardisierte DIN- und Normteile, einfach in der Qualität und leicht zu beschaffen sind. Vgl. Vömel, Ch. (2009), S. 43.

⁵⁹² Vgl. Sackstetter, H., Schottmüller, R. (2001), S. 83, S. 98.

⁵⁹³ Vgl. Vömel, Ch. (2009), S.12.

⁵⁹⁴ Vgl. Vömel, Ch. (2009), S. 59.

⁵⁹⁵ Umfrage von Sackstetter, Schottmüller bei BME-Veranstaltung 05/2000 in Appenweier. Vgl. Sackstetter, H., Schottmüller, R. (2001), S. 77.

⁵⁹⁶ Vgl. Sackstetter, H., Schottmüller, R. (2001), S. 100ff.

Konzepte.⁵⁹⁷ Darüber hinaus sind auch Großhändler in der Lage, sogenannte Fremdteile, also Teile, die nicht im ursprünglichen Sortiment vorhanden sind, zu liefern.⁵⁹⁸

Supply Chain Contracting: Angelehnt an diesen Ansatz aus dem Großhandel handelt es sich hierbei um den Rücknahmegarantievertrag. Dies ist vor allem bei Ersatzteilen mit begrenzter Lebensdauer verwendbar. Im Rücknahmegarantievertrag verpflichtet sich der Lieferant nicht verwendete Artikel am Ende ihrer Lebensdauer zurückzukaufen. Dadurch teilen sich Ersatzteilhersteller/Ersatzteilhändler und Ersatzteilverwender das Risiko bezüglich des Tragens der Entsorgungskosten. Hierbei muss der Lieferant neben dem Kaufpreis auch den Rücknahmepreis mitteilen.⁵⁹⁹

Neben dem eingangs bereits erwähnten Buyer Managed Inventory (BMI) sind in der klassischen Efficient Consumer Response (ECR) noch folgende Möglichkeiten bezüglich der Zusammenarbeit zwischen Kunde und Lieferant möglich. Dies sind unter anderem Customer Managed Inventory (CMI), Vendor Managed Inventory (VMI) und Supplier Managed Inventory (SMI). Der Nutzen der letzten drei Möglichkeiten für die Ersatzteillogistik liegt in der durchgehenden Informationskette bis hin zum Push-Prinzip der Versorgungskette.⁶⁰⁰

Customer Managed Inventory: CMI ist eine hybride Form aus BMI und VMI bzw. SMI, abgegrenzt durch verschiedene Produktgruppen. Die Bestands- und Dispositionsverantwortung von definierten Produktgruppen aus dem Ersatzteillager wird auf den Lieferanten bzw. Hersteller übertragen, für die restlichen Produktgruppen aus dem Ersatzteillager obliegt die Bestands- und Dispositionsverantwortung dem Kunden.⁶⁰¹ Bestandseigentum verbleibt beim Kunden.

Vendor Managed Inventory: Bei VMI wird die Bestands- und Dispositionsverantwortung der jeweiligen Produktgruppen auf den Lieferanten (Händler) dieser Produktgruppe übertragen.⁶⁰² Bestandseigentum verbleibt beim Kunden.

Supplier Managed Inventory: Bei SMI wird die Bestands- und Dispositionsverantwortung der jeweiligen Produktgruppen auf den Produzenten/Hersteller dieser Produktgruppe übertragen. Ansonsten analog zu VMI.⁶⁰³

Konsignationslager: Gemäß den Ausführungen von Femerling und Gleißner kann die Bestandsfinanzierung auf Seiten des Lieferanten (Großhändler/Logistikdienstleister/Hersteller) oder Kunden erfolgen. Bilanziell werden die Bestände dann im Umlaufvermögen des jeweiligen Unternehmens aufscheinen.⁶⁰⁴ Beim Konsigna-

⁵⁹⁷ Vgl. Sackstetter, H., Schottmüller, R. (2001), S. 102.

⁵⁹⁸ Vgl. Vömel, Ch. (2009), S. 66.

⁵⁹⁹ Vgl. Papier, F., Thonemann, U. (2008), S. 28. Dies betrifft vor allem hochempfindliche elektronische Bauteile mit begrenzter Lebensdauer.

⁶⁰⁰ Vgl. Toth, M. (2008), S. 468, Gleißner, H., Möller, K. (2009), S. 174ff.

⁶⁰¹ Vgl. Toth, M. (2008), S. 468.

⁶⁰² Vgl. Toth, M. (2008), S. 468–469.; Beckmann, H., Schmitz, M. (2008), S. 271–274. Ein Risiko in der Ersatzteillogistik ist Know-how Verlust durch die Abgabe der Dispositionsentscheidung an den Lieferanten.

⁶⁰³ Vgl. Toth, M. (2008), S. 468, Vgl.; Werner, H. (2008), S. 187.

⁶⁰⁴ Vgl. Femerling, J. C., Gleißner, H. (2012), S. 276f.

tionslager bleiben die Bestände im Eigentum des Lieferanten, Bezahlung findet erst nach Entnahme statt. Häufig befindet sich das Konsignationslager möglichst räumlich getrennt auf dem Werksgelände des Kunden.⁶⁰⁵ Bestands- und Dispositionsverantwortung der jeweiligen Produktgruppen wird hierbei ebenfalls auf den Lieferanten übertragen. Vorteil bei dieser Art der Zusammenarbeit ist, dass das Ersatzteil zwar verfügbar ist, jedoch nicht im eigenen Bestand monetär bewertet ist.

Die oben angeführten Kollaborationen können für selektierte Warengruppen aus dem Ersatzteilbestand mehr oder weniger parallel zum eigenen Verwalten der restlichen Bestände verwendet werden und bilden sozusagen eine Mischform im Sinne CMI aus Bestandsverantwortung und Bestandskosten im Haus und deren teilweisen Auslagerung. Als vollständiges Gegenstück zur Buyer Managed Inventory Strategie ist schließlich das Outsourcing der gesamten Ersatzteillogistik an einen Logistikpartner wie einen Third Party Logistics Provider (3PL) möglich.

Lieferanten-Logistik-Zentrum: Bewirtschaftungsstrategien durch 3PL,⁶⁰⁶ welche Multi-Vendor-Services⁶⁰⁷ anbieten, benötigen klare, vertraglich vorgegebene Rahmenbedingungen, wie Sicherheitsbestand, Lagerreichweite, etc., der Fokus liegt im Optimieren der SC. Bestandsverantwortung und Disposition obliegt dem 3PL, wobei auch hier die klassische Konsignationslagervariante integrierbar ist. Eine der grundlegenden Entscheidungen, die dabei getroffen werden muss, ist die Festlegung, welche Logistikaufgaben selbst ausgeführt und welche an Logistikdienstleister fremdvergeben werden sollen.⁶⁰⁸ Der 3PL ist ein Logistikdienstleister, der integrierte Transport-, Lager- und Umschlagsleistungen unter Zuhilfenahme eigener Logistikressourcen und IT-Systeme anbietet. Dieser ist in der Lage Verbund- und Systemdienstleistungen zu erbringen.⁶⁰⁹ Die Anforderung an eine effiziente Ersatzteilversorgung seitens 3PL setzt sich aus fünf Grundelementen zusammen: Qualität, Flexibilität, Erreichbarkeit, Kosten und Lieferservice.⁶¹⁰ Es bedarf auch keiner eigenen Investition in Gebäude und Technik sondern stattdessen das Entrichten einer monatlichen Nutzungsgebühr.⁶¹¹ (n:1 Beziehung)

Ein Lieferanten-Logistik-Zentrum hingegen wird von mehreren Herstellern bestückt und befindet sich in unmittelbarer Nähe zum Kunden.⁶¹² Tritt hierbei zusätzlich eine Finanzie-

⁶⁰⁵ Vgl. Beckmann, H., Schmitz, M. (2008), S. 271, S. 286.

⁶⁰⁶ Ein Fourth Party Logistics Provider (4PL) als Netzwerkintegrator ist für die Anwendungen der hier diskutierten Ersatzteillogistik nicht zweckmäßig, da die Integration in die Wertschöpfungskette zu umfassend ist.

⁶⁰⁷ Der Begriff des Multi-Vendor-Services beschreibt die Ausweitung des Serviceangebotes (Produkte und Leistungen) eines Produktherstellers auf die Produkte seiner Wettbewerber. Vgl. Baader, A. et al. (2006), S. 4.

⁶⁰⁸ Vgl. Scholz-Reiter, B. et al. (2008), S. 581.

⁶⁰⁹ Vgl. Scholz-Reiter, B. et al. (2008), S. 587.

⁶¹⁰ Vgl. Gleißner, H., Möller, K. (2009), S. 81.; Schuh, G. et al. (2012), S. 171.

⁶¹¹ Vgl. Dickmann, E., Gerth, W. M. (2007), S. 318. Aus den komplexen Prozessen und dem eigenen Know-how-Verlust, welche während einer Lieferantenbeziehung entstehen, ist es kaum mehr möglich, das ausführende Logistikunternehmen zu wechseln. Vgl. Dickmann, E., Gerth, W. M. (2007), S. 318.

⁶¹² Vgl. Werner, H. (2008), S. 207f.

zung der Ersatzteilbestände durch den Logistikanbieter auf, handelt es sich wie beim Konsignationslagersystem um ein sogenanntes Vendor Hub Financing.⁶¹³

5.8.4 Detaillierung der konkreten Handlungsempfehlungen beim Vermeiden der Komplexität

Für das präventive Vermeiden von Komplexität bieten sich folgende Maßnahmen an.

Mass Customization/Standardisierung von Ersatzteilen: Angelehnt an die Strategie der Gleichteilverwendung im Produktionsdesign, um die Familie von Produktvarianten einzuschränken, liegt der Ansatz bei den sogenannten Werksstandards über die Verwendung von identen Komponenten in mehreren Produktvarianten (Gleichteilstrategie des Kunden), die dem potentiellen Lieferanten mittels Zuliefervorschriften vorgegeben werden.⁶¹⁴ Die benötigten komplexen Kundenlösungen im Industrieanlagenbau in der Form von Mass Customization müssen über die größtmögliche Verwendung von Gleichteilen (vordefinierte Standardkomponenten) quer über alle Bedarfe realisierbar sein.⁶¹⁵ Allgemein gehen Produzenten wie Anlagenbauer verstärkt zur modularen Bauweise über, um so in großen Mengen kostengünstig zu produzieren und die Teile in unterschiedlichsten Produktvarianten verwenden zu können.⁶¹⁶ Unter der Ausnutzung von kundenseitigen Vorgaben im Konstruktionsprozess bezüglich der zu verwendeten Teile und Baugruppen, welche später auch als Ersatzteile vorgehalten werden, gelingt es bei Anlagenerweiterungen bzw. Anlagenmodernisierungen, die Vielfalt der unterschiedlichen Teile und Baugruppen zu begrenzen. Das heißt mit anderen Worten, dass die vorgesehenen Zukaufteile mit möglichst wenig neuen Varianten von Ersatzteilen erfolgen.⁶¹⁷ Als Risiko gilt es hierbei zu betrachten, dass die Strategie bezüglich Zuliefervorschriften auch zu einer Verteuerung des Produktes führen kann. Nämlich genau dann, wenn diese Differenzierung auf die Produktion in geringen Stückzahlen höhere Stückkosten zur Folge hat als bei Standard- bzw. Massenprodukten;⁶¹⁸ also, wenn Module, Baugruppen und Einzelteile als die zu verwendeten Standards definiert werden und bewusst Individualität und Flexibilität der zugekauften Produkte einschränken,⁶¹⁹ aber in weiterer Folge ebenso die Artikelvielfalt betreffend der benötigten Ersatzteile begrenzen.⁶²⁰ Somit gilt, dass unter der Verwendung von klar definierten Zuliefervorschriften in Bezug auf Ersatzteile bei Anlageninvestitionen eine wesentliche Rationalisierung durch Sortenbegrenzung (Eingrenzen der Variantenvielfalt) gegeben ist, deren Hebel in der Zukunft wirkt und so zu einer weiteren Bestandsoptimierung führt.⁶²¹

⁶¹³ Vgl. Femerling, J. C., Gleißner, H. (2012), S. 277.

⁶¹⁴ Vgl. Papier, F., Thonemann, U. (2008), S. 26. Dieser Schritt führt natürlich zu einem Zielkonflikt mit dem Lieferanten bezüglich Umsetzung seiner Gleichteilstrategie.

⁶¹⁵ Vgl. Österle, E., Senger, E. (2006), S. 49.

⁶¹⁶ Vgl. Haasis, H. D. (2008), S. 8f.

⁶¹⁷ Vgl. Kestel, R. (1995), S. 204ff.

⁶¹⁸ Vgl. Haasis, H. D. (2008), S. 84ff. Genau konträrer Ansatz zur Produktionsstandardisierung

⁶¹⁹ Vgl. Bick, W. Drexl-Wittbecker, S. (2008), S. 103.

⁶²⁰ Vgl. Jodlbauer, H. (2008), S. 18f.

⁶²¹ Vgl. Rötzel, A. (2009), S. 127.

Nebenbei der Komplexitätsreduktion durch Standardisierung und Modularisierung mittels Zuliefervorschriften wirkt sich die Verwendung von erprobten Komponenten auch positiv auf das Instandhaltungs-Know-how (Risikominimierung zum Ausfall) aus.⁶²²

Dies führt jedoch zu einer potentiellen Lieferantenportfolioselektion mit einer möglichen langfristigen Single Sourcing Beschaffungsstrategie. Es bedarf einer sorgfältigen Betrachtung aller Vor- und Nachteile, die diese Aufgabe der Beschaffungsflexibilität und Bindung an einen Lieferanten mit sich bringt. Im Sinne einer Strategiefindung, in der Chancen und Risiken ausgewogen sind, besteht daher die Notwendigkeit das Lieferantenportfolio für die strategischen Anbieter festzulegen, und nicht mit jedem Lieferantenwechsel ausgelösten Zuwachs an neuen Ersatzteilen die Komplexität zu erhöhen.⁶²³

Spare-Part-Gate (Risikoquantifizierung bei Bevorratungsentscheidung): Unter diesem Begriff ist das selektive Bevorraten von Ersatzteilen im Lagerbestand zu verstehen. Um ein Bewusstsein (subjektives Empfinden) bezüglich Schaffung/Erhöhung der Ersatzteilkomplexität bei den im Prozess beteiligten Abteilungen zu erzeugen, ist es erforderlich, die Bevorratungsabsicht kritisch zu hinterfragen. Nicht jedes Bauteil kann als potentielles Ersatzteil betrachtet werden. Ausgangsbasis für den nachhaltigen Aufbau eines erfolgreichen Ersatzteilmanagements ist somit die Definition des relevanten Artikelumfanges.⁶²⁴ Hierfür wird mittels eines Entscheidungsprozesses (Abbildung 61) im Sinne einer Risikobetrachtung die grundsätzliche Entscheidung getroffen, ob der betreffende Artikel als bestandsgeführtes Ersatzteil für die Aufrechterhaltung des Produktionsbetriebes von Nöten ist oder nicht. Dieser Entscheidungsprozess ist angelehnt an den Begriff des Risikomanagements, welches als das populärste Konzept im Umgang mit Unsicherheiten gilt.⁶²⁵

⁶²² Vgl. Bick, W. Drexl-Wittbecker, S. (2008), S. 61ff. Die Standardisierung birgt jedoch auch Risiken, da eine weitreichende Standardisierung zum Verlust der Stärke aufgrund der Individualisierung in der Lieferanten-Abnehmer-Beziehung führen kann. Es kommt daher darauf an, die richtige Balance zwischen Standardisierung und Individualisierung zu finden. Vgl. Poluha, R. G. (2010), S. 154f.

⁶²³ Vgl. Hoffmann, S. (2000), S. 152–155.

⁶²⁴ Vgl. Feldmann, S. et al. (2012), S. 78f.

⁶²⁵ Vgl. Tandler, S. M. (2013), S. 36ff.

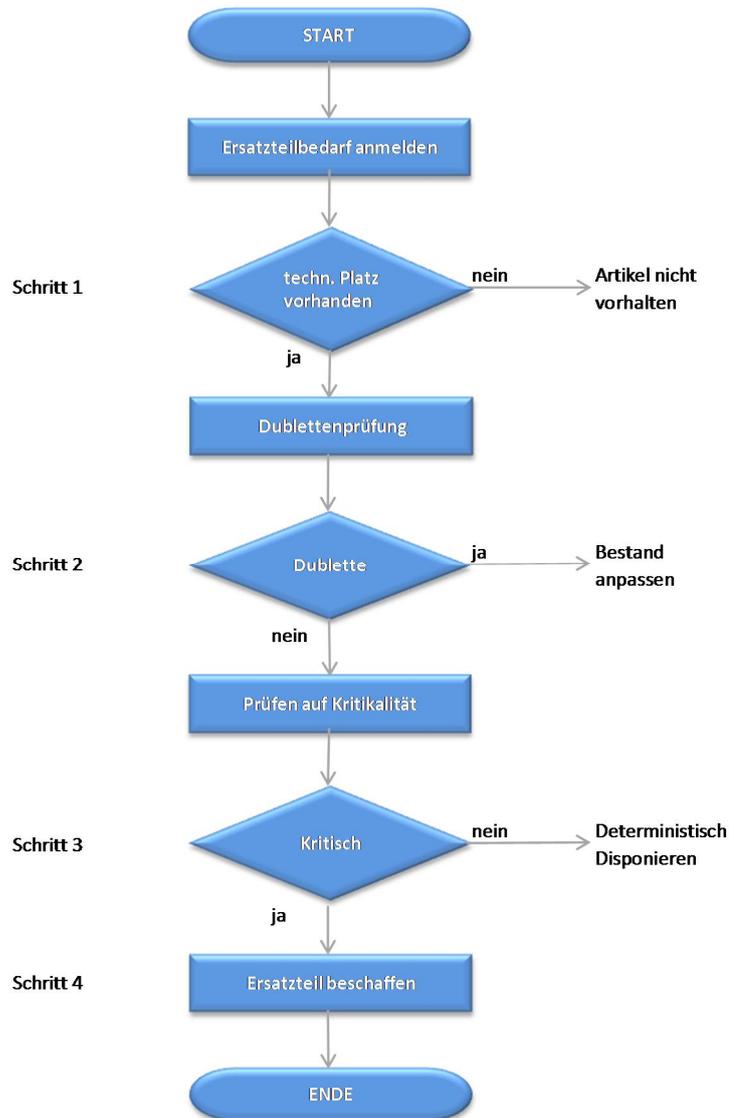


Abbildung 61: Spare-Part-Gate⁶²⁶

Unsicherheiten bezüglich des tatsächlichen Bedarfs eines Ersatzteils zur Produktionsaufrechterhaltung sind in Abhängigkeit vom Servicegrad immanent. Praktisch wird dabei mittels Systemisierungsansätzen versucht, eine Eingrenzung und Einschätzung des bestehenden Risikos über eine Nichtbevorratung vorzunehmen. Dies erfolgt unter dem Rückgriff auf Kriterien (siehe hierzu Tabelle 37), wie Ausfallkosten, Wiederbeschaffungszeit, etc. Das Ziel dieses systematischen Vorgehens ist es, die Realisierung eines optimalen Kosten-/Nutzen-Verhältnisses bei der Bevorratungsentscheidung in den Fokus zu rücken.⁶²⁷

⁶²⁶ Quelle: eigene Darstellung.

⁶²⁷ Vgl. Tandler, S. M. (2013), S. 37ff.

Tabelle 37: Entscheidungstabelle zur Ersatzteilkritikalität⁶²⁸

Faktoren		BEWERTUNG		GEWICHTUNG	RESULTAT
Materialwert/Einheit	< € 50,-		1	4	0
	€ 51,- bis € 100,-		2		
	€ 101,- bis € 500,-		3		
	€ 501,- bis € 1.000,-		4		
	€ 1.001,- bis € 5.000,-		5		
	€ 5.001,- bis € 10.000,-		6		
	> € 10.001,-		7		
Durchschnittliche Wiederbeschaffungszeit	1-2 Tage		1	6	0
	1 Woche		2		
	2 Wochen		3		
	1 Monat		4		
	3 Monate		5		
	> 3 Monate bis 6 Monate		6		
	> 6 Monate		7		
Erforderliche Reaktionszeit IH bez. erkennen Schadensfall des Ersatzteils	< 3 Tage		6	4	0
	4 bis 10 Tage		5		
	11 bis 31 Tage		4		
	32 bis 59 Tage		3		
	60 bis 100 Tage		2		
	> 100 Tage		1		
Ausfallhäufigkeit pro Teil, Durchschnittlicher Verbrauch	mehrmals in einem Jahr		5	4	0
	einmal in einem Jahr		4		
	einmal in zwei Jahren		3		
	einmal in fünf Jahren		2		
	einmal in zehn Jahren oder > 10 Jahren		1		
Anzahl Einbauplätze	ein Einbauplatz		4	3	0
	2-3 Einbauplätze		3		
	> 3 Einbauplätze		2		
	> 10 Einbauplätze		1		
	Auswirkung auf die Anlage		kein Stillstand		
kein Stillstand, aber das Ersatzteil wird bei der nächsten Reparatur getauscht		2			
kurzer Stillstand		3			
kurzer Stillstand und spätere Reparatur während nächstem geplantem Stillstand		4			
kurzer Stillstand und spätere Reparatur in außerplanmäßigen Stillstand		5			
Produktion mit Qualitätseinbußen möglich		6			
Produktion mit Quantitätseinbußen möglich		7			
Anlage steht still		8			
Ausfallfolgen für den Produktionsbetrieb	keine nennenswerte Beeinträchtigung der Produktion		1	9	0
	kurzzeitiger Anlagenstillstand oder geringe Beeinträchtigung der Qualität oder Quantität		2		
	Stillstand ohne eine Beeinträchtigung von anderen Anlagen oder Prozessen		3		
	Ausfall der Anlage mit möglichen Beeinträchtigungen von weiteren Anlagen oder Betrieben, Gefahr für Leib und Leben		4		
				KRITIKALITÄT	0

Zu unterscheiden ist hierbei, ob der Schadensfall des Ersatzteils gleichbedeutend mit einem Totalausfall der Anlage ist oder nicht, also ob es sich um ein kritisches Ersatzteil, bzw. funktionskritisches Bauteil oder um ein funktionsunkritisches Bauteil handelt und somit der zeitliche Aspekt der Wiederherstellung weniger bedeutend für die betriebliche Produktion ist.⁶²⁹ Aus Sicht der Systemtheorie soll mittels dieses Tools der Zusammen-

⁶²⁸ Vgl. Heinzl, A. (2017), S. 1.

⁶²⁹ Vgl. Schuh, G. et al. (2012), S. 171ff.

hang von Ursache und Wirkung bezüglich einer Komplexitätszunahme hergestellt werden. Für die Bevorratungsentscheidung zeigt Tabelle 37 ein Risikobewertungsblatt, das zur Unterstützung bei der Festlegung dient, ob es sich um ein funktionsunkritisches bzw. funktionskritisches Bauteil handelt. Mittels Punktbewertung und entsprechender Gewichtung ist hierbei ähnlich der Berechnung einer Risikoprioritätszahl ein numerischer Wert ermittelbar, der die Entscheidungsfindung unterstützt, wobei je nach Anlagenkonfiguration, Instandhaltungsstrategie und Produktionsprogrammplanung die Gewichtung der einzelnen Faktoren durchaus abweichend erfolgt.

Service Level Agreements: Kundenindividuelle Ersatzteilvereinbarung, die bei Abschluss des Kaufvertrages einer Anlage getätigt wird. Darin werden Vereinbarungen bezüglich der Lieferzeit- und Verfügbarkeitsanforderungen sowie des Eigentumsübergangs und der Vergütung der benötigten Ersatzteile fixiert.⁶³⁰ Der hierbei verwendete Ansatz ist, dass nicht nur eine Anlage sondern auch ihre Verfügbarkeit über einen definierten Zeitraum gekauft wird.

Eigenfertigung im Ausfall: Betrifft mechanische Zeichnungsteile, die ein verzögertes Ausfallverhalten besitzen und deren Fertigungszeit kleiner als der Zeitraum der verzögerten Ausfallszeit ist. In diesen Fällen ist das Potential einer Expressfertigung bei Verfügbarkeit von Eigenfertigungskapazitäten sowie das Know-how der internen Werkstätte im Ersatzteilbedarfsfall und somit ein Verzicht auf Bevorratung zu überprüfen.⁶³¹ Dieser Vorgang reduziert die Artikelanzahl.

⁶³⁰ Vgl. Feldmann, S. et al. (2012), S. 81.

⁶³¹ Angelehnt an den Ansatz der Lagerfertigung. Vgl. Gudehus, T. (2010), S. 303ff.

6 Modellevaluierung

In diesem Abschnitt findet die empirische Überprüfung der vorangegangenen theoretischen Überlegungen bezüglich des Optimierungsmodells im Zuge des Projektes „Bestandsmanagement“⁶³² der Einkaufsabteilung der voestalpine Stahl Donawitz⁶³³ statt. Diese Evaluierung der Praxistauglichkeit des Optimierungsmodells wird anhand einer repräsentativen und abgrenzbaren Teilmenge des Gesamtsystems „Ersatzteile“ aus den unten angeführten Werksbereichen der voestalpine (Division Metal Engineering) überprüft. Das Gesamtsystem beinhaltet sämtliche bevorratete Ersatzteile aus den unten angeführten Lagerbereichen:

- voestalpine Stahl Donawitz GmbH (Buchungskreis 0075, 22.147 Stk. Ersatzteile [Artikel], 21,57 Mio. EUR Bestandswert)
- voestalpine Schienen GmbH (Buchungskreis 0011, 2.787 Stk. Ersatzteile [Artikel], 4,66 Mio. EUR Bestandswert)⁶³⁴
- voestalpine wire rod GmbH (Buchungskreis 0074, 11.414 Stk. Ersatzteile [Artikel], 4,74 Mio. EUR Bestandswert)

Für die Evaluierung wird nicht das Gesamtsystem, sondern ausschließlich ein repräsentativer Teil daraus extrahiert.

6.1 Darstellung der Systemstruktur

Grundsätzlich gilt, dass die Bewertung und Beschreibung eines Systems in Form einer IST-Systemanalyse sehr sorgfältig zu erfolgen hat, da dies den Ausgangspunkt für alle weiteren Optimierungsschritte in dieser Evaluierungsphase darstellt. Da sich auch ein bekanntes System permanent verändert, ist beim Einfrieren der Ausgangsdaten, bei dem ein statisches Abbild erzeugt wird, der generierte Datensatz auf Plausibilität zu prüfen. Diesbezüglich ist die Erfassung des IST-Systems nicht nur ausschließlich ein Ablauf, der wie ein simpler Abbildungsvorgang erfolgt, sondern erfordert gegebenenfalls Korrekturmaßnahmen, wie Tabelle 40 zusammengefasst zeigt.⁶³⁵ In diesem Praxisbeispiel offenbart sich gleich zu Beginn, dass sich eine Vielzahl von variantenfremden Artikeln fälschlicherweise unter der betrachteten Teilmenge befindet. Erst nach Korrektur dieser Ele-

⁶³² Ein internes Projekt der Einkaufsabteilung mit dem Ziel, drei Lagerbereiche organisatorisch zu vereinen sowie die Abläufe in den Bereichen zu harmonisieren und die Ersatzteillogistik dabei zu optimieren. Optimieren bedeutet hierbei: Bestände reduzieren, Prozessabläufe digitalisieren und automatisieren, Personal qualifizieren, Schnittstellen harmonisieren.

⁶³³ Die Einkaufsabteilung der voestalpine Stahl Donawitz gliedert sich in die Bereiche Beschaffung, Materialwirtschaft und Zoll, wobei der Bereich Materialwirtschaft für die Ersatzteillogistik im Sinne von „Einkauf, Disposition, Lagerhaltung, Entsorgung/Verwertung und Controlling“ der drei oben genannten Buchungskreise verantwortlich ist.

⁶³⁴ Aktuell ist erst ein Bruchteil der Ersatzteile bestandsgeführt, und die oben genannte Zahl an Ersatzteilen entspricht nicht der Realität.

⁶³⁵ Vgl. Bretzke, W. R. (2008), S. 51f.

mente liegt ein eingefrorenes IST-System vor, das für die Erprobung des Optimierungsmodells verwendet werden kann.

Zur Beschreibung der zu analysierenden Systemstruktur werden folgende Begrifflichkeiten herangezogen:

System: Ausgangsbasis für die Evaluierung sind die Variantenspektren RTE (Reserve-
teile Elektrisch) aus den Systemen (ERP-Buchungskreisen) 0075 und 0074. Beide Sys-
teme sind sich gegenüber (Buchungskreisübergreifend) vollständig abgeschlossen. Die
bestehende Systemgrenze beider Systeme ist die im IST-System erfasste Variantenanz-
ahl (Artikelanzahl). Gegenüber der Systemumwelt sind beide Systeme offen in Bezug auf
Variantenvielfalt und Produktlebenszyklus. Für die Evaluierung werden beide Systeme
zueinander geöffnet, damit ein Austausch untereinander (Mehrfachteile, Mehrortteile)
erfolgen kann.

Komplexe Struktur: Angelehnt an Abbildung 3 erfolgt unter Zuhilfenahme der Ersatzteil-
typologie (Kapitel 3.4.1.1) die Darstellung der vorherrschenden Struktur in beiden Sys-
temen der Ersatzteillogistik.

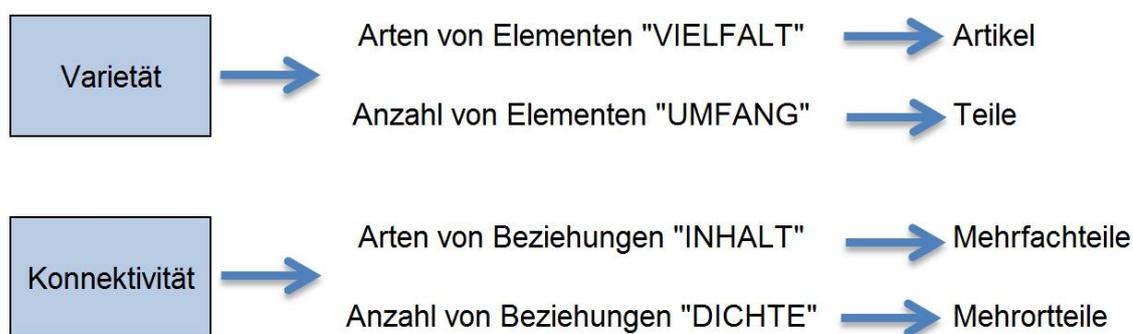


Abbildung 62: Komplexe Struktur des Systems „Ersatzteillogistik“⁶³⁶

Datenbasis: Tabelle 38 zeigt die eingefrorene Datenbasis (Stand 28.02.2017) der Aus-
gangssystemkonfiguration mit den oben definierten Systemgrenzen, welche die wichtigs-
ten Strukturelemente enthalten, die die Komplexität aufspannen. Diese Parameter wer-
den auch als Vergleichswert für die Festlegung der Güte des Optimierungsmodells am
Ende der praktischen Evaluierung herangezogen und dienen als Vergleichswert zur
Messung (Indikatoren für Erfolgsmessung mit vergleichendem Charakter) des erreichten
Komplexitätsgrades.

⁶³⁶ Quelle: eigene Darstellung. Das Variantenspektrum RTE aus den beiden Buchungskreisen ist eindeutig abgrenzbar und beinhaltet ausschließlich Standard-, Norm- und DIN-Teile. Die Lagerorte sind zwar räumlich getrennt, aber noch in einem für die Instandhaltung vertretbaren Einzugsgebiet bezüglich des Themas „Potential aus Mehrfachteilen“.

Tabelle 38: Ausgangskonfiguration der Systemstruktur⁶³⁷

	System 0075	System 0074	Gesamt
Artikellanzahl	5.446 Stk.	2.443 Stk.	7.889 Stk.
Teileanzahl	17.667 Stk.	26.225 Stk.	43.943 Stk.
Gesamtbestandswert	3,14 Mio. EUR	0,94 Mio. EUR	4,048 Mio. EUR
Einbauplätze	>3.886 Stk.	>8.973 Stk.	>12.859 Stk.
Lagerorte	10 Stk.	1 Stk.	11 Stk.

Erwähnenswert ist zu Tabelle 38, dass der Systemumfang von 0075 aus einer größeren Anzahl von Artikeln als der des Systems 0074 besteht, jedoch sind im System 0074 mehr Teile pro Artikel als im System 0075 vorhanden. Des Weiteren sind die Artikel im System 0075 auch kostenintensiver (in Summe gesehen) als im System 0074, was auf den ersten Blick den Schluss zulässt, dass im System 0075 zwar weniger, dafür aber teurere Teile als im System 0074 vorkommen.

Zusätzlich zum Einfrieren der Systemstruktur erfolgt auch ein Einfrieren der Systemumwelt in der Form, dass der vorgegebene Servicegrad und die bestehende Anlagenkonfiguration (Anlagenbestand) für den betrachteten Optimierungszeitraum konstant bleiben.

6.2 Praktische Anwendung des Optimierungsmodells

Wie bereits bei der Darstellung des theoretischen Modellaufbaus ist auch im Optimierungsmodell einer der ersten Schritte die Identifikation der Komplexitätstreiber und die Sensibilisierung darauf, ebenso wie die Festlegung der Leitlinien in Form der expliziten Rahmenbedingungen als einer der kritischen Erfolgsfaktoren im Modell.

Hinsichtlich der Identifikation der (primären) Komplexitätstreiber lässt sich bereits, wie in der Systemausgangskonfiguration diskutiert, erkennen, dass die vorhandenen Systeminformationen bezogen auf die Vernetzung (Konnektivität) nicht vollständig sind. Das bedeutet, dass Systeminformationen die Einbauplätze betreffend nicht vollumfänglich vorhanden sind bzw. dass nicht vollständig bekannt ist, wie viele Teile eines Artikels am betreffenden Einbauplatz benötigt werden. Diesbezüglich ist das Variantenspektrum mit einer Unschärfe behaftet. Betreffend die Varietät (Art und Anzahl von Elementen) sind die Daten vollständig erfasst und vorhanden. Die Datenqualität wird hinsichtlich des Vorhandenseins von Hilfs- und Betriebsstoffen sowie von fälschlicherweise bestandsgeführ-

⁶³⁷ Die Einbauplätze können nur aufgrund einer groben Schätzung angegeben werden, da keine vollständige Information diesbezüglich vorliegt, und beziehen sich ausschließlich auf die im ERP-System gepflegten Einbauplätze wie technischer Platz, Stückliste bzw. Equipmentliste. Dies bedeutet, dass im System 0074 für jeden Artikel mindestens 1 Einbauplatz hinterlegt ist, während im System 0075 nur für ca. 4.400 Artikel Einbauplätze hinterlegt sind. Des Weiteren kann nicht systemunterstützt eruiert werden, wie viele Teile eines Artikels pro definiertem Einbauplatz benötigt werden. Somit ergibt sich aus der Betrachtung der Konnektivität bereits eine beträchtliche Unschärfe.

ten Artikeln (ND) und Dubletten noch im betrachteten Variantenspektrum (Tabelle 39) bereinigt. Die gesamte Evaluierung des Modells wird unter Mitwirkung der betroffenen Instandhaltungsabteilungen (Wissensträger in Bezug auf Einbauplätze) aus den betroffenen Werksbereichen sowie zweier Elektrogroßhändler und eines Herstellers/Produzenten durchgeführt. Letztere sind auch die produktspezifischen Wissensträger bezüglich der Generierung von Mehrzweckteilen im Variantenspektrum sowie des Berücksichtigens des Produktlebenszyklus von Artikeln im Variantenspektrum.

In Bezug auf die Leitlinien werden die erforderlichen organisatorischen und prozesstechnischen Anforderungen für diese Evaluierungsphase nicht implementiert.⁶³⁸ Im Zuge der Evaluierung hat sich jedoch gezeigt, dass diejenigen geforderten Punkte, die vor allem einer Zusammenarbeit mit den Instandhaltungsabteilungen bedürfen, sehr zeitintensiv und von mehrmaligen Iterationsschleifen gekennzeichnet sind. Dies bedeutet, dass bei einer vollständigen Implementierung des Komplexitätsmanagementprozesses die Einführung und Umsetzung der Leitlinien unabdingbare Voraussetzung sind.

6.2.1 Erfassen der Systemkomplexität

Für die erste Normstrategie in der verwendeten Komplexitätsstrategie gilt es, die Handlungsempfehlung „Komplexitätserfassung“ zu nutzen. Zu diesem Zweck wurden die Systemparameter aus Tabelle 38 noch mit zusätzlichen Systeminformationen gemäß Tabelle 39 auf Artikelebene aufbereitet. Diese erweiterte Systemkonfiguration ist in weiterer Folge die Ausgangsbasis für die in den nächsten Schritten benötigte Artikeldifferenzierung und Segmentierung, die die Umsetzung aller beabsichtigten Optimierungsschritte aus den Komplexitätsstrategien erlauben.

Betreffend die konkreten Handlungsempfehlungen aus Tabelle 32 gilt, dass die „Stammdatenanlage/Klassifikation“ der Ersatzteile vollständig durchgeführt wurde. Die verwendeten Materialstammsätze wurden im Zuge der Klassifizierung einer Dublettenprüfung unterzogen, dabei wurden die Materialdubletten gemäß Tabelle 40 identifiziert und einer Optimierung zugeführt.

⁶³⁸ Dies bedeutet auch, dass aus diesem Titel keine weiteren Komplexitätskosten hinsichtlich Kosten für Lager, Equipment und Personal sowie für die Ressourcen enthalten sind, die diese Optimierungsmaßnahmen hinsichtlich Komplexität managen.

Tabelle 39: Erweiterte Systemkonfiguration⁶³⁹

Kriterium	Zweck/Erklärung
Materialnummer (ERP-Stammdatennummer)	Pro Artikel, pro System existiert eine Materialnummer und spannt das Variantenspektrum auf. Dient zur Identifizierung des Einbauortes
Materialkurztext	Beschreibung des Artikels
Hersteller/Lieferant	Klassifizierungsinformation
Artikelnummer d. Herstellers/Lieferant	Klassifizierungsinformation zur eindeutigen Identifizierung des Artikels
Erstanlage Stammsatz	Dient zum Identifizieren des Datums der Stammdatenanlage eines Artikels im ERP-System
IST-Stand (Teileanzahl)	Anzahl der Teile pro Artikel zum 28.02.2017
Lagerort (Ursprungssystem)	Dient zur Identifizierung des Lagerorts
Einbauplatz (technischer Platz, Stückliste, Equipmentliste, alte Materialnummer)	Dient zur Identifizierung des Verwendungsortes/Einbauortes
Verbrauch	Teileabgang pro Artikel der letzten sechs Jahre auf Jahresbasis
Durchschnittsverbrauch	Durchschnittlicher Verbrauch während der Bestandsführung
Prognoserechnung	Berechnete SOLL-Teileanzahl unter Einbeziehung des SF und der MAD
ABC-Kennzeichen	Wertigkeit des Artikels
XYZ-Kennzeichen	Verbrauchsstetigkeit des Artikels
Teilewert	EURO-Betrag des einzelnen Teils
Artikelwert	EURO-Betrag des einzelnen Artikels

Auf Basis der Klassifizierung und der detaillierten Erfassung des Variantenspektrums wurden folgende Bereinigungen in der Systemstruktur umgesetzt:

- HIBE: Hilfs- und Betriebsstoffe wurden identifiziert, die fälschlicherweise als Ersatzteile geführt werden. Diese werden aus dem betrachteten Variantenspektrum entfernt.
- ND: Nicht Disponierbar, Artikel mit Nullbestand, aber mit bestehendem Stammsatz ohne Löschermerk. Diese Stammsätze werden aus dem betrachteten Variantenspektrum entfernt.
- Dublette: Idente Artikel (mit unterschiedlichen Materialnummern), welche mithilfe der Klassifizierung im System 0075 und im System 0074 identifiziert wurden. Die-

⁶³⁹ Verbrauchswerte beziehen sich auf den Zeitraum vom 01.04.2011 bis 28.02.2017.

se werden im betrachteten Variantenspektrum auf jeweils eine Materialnummer pro Artikel und pro System zusammengeführt und der Teilehöhe entsprechend optimiert.

Tabelle 40: Systemkonfiguration korrigiert

SYSTEMKONFIGURATION 1.0		HIBE	ND	Dublette	Status 1.0
	Artikelanzahl Σ	362 Stk.	181 Stk.	76 Stk.	7.270 Stk.
	System 0075	154 Stk.	123 Stk.	44 Stk.	5.125 Stk.
	System 0074	208 Stk.	58 Stk.	32 Stk.	2.145 Stk.
	Teileanzahl Σ	7.684 Stk.	0 Stk.	190 Stk.	36.102 Stk.
	System 0075	105 Stk.	0 Stk.	53 Stk.	17.531 Stk.
	System 0074	7.579 Stk.	0 Stk.	137 Stk.	18.571 Stk.
	Gesamtbestandswert Σ	56.087 EUR	0 EUR	31.481 EUR	3,991 Mio. EUR
	System 0075	37.812 EUR	0 EUR	11.446 EUR	3,062 Mio. EUR
	System 0074	18.275 EUR	0 EUR	20.034 EUR	0,899 Mio. EUR

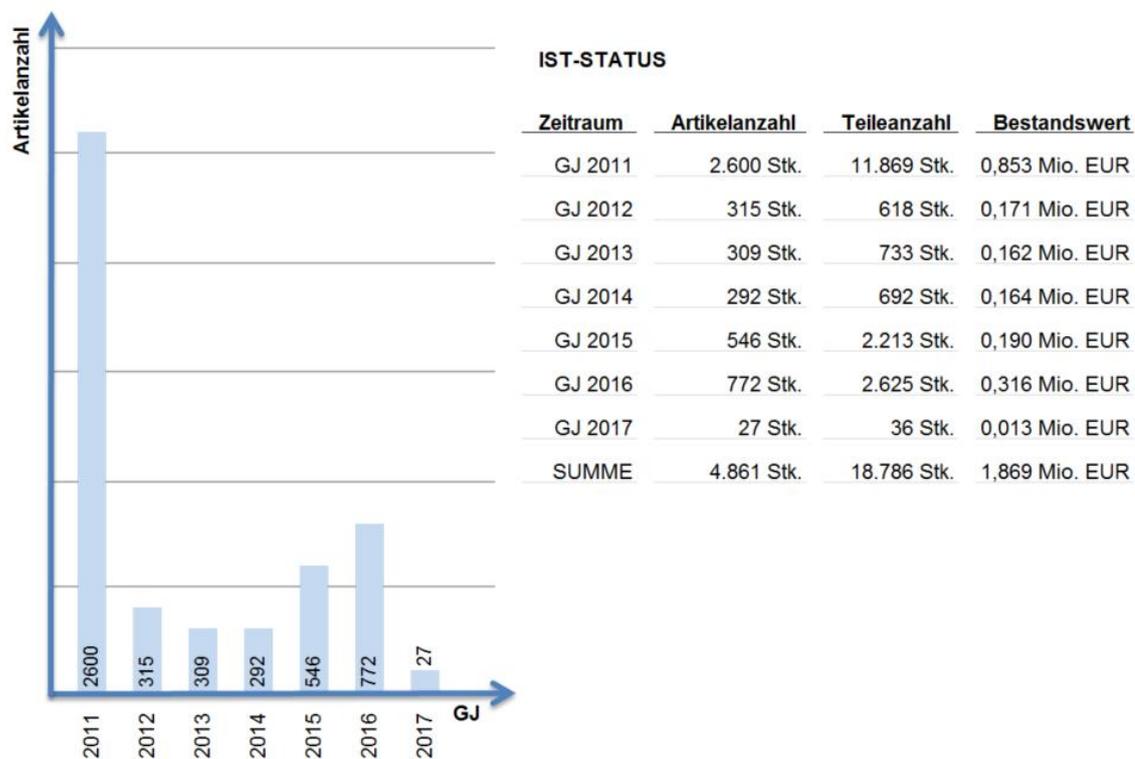
In Tabelle 40 sind die Korrekturpotentiale in Bezug auf HIBE, ND und Dublette dargestellt, dieses Artikelspektrum ist in korrigierende Verbindung zu Tabelle 38 „Ausgangskonfiguration“ gebracht worden. Dementsprechend enthält sie eine optimierte Ausgangskonfiguration „Systemkonfiguration 1.0“.⁶⁴⁰ Die Aktion „Bestandsführung/Technische Platzstruktur der Ersatzteile“ ist, wie bereits oben erwähnt, nicht vollständig umgesetzt worden. Es sind zwar sämtliche Artikel des Variantenspektrums bestandsgeführt, jedoch sind nicht alle Einbauplätze bekannt bzw. ist dies für jene Artikel, die keine Anlagenkennung aufweisen, zum jetzigen Evaluierungszeitpunkt nicht mehr mit einem vertretbaren Aufwand nachtragbar.

6.2.2 Reduzieren der Komplexität

Bezüglich der Komplexitätsstrategie „Reduktion“ der Vielfalt wird in diesem Abschnitt beabsichtigt, die bereits bestehende Komplexität zu reduzieren und damit die Varietät und die Konnektivität zu beeinflussen. Das Ergebnis aus diesen Bemühungen wirkt sich unmittelbar auf die Gegenwart aus und ist dementsprechend umgehend in der Bestandshöhe und im Bestandswert ersichtlich. Der erste Schritt in diesem Abschnitt ist der Aufbau einer Verbrauchsanalyse. Diese stellt eine Verbindung von der Erstanlage eines Stammsatzes zur Lagerbewegung des betreffenden Artikels dar. Ausgangspunkt ist das bereinigte Variantenspektrum gemäß Tabelle 40 „Systemkonfiguration 1.0“. Abbildung 63 zeigt hierzu das Ergebnis über die letzten sieben Geschäftsjahre (GJ). Die große Anzahl von 2.600 Artikeln aus dem Jahr 2011 resultiert aus einem Systembruch im Enterprise-Resource-Planning-System, welches Informationen nur rückwirkend bis einschließ-

⁶⁴⁰ Eine weitere Rahmenbedingung, die für die Evaluierung wesentlich ist, ist die Tatsache, dass Ersatzteile „UNBEWERTET“ mit dem Wert 0 EUR im Bestand geführt werden. Dies rührt daher, dass diese Ersatzteile mit der Ursprungsinvestition mitgekauft wurden und sofort mit der Anlagenbuchhaltung aktiviert wurden. Ersatzteile mit einem Wert > 0 EUR sind auf Konto Lager gekauft und somit als „BEWERTET“ geführt.

lich 2011 darstellt. Ziel dieser Optimierungsabsicht ist es, diejenigen Artikel aus dem Sortiment zu filtern, die keine Lagerbewegung zeigen, da diese möglicherweise überhaupt nicht benötigt werden bzw. die Teileanzahl aufgrund der Vergangenheitskenntnisse optimiert werden kann.

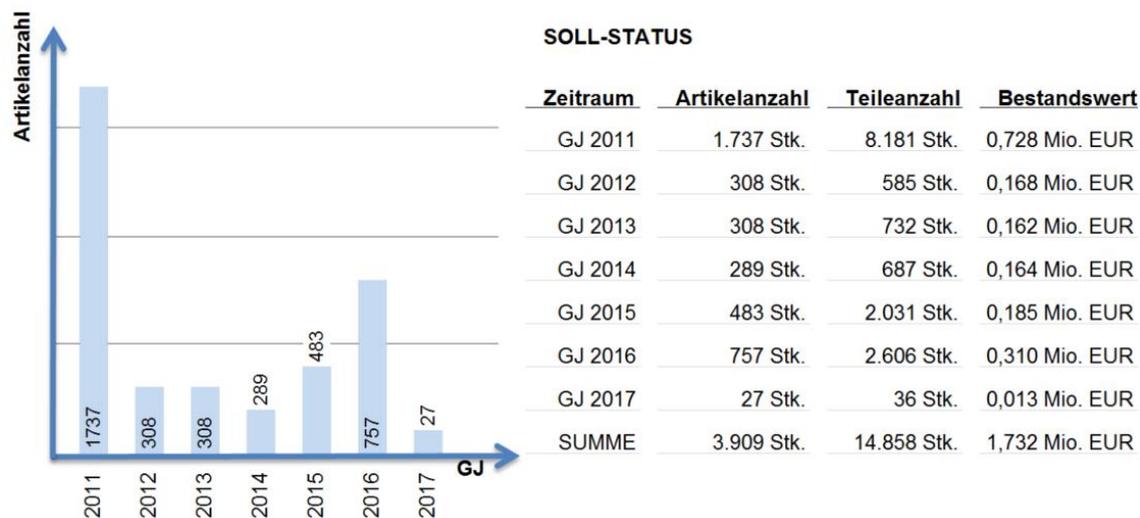


IST-STATUS

Zeitraum	Artikelanzahl	Teileanzahl	Bestandwert
GJ 2011	2.600 Stk.	11.869 Stk.	0,853 Mio. EUR
GJ 2012	315 Stk.	618 Stk.	0,171 Mio. EUR
GJ 2013	309 Stk.	733 Stk.	0,162 Mio. EUR
GJ 2014	292 Stk.	692 Stk.	0,164 Mio. EUR
GJ 2015	546 Stk.	2.213 Stk.	0,190 Mio. EUR
GJ 2016	772 Stk.	2.625 Stk.	0,316 Mio. EUR
GJ 2017	27 Stk.	36 Stk.	0,013 Mio. EUR
SUMME	4.861 Stk.	18.786 Stk.	1,869 Mio. EUR

Abbildung 63: IST-Ladenhüterliste⁶⁴¹

Bereits aus Abbildung 63 ist ersichtlich, dass ein Anteil von ca. 66% des Spektrums aus nichtdrehenden Artikeln besteht, wobei die Wahrscheinlichkeit, dass es sich um einen echten Ladenhüter handelt, steigt, je weiter in die Vergangenheit zurückgeblickt wird.



SOLL-STATUS

Zeitraum	Artikelanzahl	Teileanzahl	Bestandwert
GJ 2011	1.737 Stk.	8.181 Stk.	0,728 Mio. EUR
GJ 2012	308 Stk.	585 Stk.	0,168 Mio. EUR
GJ 2013	308 Stk.	732 Stk.	0,162 Mio. EUR
GJ 2014	289 Stk.	687 Stk.	0,164 Mio. EUR
GJ 2015	483 Stk.	2.031 Stk.	0,185 Mio. EUR
GJ 2016	757 Stk.	2.606 Stk.	0,310 Mio. EUR
GJ 2017	27 Stk.	36 Stk.	0,013 Mio. EUR
SUMME	3.909 Stk.	14.858 Stk.	1,732 Mio. EUR

Abbildung 64: SOLL-Ladenhüterliste⁶⁴²

⁶⁴¹ Quelle: eigene Darstellung. Die große Anzahl im Jahr 2011 resultiert aus dem Upgrade des benutzten ERP-Systems, das einen Medienbruch darstellt. Somit stellen diese Stammdaten einen Transfer vom Alt- ins Neu-System dar.

Für die Durchführung der Verbrauchsanalyse ist eine Einbeziehung der Instandhaltungsabteilungen unbedingt vonnöten, da die Information, ob weiterhin ein potentieller Bedarf besteht oder ob der betreffende Einbauplatz nicht mehr existiert, (in diesem Praxisbeispiel) ausschließlich durch die Vor-Ort-Instandhaltungsbetriebe erhoben wird. Abbildung 64 zeigt das Ergebnis der Optimierungsbemühungen hinsichtlich des Entfernens von Artikeln aus dem Variantenspektrum.

Zur Identifikation von Mehrortteilen ist die zur Verfügung stehende Datenbasis nicht geeignet. Dementsprechend können in diese Richtung keine Optimierungspotentiale evaluiert werden.

Aufbauend auf den Ergebnissen des ersten Schrittes wird das verbliebene Artikelspektrum bezogen auf die Konnektivität im Hinblick auf Mehrfachteile optimiert. Als Mehrfachteile werden Artikel bezeichnet, die einerseits im Variantenspektrum 0075 in mehreren Lagerorten vorkommen und andererseits dem Variantenspektrum 0075 und 0074 zugeordnet werden können. Das Zusammenführen von Mehrfachteilen in einem Lagerort hat das Potential, die Teilehöhe zu optimieren. Dies bedeutet jedoch auch ein Verschmelzen der beiden Teilsysteme zu einem Gesamtsystem. Das Optimierungspotential liegt im Bereich der Varietät, da die Teileanzahl, absolut betrachtet, reduziert wird. Tabelle 41 zeigt hierzu die Ausgangssituation, dargestellt als IST-Situation, sowie das Ergebnis der Optimierung, dargestellt als SOLL-Situation. Als Optimierung wird, wie bereits erwähnt, auf einen Lagerort reduziert und die Teilehöhe dem Umfang entsprechend optimiert.

Tabelle 41: Mehrfachteile bereinigen⁶⁴³

		Mehrfachteile 0075	Mehrfachteile 0075/0074	Gesamt Σ	
MEHRFACHTEILE	IST-Status	Artikel	41 Stk.	208 Stk.	249 Stk.
		Teile	116 Stk.	1.128 Stk.	1.204 Stk.
		Bestandswert	32.766 EUR	69.672 EUR	102.438 EUR
	SOLL-Status	Artikel	21 Stk.	116 Stk.	137 Stk.
		Teile	61 Stk.	819 Stk.	840 Stk.
		Bestandswert	13.119 EUR	42.539 EUR	55.658 EUR
	Δ	Artikel	20 Stk.	92 Stk.	112 Stk.
		Teile	55 Stk.	309 Stk.	364 Stk.
		Bestandswert	19.647 EUR	27.133 EUR	46.780 EUR

Anschließend wird das optimierte Artikelspektrum gemäß Abbildung 65 in einer Ladendrehermatrix dargestellt, welche das Optimierungspotential zwischen durchschnittlichem Teileverbrauch und durchschnittlichem Teilebestand in einer Portfoliodarstellung korreliert darstellt. Abgebildet werden wiederum die Ausgangssituation, als IST-Situation bezeichnet, und der optimierte Zustand des Variantenspektrums (gekennzeichnet als

⁶⁴² Quelle: eigene Darstellung.

⁶⁴³ Hierbei wurde eine Abschätzung der zukünftigen Teileanzahl pro Artikel auf Basis der Prognoserechnung durchgeführt.

SOLL-Situation). Anhand der Ausgangssituation ist erkenntlich, dass im Bereich der Langsamdreher und Ladenaüter das größte Optimierungspotential vorhanden ist.

Aus Abbildung 65 geht hervor, dass die Verbrauchscluster unterhalb der Nebendiagonale umso mehr Optimierungspotential besitzen, je geringer die Verbrauchswerte sind. Bei höheren Verbrauchswerten (Verbrauchscluster 7 und 8) ist eine ausgewogene Korrelation zwischen Bedarf und Bestand zu beobachten. Dispositive Erfahrungswerte aufgrund der rascheren Drehung ermöglichten in der Vergangenheit eine genauere Teilekorrelation.

Die Optimierungsbemühungen liegen bei dieser Maßnahme in der Reduktion der Teilehöhe pro Artikel, um damit eine Verschiebung der Verbrauchsklassen in Richtung Nebendiagonale zu erzwingen.

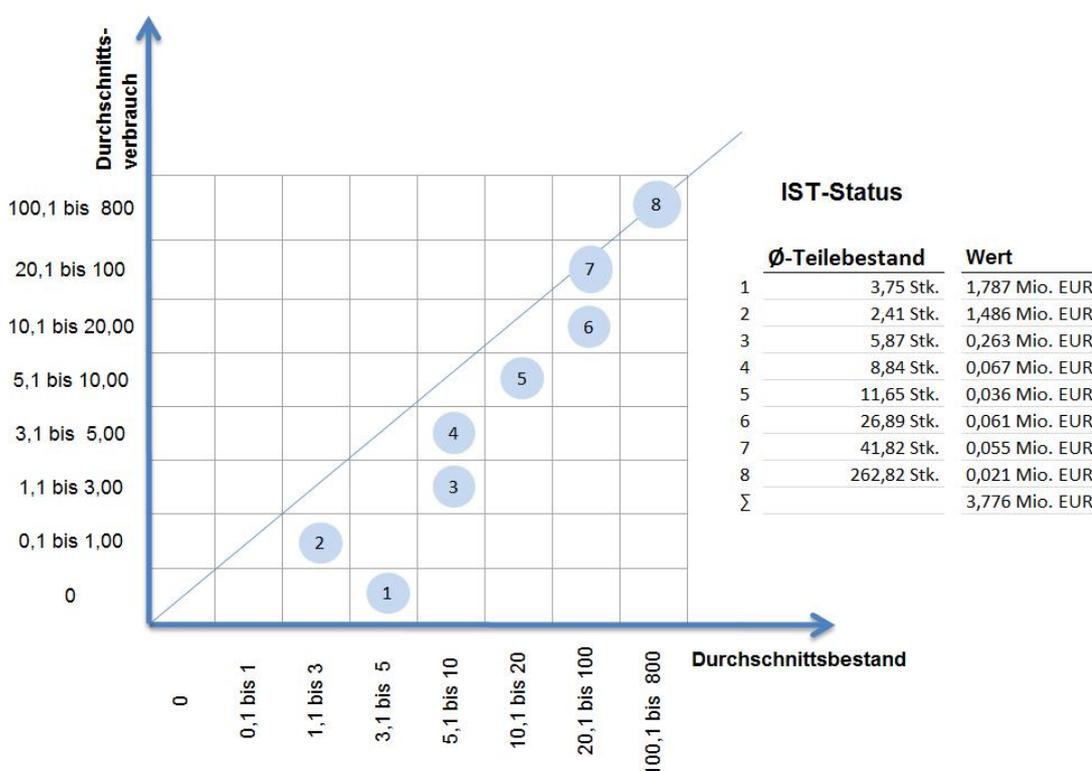


Abbildung 65: IST-Ladendrehermatrix⁶⁴⁴

Korrigiert wird um die Differenz der Teileanzahl zwischen IST-Teileanzahl und Prognoserechnung. Die Prognoserechnung (exponentiell geglätteter Mittelwert der 1. Ordnung plus SF mal MAD) wird, wie in Tabelle 39 dargestellt, für sämtliche Artikel durchgeführt.

⁶⁴⁴ Quelle: eigene Darstellung.

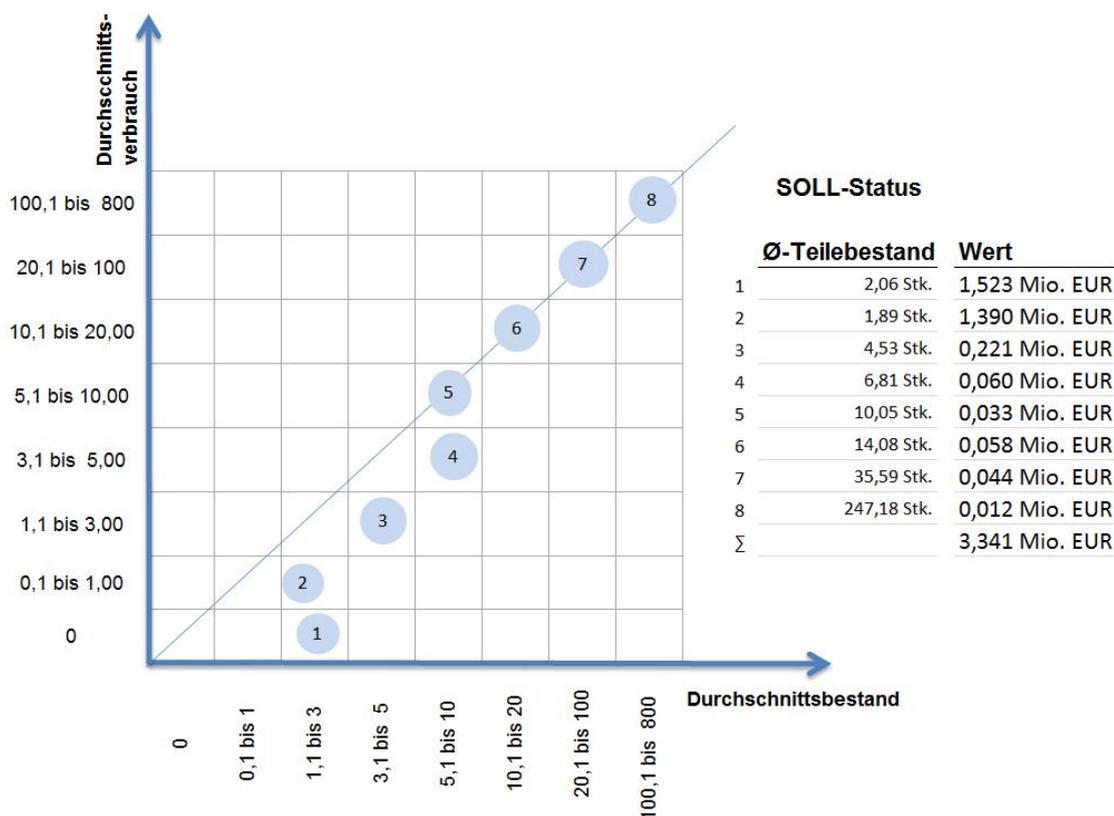


Abbildung 66: SOLL-Ladendrehermatrix⁶⁴⁵

Wie in Tabelle 42 dargestellt ist, ist die Verwendung der Ladendrehermatrix als Optimierungsmaßnahme in diesem Evaluierungsbeispiel die weitaus effektivste Maßnahme bei der Komplexitätsreduktion.

Bezüglich der Potentialabschätzung von Mehrzweckteilen ist im Hinblick auf die Erstellung von Zuliefervorschriften ein mögliches Optimierungspotential dargestellt. (Siehe dazu 6.2.4 Vermeiden der Komplexität unter Mass Customization/Standardisierung von Ersatzteilen)

Abschließend erfolgt die Potentialdarstellung aller drei Optimierungsschritte in Tabelle 42, welche wiederum als Ausgangspunkt für die weiteren Betrachtungen dient. Tabelle 42 zeigt das Ergebnis der Komplexitätsreduktion aus dem Wirkungsbereich der Vergangenheit. Der direkte Vergleich von Tabelle 42 mit Tabelle 38 zeigt, dass die Artikelanzahl um ~21%, die Teileanzahl um ~50% und der Bestandswert um ~17% reduziert werden konnte. Dies deckt sich mit der eingangs erwähnten Abschätzung von Bäck, dass 15% bis 30% an überhöhten Ersatzteilbeständen in den Unternehmen vorhanden sind.⁶⁴⁶

⁶⁴⁵ Quelle: eigene Darstellung.

⁶⁴⁶ Vgl. Bäck, H. (1987), S. 210. Ein positiver Nebeneffekt der Bestandsoptimierung ist, dass dringend benötigte Lagerkapazitäten frei werden.

Tabelle 42: Systemkonfiguration 2.0

SYSTEMKONFIGURATION 2.0		Verbrauchsanalyse	Mehrfachteile	Ladendrehermatrix	Status 2.0
	Artikelanzahl Σ	952 Stk.	112 Stk.	0 Stk.	6.206 Stk.
	System 0075	788 Stk.	64 Stk.		4.273 Stk.
	System 0074	164 Stk.	48 Stk.		1.933 Stk.
	Teileanzahl Σ	3.928 Stk.	364 Stk.	9.965 Stk.	21.812 Stk.
	System 0075	1.569 Stk.	151 Stk.	6.815 Stk.	8.963 Stk.
	System 0074	2.359 Stk.	213 Stk.	3.150 Stk.	12.849 Stk.
	Gesamtbestandswert Σ	137.350 EUR	46.781 EUR	435.176 EUR	3,341 Mio. EUR
	System 0075	89.381 EUR	28.883 EUR	357.802 EUR	2,585 Mio. EUR
	System 0074	47.850 EUR	17.898 EUR	77.375 EUR	0,756 Mio. EUR

Nicht enthalten sind hierbei noch potentielle Optimierungseffekte aus dem Thema „Mehrrorteile“ und „Mehrzweckteile“.

6.2.3 Beherrschen der Komplexität

Die konkreten Handlungsalternativen zum Beherrschen der Komplexität haben ihren Wirkungsbereich in der Gegenwart, und nicht alle Ergebnisse der Optimierungsbemühungen sind umgehend erkennbar, wie es beim Reduzieren der Komplexität der Fall ist. Als Ausgangsbasis für diese Handlungen wird die Segmentierung des Variantenspektrums (Systemkonfiguration 2.0) hinsichtlich ABC-XYZ-Analyse (exkl. Ladenhüter) vorgenommen. Tabelle 43 zeigt das Ergebnis in Matrixform mit der jeweiligen Artikelanzahl pro Segment. Zum besseren Verständnis sind zusätzlich die Informationen bezüglich Bestandsoptimierungspotential und Dispositionssteueraufwand gemäß Tabelle 16 sowie die Bedarfsermittlung für die Dispositionspolitiken laut Tabelle 23 eingetragen.

Tabelle 43: ABC-XYZ-Analyse der drehenden Teile

ABC-XYZ-KLASSIFIZIERUNG		WERTIGKEIT-A	WERTIGKEIT-B	WERTIGKEIT-C
		[O]	[O]	
	VERBRAUCH-X	•D 74 A	•D 174 A	•S 664 A
		[O][S]		
VERBRAUCH-Y	•S 0	•S 0	•S 1 A	
	[S]	[S]		
VERBRAUCH-Z	•S 124 A	•S 184 A	•S 958 A	

Auf Basis der vorherrschenden Verteilung der Artikel wird zum einen der Ansatz gewählt, dass mittels angepasster Dispositionspolitik das verbliebene Variantenspektrum zu opti-

mieren ist, zum anderen wird versucht, einen möglichst großen Teil der verbleibenden Komplexität aus dem System auszulagern.

Konkret bedeutet dies hinsichtlich der Dispositions politik:

- Bedarfsrechnung (Dispositionspolitik): Umstellung der stochastischen Bedarfsrechnung unter Einbeziehung der Wiederbeschaffungszeiten und der Ausfallsindikatoren auf deterministische Bedarfsrechnung für AX- und BX-Artikel (aus Tabelle 43), bzw. eine Optimierung der Teilehöhe bei den betreffenden Artikeln.
- Bestandssteuerung (Dispositionspolitik): Ablöse der bestehenden s,S-Politik auf die s-1,S-Politik für AZ- und BZ-Artikel (aus Tabelle 42) unter Optimierung der Soll-Lagerbestandshöhe auf Grundlage eines erhöhten Dispositionssteuerungsaufwandes.

Der zweite Ansatz beschreibt die Überwälzung der Komplexität in der Lieferkette an einen Lieferanten (Großhändler). Für die CX-, CY-, CZ-Artikel (aus Tabelle 42) wird unter dem Begriff CMI ein Konsignationslager inkl. Supply-Chain-Contracting-Lösung (Rücknahmevertrag) angestrebt. Zu diesem Zweck erfolgt eine Evaluierung der verbliebenen Artikel durch zwei Lieferanten (Großhändler) und einen Hersteller. Grundsätzlich wird in dieser Betrachtung primär die Prüfung der Machbarkeit des Hebels in den Vordergrund gestellt, in der geklärt wird, wie viele Artikel überhaupt durch eine derartige Lösung bewirtschaftet werden können. Die Organisations- und Kostenfrage dazu wird sekundär behandelt.

Die Klassifizierungsvorgabe an Lieferanten und die anschließende Materialdublettenprüfung auf Basis der Klassifizierung vor Stammdatenanlage wird durch die Disposition umgesetzt. Der Bedarf an und das Potential für diese Maßnahmen hinsichtlich der Vermeidung der Materialdublettenproblematik ist in Tabelle 40 dargestellt. Ebenso ist eine Mobile-Device-Lösung (SAP Inventory Manager) zur digitalen Erfassung und Abbildung von Materialbewegungen als Front-End-Lösung implementiert worden. Die Effizienz dieser Maßnahmen kann jedoch in der zeitlich begrenzten Evaluierungsphase nicht direkt nachgewiesen werden. Stattdessen werden indirekt mittels Inventur einer repräsentativen Stichprobe unter Einbeziehung dieser Mobile-Device-Lösung die Güter der Bestandszahlen evaluiert, was eine Indikation für die Wichtigkeit von korrekten Ausgangsdaten gibt. Das Inventurergebnis mit der Mobile-Device-Lösung brachte hierzu eine Bestandsabweichung von ~26%.⁶⁴⁷

Tabelle 44 zeigt zusammenfassend die Optimierungsbemühungen aus diesem Abschnitt und stellt den Ausgangspunkt für die weiteren Betrachtungen dar. Als eindeutiges Ergebnis lässt sich daraus ableiten, dass die Strategie einer einzelnen Handlungsalternative, nämlich „Teile das System in Subsysteme und exportiere dann Probleme aus dem System“, den größten Hebel darstellt. Dieser lässt sich jedoch nur auf ein aktuelles, bereinigtes Variantenspektrum anwenden. Des Weiteren sind in der sogenannten Konsig-

⁶⁴⁷ Diese enorme Abweichung macht nochmals die nicht zu unterschätzende Wichtigkeit der Datenidentifikation, Datenauswertung und Darstellung der Datenstruktur deutlich, da die Qualität der Datenbasis als Ausgangspunkt für alle Analysen und Überlegungen maßgeblichen Einfluss hat. Dies ist auch der Grund, weshalb in dieser Arbeit den Themengebieten Klassifikation, Identifikation, Sortimentsanalyse und Kennzahlen so viel Platz eingeräumt wurde.

nationslagerlösung noch Potentiale wie „Mehrzweckteile bilden“ und „Produktlebenszyklenbereinigung“⁶⁴⁸ an den Logistikpartner übertragbar.⁶⁴⁹

Tabelle 44 zeigt das Ergebnis der Komplexitätsoptimierung aus dem Wirkungsbereich der Gegenwart. Der direkte Vergleich von Tabelle 44 mit Tabelle 42 zeigt, dass in diesem Optimierungsschritt die Artikelanzahl um ~52%, die Teileanzahl um ~49% und der Bestandswert um ~34% reduziert werden konnte.

Tabelle 44: Systemkonfiguration 3.0

SYSTEMKONFIGURATION 3.0	Dispositionspolitik			Konsignationslager			Status 3.0		
Artikelanzahl Σ		0 Stk.		3.264 Stk.		2.942 Stk.			
System 0075		0 Stk.		2.091 Stk.		2.182 Stk.			
System 0074		0 Stk.		1.178 Stk.		755 Stk.			
Teileanzahl Σ		0 Stk.		10.872 Stk.		10.940 Stk.			
System 0075		0 Stk.		5.000 Stk.		3.963 Stk.			
System 0074		0 Stk.		6.872 Stk.		6.977 Stk.			
Gesamtbestandswert Σ		0 EUR		1,144 Mio. EUR		2,197 Mio. EUR			
System 0075		0 EUR		0,846 Mio. EUR		1,738 Mio. EUR			
System 0074		0 EUR		0,297 Mio. EUR		0,459 Mio. EUR			

Die konkreten Handlungsalternativen „Outsourcing (Make or Buy)“ und „3PL“ laut Modellbeschreibung kommen aufgrund der Einschränkung der Betrachtung auf das abgegrenzte Variantenspektrum (RTE aus 0074 und 0075) in der Evaluierungsphase nicht sinnvoll zum Tragen.⁶⁵⁰

6.2.4 Vermeiden der Komplexität

Das präventive Vermeiden von Komplexität betreffend lassen sich aufgrund des Variantenspektrums (Standard-, Norm- und DIN-Teile) folgende Handlungsalternativen aus dem Modell verwenden: der Spare Part Gate-Prozess und die Standardisierung von Ersatzteilen. Die direkten Ergebnisse beider Maßnahmen zu evaluieren ist aufgrund der dafür benötigten Evaluierungszeit im Rahmen dieser Arbeit nicht durchführbar. Vielmehr wird auch hier versucht, über indirekte Indikatoren die Wirksamkeit darzustellen.

Beim Design des Spare Part Gate (Standardisierter Prozess, der ein selektives Anlegen von Ersatzteilen gewährleistet) flossen die Erkenntnisse zum Einbauplatz als Pflichtan-

⁶⁴⁸ Substituieren von identen Artikeln, die in mehreren Generationen vorkommen, durch den aktuellsten Produkttyp.

⁶⁴⁹ Dieser ist bestrebt, eine größtmögliche Lagerdrehung zu generieren und wird diesbezüglich versuchen, so wenig Artikel vorzuhalten wie möglich.

⁶⁵⁰ Beim Anwenden dieser konkreten Handlungsalternativen würde in der Evaluierungsphase eine Parallelstruktur zu der bestehenden Struktur aufgebaut werden, wobei das zu evaluierende Variantenspektrum vom Umfang her wesentlich kleiner ist als sämtliche vorhandenen Ersatzteile. Diese Überlegungen sind nur dann sinnvoll, wenn das gesamte verfügbare Ersatzteilspektrum miteinbezogen wird.

gabe sowie zur verbindlichen Selektion HIBE und Ersatzteile ein, um die in der Evaluierung aufgetauchte Unschärfe aus diesen Titeln in Zukunft zu vermeiden.⁶⁵¹ Abbildung 67 zeigt einen Ausschnitt aus dem implementierten Workflow, der für eine Materialanlage zu verwenden ist. Hierbei wird dokumentiert, die Bevorratungsabsicht kritisch hinterfragt und der organisatorisch übergeordneten Stelle zur finalen Entscheidung übermittelt.

The image shows a screenshot of a software interface divided into two main sections: 'Allgemeine Daten' and 'Faktoren'.

Allgemeine Daten:

- Materialart*:** A section with four radio buttons: RTE (Elektrisch), HIBE (Elektrisch), RTA (Mechanisch), and HIBE (Mechanisch). This section is highlighted with a red box.
- Anfordernder Betrieb*:** A text input field.
- Bezeichnung des Materials*:** A text input field.
- Technischer Platz/Equipmentliste/ Stückliste*:** A text input field, also highlighted with a red box.
- Info:** A text input field.
- Angebot hinzufügen:** A search bar with a 'Durchsuchen...' button.

Faktoren:

- Materialwert in EUR:** A dropdown menu with 'Please select' and a downward arrow.
- Wiederbeschaffungszeit:** A dropdown menu with 'Please select' and a downward arrow.
- Erforderliche Reaktionszeit IH bzw. erkennen des Schadensfall des Ersatzteils:** A dropdown menu with 'Please select' and a downward arrow.
- Ausfallhäufigkeit pro Teil, Durchschnittlicher Verbrauch:** A dropdown menu with 'Please select' and a downward arrow.
- Anzahl Einbauplätze an der betreffenden Anlage*:** A dropdown menu with 'Please select' and a downward arrow.
- Auswirkungen auf die betreffende Anlage:** A dropdown menu with 'Please select' and a downward arrow.
- Ausfallfolgen für den Produktionsbetrieb:** A dropdown menu with 'Please select' and a downward arrow.

Abbildung 67: Spare Part Gate⁶⁵²

Auch hierbei liegt die Festlegung der konkreten Teilehöhe pro Artikel nicht mehr im Verantwortungsbereich der Instandhaltung, sondern wird aufgrund der Angaben durch die Ersatzteildisposition definiert. Dies erfolgt, um einen konservativeren Zugang bei der

⁶⁵¹ Die Definition von Werksstandards kann im Rahmen dieser Arbeit nicht durchgeführt werden, da hierbei die Einbindung der Technik seitens Instandhaltung und Engineeringabteilung von Nöten ist und den Rahmen dieser Arbeit aus zeitlichen und Ressourcen Gründen vollends sprengen würde.

⁶⁵² Vgl. voestalpine Stahl Donawitz GmbH. (2017), S. 1.

Teilehöhe zu gewährleisten, da hier, wie in Tabelle 42 dargestellt, eines der größten Potentiale liegt.

Mass Customization/Standardisierung von Ersatzteilen: Erstellen von Werksstandards mittels Zuliefervorschriften. Für die Evaluierung wurde zu diesem Zweck die Produktgruppe Motorschutzschalter aus dem Variantenspektrum ausgewählt. Abbildung 68 zeigt einen Auszug der elektrischen Zuliefervorschriften bei der voestalpine Schienen GmbH, die beispielhaft für die Selektion der Produktgruppe herangezogen wurde. Selektiert wurden zu diesem Zweck aus dem verbleibenden Variantenspektrum 79 Artikel (Unterschiedliche Motorschutzschalter, die gemäß Klassifizierung keine Dubletten darstellen) von vier Herstellern (Siemens, ABB, Schneider, Kloeckner Moeller). Das Ergebnis der Evaluierung lautet, dass die vier Hersteller durch einen einzigen Hersteller (Siemens) substituierbar sind, was wiederum eine Optimierung der vorgehaltenen Artikel von 70 Stk. auf 31 Stk. bedeutet, wobei ein zusätzlicher Artikel als Mehrzweckteil in den Ersatzteilbestand aufgenommen werden muss.⁶⁵³

Der Wirkungsbereich der Handlungsalternativen liegt in der Zukunft, deshalb kann eine Aussage nur extrapolierend aufgrund der bereits vorliegenden Erkenntnisse und Erfahrungen zu diesen Themen getroffen werden. Was dies für Mass Customization am Beispiel Motorschutzschalter bedeutet, ist bereits oben angeführt. Die Analyse des verbliebenen Variantenspektrums nach der Handlungsalternative „Vermeiden der Komplexität“ zeigt, dass bei 1969 Artikeln 287 unterschiedliche Produktklassen (Produktstruktur aus dem verwendeten Klassifikationssystem) hinterlegt wurden. Dies bedeutet im Durchschnitt ca. sieben Artikel pro Klasse. Für diese 1969 Artikel sind 500 Hersteller/Lieferanten angeführt, was wiederum ca. 1,8 Hersteller pro Klasse bedeutet. Im Vergleich zur Konsignationslagerlösung mit Großhändlern wurden bei 3264 Artikeln 243 Klassen und 152 Hersteller gebündelt. Dies wiederum ergibt ca. 0,6 Hersteller pro Klasse. Diese Grobanalyse zeigt, dass in dem verbliebenen Variantenspektrum eine zu große Diversifikation (Faktor von drei) auf Hersteller-/Lieferantenseite besteht, was wiederum negative Auswirkungen auf die Produktvielfalt hat.

⁶⁵³ Durchgeführt wurde die Evaluierung unter Zuhilfenahme zweier Elektrogroßhändler, da diese über das benötigte Produkt-Know-how verfügen.

voestalpine SCHIENEN GMBH		Zuliefervorschrift Teil C			
Nr	Gerät	Firmen	Type	Bemerk.	Änderung
21	Motore allgem. Iso.Kl."F" mit KTY88 oder Kälteleiter	Danfoss/Bauer, Flender, Nord		UN=500V	
22	Motorschutzschalter	Siemens	mit Hilfskontakt		
23	MV-Vertüfstecker	Balforf	mit LED-Anzeige		
24	Netzgeräte	Siemens	(2, 5, 10, 20, 40 A) mit Schalter		
25	Notaus SPS	Siemens	CPU315F		
26	Notausrelais 220V~/24V=	Siemens, Pilz	Siguard, PNOZ;		
27	Not austaster	Siemens	mit Meldekontakten		
28	Multipaneel	Siemens	MP270/370Touch		
29	Optical Link Modul	Siemens	G12		
30	Prozess- Rechner	IBM, HP	IBM, HP VA- Standard		
31	Pyrometer im Walzprozeß	Keller	Ausgangssignal 4- 20mA		
32	Rollgangsmotore. Isol.Kl. "F"	Danfoss/Bauer, Flender		UN=500V, Steckbar	
33	Schaltschränke, Pulte	Rittal	Standard		
34	Schrittmotore und Steuerung	Siemens			
35	Schütze und Hilfsschütze	Siemens			
36	Schutzschlauch in Maschinenbereichen	Univolt	UFX -/ b -/ ö mit Originaleinführung		
37	Schutzschlauch in rauhem, gefährd. Bereich	Steinberger	Anaconda mit Originaleinführung		
38	Sicherheitsschalter Sicherheitslichtgitter	Euchner, Wenglor;			
39	Sicherungslasttrenner	Siemens			
40	Sicherungslasttrenner Anreihsystem	ABB, Rittal;			
41	SPS Analogausgabe	Siemens	SM332 4x15 Bit, SM432 8x13 Bit		
42	SPS Analogeingabe	Siemens	SM331 8x15 Bit, SM431 8x13 Bit		
43	SPS Anschaltung	Siemens	IM153-2, 360, 361; IM460, 461;		
44	SPS CPU	Siemens	CPU315-2DP; CPU414-2DP;		
45	SPS Digitalausgabe	Siemens	SM322 16x 0,5-2A; SM422 32X 0,5A;		
46	SPS Digitaleingabe	Siemens	SM321 16x24V; SM421 32x24V;		
47	SPS DP Master	Siemens	CP 342-5; CP 443- 1;		

Seite 35 von 36

voestalpine
EINEN SCHRITT VORAUS.

Abbildung 68: Auszug Zuliefervorschriften⁶⁵⁴

Die konkreten Handlungsalternativen „Service Level Agreement“ und „Eigenfertigung im Ausfall“ kommen aufgrund des betrachteten Variantenspektrums für einen Optimierungsschritt nicht zum Tragen, da die Fähigkeit zur Eigenfertigung von Standard-, Norm- und DIN-Teilen nicht gegeben ist und ein Service Level Agreement sich auf eine konkrete Anlagenbeschaffung bezieht, welche aktuell nicht vorliegt und somit nicht herangezogen werden kann.

⁶⁵⁴ Vgl. voestalpine Schienen GmbH. (2007), S. 35.

7 Verifikation/Falsifikation

In diesem Kapitel erfolgt der Abgleich der Hypothese (erwartetes Ergebnis) mit dem Resultat der Modellevaluierung (tatsächlichen Ergebnis). Da, wie eingangs bereits erwähnt wurde, Komplexität nicht absolut skaliert werden kann, besteht immer ein subjektiver Einfluss. Deswegen erfolgt auch in der Verifikation/Falsifikation eine Darstellung der Systemkonfiguration im direkten SOLL-IST-Vergleich auf Basis der Erfolgsindikatoren. Dazu wurden die Systemstrukturen aus Tabelle 38, Tabelle 40 und Tabelle 44 herangezogen und gegenübergestellt. Die Bestandskostenermittlung erfolgt rechnerisch auf Basis eines Lagerhaltungskostensatz von 24% im IST, und 23% im SOLL. Die Komplexitätskosten ergeben sich per Definition aus Kapitel 3.6 aus der Differenz der Bestandskosten.⁶⁵⁵

Tabelle 45: Erfolgsindikatoren im SOLL-IST-Vergleich

	Erfolgsindikatoren	IST-Status	SOLL-Status	Δ
KONNEKTIVITÄT	Inhalt	249 Stk.	137 Stk.	108 Stk.
	Dichte	konstant	konstant	konstant
VARIETÄT	Vielfalt	7.889 Stk.	2.942 Stk.	4.947 Stk.
	Umfang	43.943 Stk.	10.940 Stk.	33.003 Stk.
KOSTEN	Bestandswert	4,048 Mio. EUR	2,197 Mio. EUR	1,851 Mio. EUR
	Bestandskosten	0,971 Mio. EUR	0,461 Mio. EUR	0,51 Mio. EUR
	Komplexitätskosten			0,51 Mio. EUR

Dies bedeutet, dass Tabelle 45 das Ergebnis der Komplexitätsoptimierung aus dem Wirkungsbereich der Vergangenheit und Gegenwart sowie der getroffenen Maßnahmen bei der Korrektur der Systemausgangskonfiguration zeigt. Das heißt, der optimale Komplexitätsgrad für die Einhaltung des Servicegrads ist bei der in der Evaluierung vorherrschenden Anlagenkonfiguration im System mittels konkreter Handlungsempfehlungen laut Modell eingestellt worden und die Handlungsstrategie „Komplexität vermeiden“ sichert den erreichten Komplexitätsgrad nachhaltig ab.⁶⁵⁶

Grundsätzlich ist jedoch in der Ausformulierung des Optimierungsmodells kein absoluter Zielwert bzw. Prozentsatz genannt, der in irgendeiner Weise auf eine erfolgreiche An-

⁶⁵⁵ Die Festlegung des Lagerhaltungskostensatzes ergibt sich für die Evaluierung aus der Annahme von Lokad aus Kapitel 3.6. Die Differenz von SOLL zu IST ergibt sich aus der Vernachlässigung der Risikokosten in der Annahme von Lokad. Sämtliche anderen Kostensätze wurden für die Evaluierung als konstant betrachtet und die Kosten für das zusätzliche Komplexitätsmanagement vernachlässigt.

⁶⁵⁶ Die Komplexitätsstrategie zur Komplexitätsvermeidung ist mit den konkreten Handlungsempfehlungen „Spare Part Gate“ und „Standardisierung von Ersatzteilen“ in die Modellevaluierung eingeflossen, jedoch ist aufgrund des benötigten Zeitvorlaufs kein Effekt darstellbar.

wendung rückschließen lässt. Stattdessen erfolgt die Definition von Erfolgsindikatoren, welche sich über die Varietät und Konnektivität abbilden. Der direkte SOLL-IST Vergleich – auf absolute Werte bezogen – zeigt hierbei, dass die Vielfalt (Artikelanzahl) um ~62%, der Umfang (Teileanzahl) um ~75% und der Bestandswert um ~45% reduziert werden konnte. Die Konnektivität ist im Vergleich dazu vernachlässigbar. Diese Veränderung in der Zusammensetzung der komplexen Struktur aus Abbildung 62 auf Basis von Vielfalt, Umfang, Inhalt und Dichte in Zusammenhang mit dem Bestandswert zeigt Abbildung 69.

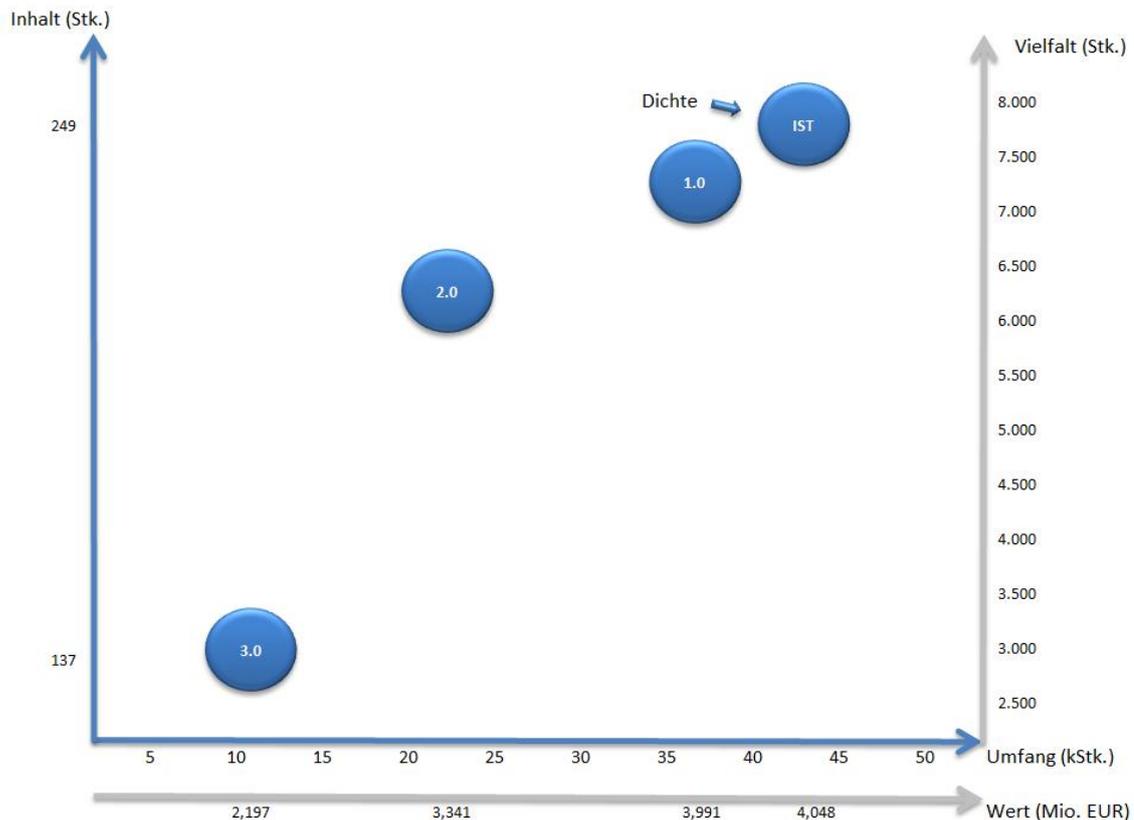


Abbildung 69: Erfolgsindikatoren⁶⁵⁷

Die Blasen in Abbildung 69 entsprechen den Systemkonfigurationen nach Abschluss der jeweiligen Komplexitätsstrategien und bewegen sich in der Abbildung von rechts oben (IST-Ausgangsbasis) entlang des Optimierungsmodells nach links unten (SOLL-3.0). Dementsprechend ist anhand der jeweiligen Achsen der Einfluss der jeweiligen Komplexitätsstrategie auf den Bestandswert und in weiterer Folge auf die Bestandskosten sowie auf die Varietät und Konnektivität ersichtlich. Wegen der bereits geschilderten Gründe kann die Systemeigenschaft der Dichte (in Abbildung 69 als Bubblegröße dargestellt) nicht in der Evaluierung verwendet werden und wird daher in dieser Abbildung als konstant betrachtet. Eine Erhöhung der Konnektivität hätte in diesem Fall auf Kosten der Varietät (Umfang) stattgefunden, was wiederum der Eigenschaft eines komplexen Sys-

⁶⁵⁷ Quelle: eigene Darstellung. (Skalierungen der Achsen zueinander nicht maßstabsgerecht)

tems entsprechen würde.⁶⁵⁸ Wie aus Abbildung 69 erkenntlich ist, lag der große Hebel zur Erreichung des optimalen Komplexitätsgrades im Bereich der Varietät.

Aufbauend auf den Erkenntnissen von Wildemann, dass sich Komplexitätskosten nur ex post bestimmen lassen,⁶⁵⁹ erfolgt die Erfassung dieser Komplexitätskosten im Zuge der Durchführung des Evaluierungsmodells nur in den folgenden Themenfeldern: Bestände erfassen, reduzieren und beherrschen auf Basis der Bestandskostenveränderung, d. h. es werden die direkten Komplexitätskosten betrachtet. Die indirekten Komplexitätskosten werden im Zuge der Modellevaluierung vernachlässigt da die Leitlinien für das Optimierungsmodell zum Zwecke der Evaluierung nicht umgesetzt wurden, und dementsprechend wird der Lagerhaltungskostensatz hinsichtlich der Lagerbewirtschaftungskosten als konstant betrachtet. Dies ist vor allem deshalb relevant, weil eine reine Reduzierung der Betrachtung auf den Bestandwert (Reduktion des Bestandwerts von ~45%) zwar aussagekräftig ist, in diesem Evaluierungsfall jedoch die Tatsache, dass ca. 30% der betrachteten Artikel keinen Bestandwert⁶⁶⁰ aufweisen, ein potentielles Kostenpotential für den Betrieb und die Instandhaltung der Lagerinfrastruktur ist, was unbedingt eine Erwähnung bei der Evaluierung verlangt.

Ferner möchte der Autor dieser Arbeit darauf hinweisen, dass der Einfluss der Komplexitätsstrategien und des Optimierungsmodells auf die Varietät und Konnektivität eines beliebigen Systems nicht in dieser Ausprägung und Verteilung stattfinden muss, sondern von der jeweiligen vorherrschenden Systemkonfiguration der komplexen Struktur abhängt. Abschließend lässt sich am Schluss dieses Kapitels auf Basis der empirischen Daten, welche in Abbildung 69 zusammengefasst dargestellt sind, die Verifikation des Modellansatzes nur bestätigen. Hinsichtlich der nachgewiesenen Komplexitätskosten zu den gegebenen Rahmenbedingungen (dem geforderten Servicegrad bei gegebener Anlagenkonfiguration) konnte mit Hilfe der Systemoptimierung gezeigt werden, das 0,51 Mio. EUR an direkten Komplexitätskosten im System enthalten sind.

⁶⁵⁸ Im Bereich der Mehrfachteile wäre dies systemtechnisch auch der Fall, da bei Reduzierung der Lagerorte die Teilehöhe pro betroffenem Artikel erhöht werden müsste. In der Praxis hat sich jedoch gezeigt, dass die betroffene Teilehöhe trotz dieser Überlegungen und Maßnahmen noch zu reduzieren bzw. zu belassen war.

⁶⁵⁹ Vgl. Wildemann, H. (1998), S. 52.

⁶⁶⁰ Mit der Ursprungsinvestition mitbeschafft und in der Anlagenbuchhaltung mit der Hauptanlage aktiviert.

8 Erklärung des Modells und abschließende Betrachtung

In diesem Kapitel erfolgt die Interpretation des Evaluierungsergebnisses aus der Effektivitäts- und der Effizienzperspektive bezogen auf den Komplexitätsmanagementprozess, der mittels Optimierungsmodell umgesetzt wurde.

Die Systemabgrenzung für die Modellevaluierung in kybernetischer Hinsicht war sehr einfach auf Basis der Bewertungsart durchführbar. In diesem Teilsystem, das für die Evaluierung herangezogen wurde, war bereits ein gewisses Maß an selbstorganisierender Kritikalität (maximale Ausprägung des Systems) durch unkoordiniertes Anlegen (im Hinblick auf vollständige Stammdatenpflege der Konnektivität und Varietät) der Ersatzteile zu registrieren. Der unbestrittene Vorteil bei einer maximalen Komplexitätsausprägung ist zwar, dass jeder potentiell benötigte Artikel vorhanden ist, jedoch zeigten sich bereits Anzeichen von chaotischem Verhalten im Sinne von Dubletten/Mehrfachteilen/ND/HIBE und fehlenden Einbauplätzen. Dies war der Fall, obwohl subjektiv beim Einfrieren der Daten auf den ersten Blick anscheinend Ordnung im System vorhanden war. Trotzdem war bereits bei genauerer Betrachtung das Auseinanderfallen von Ursache und Wirkung (fehlende Einbauplätze, wie viele Teile pro Artikel werden wo benötigt) zu erkennen, und eine erste Stammdatenbereinigung war für die Herstellung einer praktikablen IST-Situation vonnöten. Die Komplexitätsstrategie „Bestände erfassen“ hat in der Theorie zwar kein Optimierungspotential, in der praktischen Evaluierung hat sich jedoch gezeigt, dass die Qualität der Datenbasis einer Bereinigung bedarf und hierbei bereits der erste Optimierungsschritt erfolgte. Dies ist unbedingt notwendig, da hierbei die Datenbasis als Ausgangspunkt für alle weiteren Strategien generiert wird. Aus der Ressourcensicht ist diese Komplexitätsstrategie, erstmalig umgesetzt, auch die anspruchsvollste für die Disposition, da die gesamte Klassifizierung nachgeführt wurde, um für die dritte Komplexitätsstrategie „Bestände verwalten“ den Lieferanten/Großhändlern brauchbare Datensätze zur Verfügung zu stellen zu können. Im Zuge der nachträglichen Klassifizierung erfolgte außerdem das Kennzeichnen der Ersatzteile mit Barcodes zur Artikelidentifizierung (Mobile Device). In der laufenden Umsetzung dieser Strategie kommt hierfür nur mehr ein verminderter Ressourcenaufwand für die Umsetzung der Handlungsempfehlungen aus der Strategie „Bestände vermeiden“ zum Tragen. Nichtsdestotrotz ist dieser Schritt jener, der am genauesten erfolgen muss – vor allem mit Blick auf die Erstellung der Datenbasis, alle Handlungen betreffend. Sämtliche Tätigkeiten zu diesem Abschnitt konnten von der Abteilung Materialwirtschaft ohne Zuhilfenahme anderer Ressourcen (Instandhaltungsabteilungen, Lieferanten, Händler) selbstständig, also „abteilungsintern“, durchgeführt werden.

Mittels der Strategie der „Komplexitätsreduktion“ mit den dazugehörigen konkreten Handlungen wird das bestehende Variantenspektrum tatsächlich erstmals physisch reduziert. Der Aufwandsschwerpunkt der Evaluierungstätigkeit lag im Bereich der Instandhaltungsabteilungen als Wissensträger. Sämtliche Tätigkeiten zu diesem Abschnitt konnten betriebsintern ohne Zuhilfenahme externer Ressourcen (Lieferanten, Händler) selbstständig, also „unternehmensintern“, durchgeführt werden. Das größte Potential

förderte die Ladendrehermatrix zu Tage, die konkret den Hebel an der Teilehöhe ansetzt, dies vor allem an den Artikeln der Ladenhüter, die eine im Vergleich zu den Ladendrehern viel zu große Teilehöhe hatten.

Die Komplexitätsbeherrschung mit der Handlungsempfehlung „Bestände verwalten“ besitzt das größte Potential. Zum einen für die Nachhaltigkeit des Modells an sich, zum anderen in einer finanztechnischen Optimierung mittels Einbeziehung der Lieferkette. Wobei anzumerken ist, dass einige konkrete (theoretische) Handlungsalternativen, die im Modell unter den Rubriken Konsignationslager, Lieferanten-Logistik-Zentrum/3PL, Supply Chain Contracting oder simples C-Teile Management angeführt sind, in der Praxis aus der Sicht des Ersatzteilabnehmers nicht umsetzbar sind, da der Markt im Einzugsgebiet nicht die Möglichkeiten hierzu bietet. Lediglich zwei Großhändler konnten mit Blick auf den Abdeckungsgrad bezüglich des Variantenspektrums überhaupt herangezogen werden, wobei beide Unternehmen in einen Konsignationslagervertrag einwilligten. Die Strategie der deterministischen Bestandsführung lässt sich nach Rücksprache mit den Instandhaltungsabteilungen aufgrund der Vorhersagegenauigkeit bezüglich Ausfall nicht anwenden. Im Gegensatz dazu bringt die Zusammenarbeit in der Supply Chain mit einem Großhändler das größte Potential in diesem Anwendungsfall (ausschließlich DIN- und Normteile). Abschließend lässt sich zu den Handlungsempfehlungen zusammenfassend anmerken, dass diese zwar theoretisch relativ trivial klingen, in der Praxis jedoch aufgrund der vorhandenen Varietät und Konnektivität in der Bearbeitung extrem komplex und zeitaufwändig sind (z.B. Ladenhüterliste in Excel mit ca. 5.000 Zeilen manuell zu überprüfen). Das Management und die Analyse dieser großen Datenmengen gilt es im Sinne von Big Data Analytics in der Zukunft hinsichtlich Informationsgewinnung viel einfacher und rascher zu nutzen.

Die umfangreiche Verifikation des Modells hinsichtlich der Effektivitäts- und der Effizienzperspektive funktioniert auf Grundlage des zeitlichen Rahmens nur bei „Erfassen, Reduzieren und Beherrschen“, „Vermeiden“ kann nur indirekt dargestellt werden. So dient die Fragestellung nach dem Einbauplatz (technischer Platz/Equipmentliste/Stückliste) bzw. HIBE oder RTE im Spare-Part-Gate-Prozess zur präventiven Vermeidung von fehlerhaften Stammsätzen, wie sie in der Komplexitätsstrategie „Bestände erfassen“ vorgekommen sind. Zuliefervorschriften für die Ersatzteilstandardisierung, die die Variantenzahl bereits auf Basis der Hersteller eingrenzen, wirken bereits vorbeugend einer Komplexitätszunahme über die Lageraufnahme von Neuteilen entgegen, wie am Beispiel der Motorschutzschalter gezeigt wurde. Trotzdem ist hierbei noch immer der Produktlebenszyklus als externer Komplexitätstreiber, auch von identen Herstellern, vielfaltstreibend. Diese Komplexitätsstrategie erzeugt keine Veränderung der Variantenvielfalt im Wirkungsbereich der Gegenwart, sondern wirkt ausschließlich zukunftsorientiert und ist dementsprechend wichtig für die Nachhaltigkeit des Managementprozesses.⁶⁶¹

Als abschließende Betrachtung des Komplexitätsmanagementprozesses in Form des Optimierungsmodells und als Resümee bezüglich der Praktikabilität des Modells lässt sich aus der Evaluierung Folgendes festhalten: In der praktischen Anwendung des Mo-

⁶⁶¹ Sie kann aber aus zeitlichen Gründen nicht im Zuge der Modellevaluierung hinsichtlich der Effizienz betrachtet werden.

dellansatzes hat sich erstens gezeigt, dass die organisatorischen Rahmenbedingungen, welche in den Leitlinien verankert sind, als kritische Erfolgsfaktoren gelten. Ohne diese prozessuale und organisatorische Verankerung des Komplexitätsmanagements über alle existierenden Schnittstellen (ausgehend von der Ersatzteillogistikorganisation) hinweg bis zu den Instandhaltungsabteilungen und zu den Ersatzteillieferanten (Hersteller, Großhändler) ist die effiziente Anwendung des Modells äußerst mühselig. Zum Zweiten hat sich als wesentliche Erkenntnis der Wechsel der Funktionen und Tätigkeiten der bestehenden Materialwirtschaft bezüglich der Wahrnehmung der Aufgaben und Koordinationsfunktionen in der Ersatzteillogistik zwischen Materialwirtschaft, Instandhaltung und Lieferant dargestellt. Dies zum einen als reiner Change-Prozess zum Thema „Menschen und Unternehmenskultur“ und zum anderen als real bestehendes Defizit bezüglich Know-how zum Fachthema „Ersatzteillogistik“. Neben der fachlichen Qualifikation hat sich auch eine gewisse Ressourcenproblematik⁶⁶² gezeigt. Diese ist unter anderem der praktische Grund, warum die teiletypische Ersatzteilibewirtschaftungsstrategie für Einort- und Mehrortteile nicht umgesetzt wurde. Mittelfristig bieten hierzu Lösungen wie der Einsatz von intelligenten digitalen Assistenten zwecks optimierter Disposition eine mögliche Option.

Das im Modellansatz geforderte Ersatzteilcontrolling (und damit verbunden die Ersatzteilsortimentsanalyse) hat sich als eine unabdingbare organisatorische Notwendigkeit herausgestellt. Ohne die Fähigkeiten, die richtigen Informationen zeitnah aus dem Variantenspektrum zu generieren, ist die Ersatzteillogistik nicht in der Lage konkrete Handlungsalternativen anzustoßen bzw. die Wirksamkeit ihrer Umsetzung zu erfassen.

Als nächster Optimierungsschritt wäre in diesem Zusammenhang die Einbindung der Ersatzteillogistik in die Instandhaltungsstrategie („Predictive Maintenance“-Ansatz) umzusetzen. Dadurch würde ein weiterer Mehrwert hinsichtlich eines frühzeitigen Informationsflusses (von stochastisch hin zu deterministisch) geschaffen werden. Dieser Ausblick lässt sich unter dem Begriff Industrie 4.0 Maschinenkommunikation weiter in das Thema integrieren. Dabei geht es um Maschinen, die in der Lage sind, aufgrund ihrer Vernetzung und der vorhandenen Sensorik sowie Aktorik ihren Ersatzteilbedarf zeitnah selbst zu organisieren. Dies lässt auch die geforderte Strategie der deterministischen Bestandsführung in einem praktikableren Bild erscheinen. Ein bedeutender und nicht zu unterschätzender Treiber, der das Variantenspektrum aufspannt, ist der vorgegebene Sicherheitsfaktor (in der Höhe von 2,33; dies entspricht einem Servicegrad von 99%), der z.B. in der Prognoserechnung für die Ladendrehermatrix verwendet wurde. Minimale Änderungen hierbei führen in Summe zu einer erheblichen Veränderung in der Teileanzahl.

⁶⁶² Für die praktische Evaluierung wurde auf die Ressourcen von Mitarbeitern zweier Großhändler, auf Mitarbeiter von vier Instandhaltungsabteilungen, auf Mitarbeiter der Ersatzteildisposition und der Lagerwirtschaft und auf das Ersatzteilcontrolling zurückgegriffen. Für diese Evaluierung wurden somit ca. 20 Personen durch den Autor dieser Arbeit über einen Zeitraum von 6 Monaten mit den verschiedensten Aufgaben betraut.

9 Resümee

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, einen Komplexitätsmanagementprozess zu designen, der die bestehenden Ersatzteilbestandskosten nachhaltig reduziert. Dazu ist ein Prozess entwickelt worden, der unter Einbeziehung von State-of-the-Art-Tools eine ganzheitliche Erfassung des Themas ermöglicht. Dies erfolgt durch Kombination einer Querschnittsfunktion von Best-Practice-Maßnahme aus Variantenmanagement, Anlagen-, Ersatzteilmanagement, Bestandsmanagement und Logistik in Überlagerung der drei zeitlichen Wirkungsbereiche (Vergangenheit, Gegenwart, Zukunft). Hierzu wird bewusst Komplexität durch die Kombination und Anwendung der Werkzeuge und zeitlichen Abläufe im Prozess der Ersatzteillogistik aufgebaut, um ganz nach dem kybernetischen Ansatz, dass Komplexität nur mit Komplexität beherrscht werden kann, zu handeln.

Dementsprechend ist hervorzuheben, dass „Komplexitätsbeherrschung“ zwar nicht als alleinige Optimierungsmaßnahme im Sinne einer Best-Practice-Maßnahme zum Einsatz kommt, diese Handlung jedoch maßgeblich auf Basis von optimierten Beständen im Komplexitätsmanagement ist.

Die Koordination aller dazu notwendigen Handlungen erfolgt, wie im Komplexitätsmanagement gefordert, durch eine zentrale Stelle. Erst durch diese ganzheitliche Sicht auf die vielfaltsinduzierte Problemstellung zeigt sich das enorme Potential, das in der Ersatzteillogistik schlummert.

Finanziell bedeutet die Modellumsetzung ein Einsparungspotential bei den Ersatzteilbestandskosten von ~48% auf das betrachtete Variantenspektrum. Extrapoliert man dieses Einsparungspotential auf das gesamte Variantenspektrum aller drei Werksbereiche (mit einem Gesamtbestandswert von 33,4 Mio. EUR), ergibt dies ein hypothetisches Optimierungspotential hinsichtlich der Bestandskostenreduktion von ~12% (entspricht 4,08 Mio. EUR). Diese Betrachtung erfolgt jedoch ohne Miteinbeziehung der indirekten Komplexitätskosten, d. h. es sind nur die Risikokosten und die Bestandswertveränderung in die Überlegung eingeflossen. Nichtsdestotrotz übersteigt das Ergebnis die eingangs getätigten Aussagen, wie z. B. von Bäck hinsichtlich der vorhandenen Überbestände, bei Weitem.

Abschließend gilt es noch anzumerken, dass die Implementierung einer zentralen Organisationseinheit zum Zwecke des Managements der Ersatzteilkomplexität und die Schaffung der Rahmenbedingungen für die betriebliche Akzeptanz hinsichtlich der Notwendigkeit eines Komplexitätsmanagements absolute Managementaufgabe des Top-Managements sind. Ohne diese Unterstützung ist keine nachhaltige Implementierung eines Komplexitätsmanagementprozesses mit den Ausprägungen gemäß dieser Arbeit möglich.

Literaturverzeichnis

- Adam, D. (1998): Komplexitätsmanagement. Wiesbaden: Gabler.
- Albers, S., Herrmann, A. (2007): Handbuch Produktmanagement. 3. überarbeitete und erweiterte Auflage, Wiesbaden: Gabler.
- Alsfasser, P. (2007): Lagerbestandsoptimierung eines zentralen Logistikzentrums unter Verwendung der Kombination von ABC und XYZ Analyse. Norderstedt Germany: GRIN-Verlag GmbH.
- Arnold, D. (2006): Intralogistik: Potentiale, Perspektiven, Prognosen. Berlin Heidelberg: Springer Verlag.
- Arnold, D., Isermann, H., Kuhn, A., Tempelmeier, H., Furmans, K. (2008): Handbuch Logistik. 3., neu bearbeitete Auflage, Berlin Heidelberg: Springer Verlag.
- Arnolds, H., Heege, F., Tussing, W. (1996): Materialwirtschaft und Einkauf: Praxisorientiertes Lehrbuch. 9. Auflage, Wiesbaden: Gabler.
- Baader, A., Montanus, S., Sfat, R. (2006): After Sales Services: mit produktbegleitenden Dienstleistungen profitabel wachsen. In: Barkawi, K., Baader, A., Montanus, S. (Hrsg.): Erfolgreich mit After Sales Services: Geschäftsstrategien für Servicemanagement und Ersatzteillogistik. Berlin Heidelberg: Springer Verlag. S. 3–14.
- Ballwieser, W. (1993): Aggregation, Komplexion und Komplexitätsreduktion. In: Wittmann, W., Kern, W., Koehler, R. (Hrsg.): Handwörterbuch der Betriebswirtschaftslehre. Bd. 1. 5. Auflage, Stuttgart: Poeschl. S. 49–57.
- Ballwieser, W. (1987): Unternehmensbewertung und Komplexitätsreduktion. 2. verbesserte und aktualisierte Auflage, Wiesbaden: Gabler.
- Bandow, G., Kuhn, A. (2008): Trends und Chancen für die Instandhaltung und Produktion. In Biedermann, H. (Hrsg.): Entwicklungsrichtungen im modernen Anlagenmanagement: Strategien, Konzepte und Lösungen für Produktion und Instandhaltung: 22. Instandhaltungsforum. Köln: Verlag TÜV Rheinland. S. 21ff.
- Bandow, G. (2008): Prozessorientierte Sichtweise in Produktion und Logistik. In Arnold, D., Isermann, H., Kuhn, A., Tempelmeier, H., Furmans, K. (Hrsg.): Handbuch Logistik. 3., neu bearbeitete Auflage, Berlin Heidelberg: Springer Verlag. S. 534–547.
- Bartsch, H. J. (1988): Taschenbuch mathematischer Formeln. 18. verbesserte Auflage, München Wien: Carl Hanser Verlag.
- Barkawi, K., Baader, A., Montanus, S. (2006): Erfolgreich mit After Sales Services: Geschäftsstrategien für Servicemanagement und Ersatzteillogistik. Berlin Heidelberg: Springer Verlag.
- Bauer, U., Biedermann, H., Wohinz, J. W. (2010): Techno-ökonomische Forschung und Praxis. Wiesbaden: Gabler.

- Bayer, T. (2010): Integriertes Variantenmanagement: Variantenkostenbewertung mit faktorenanalytischen Komplexitätstreibern. In Lindstädt, H. (Hrsg.): Schriften zu Management, Organisation und Information. München und Mering: Rainer Hampp Verlag. S. 1ff.
- Bäck, H. (1987): Analysen und Planung in der Ersatzteilbewirtschaftung. In Biedermann H. (Hrsg.): Planung in der Instandhaltung: 3. Instandhaltungs-Forum. Köln: Verlag TÜV Rheinland GmbH. S. 207–222.
- Bäck, S., Tschandl, M., Schentler, P., Schweiger, J. (2007): Einkauf optimieren: Praxis-handbuch: Effizienz und Effektivität in Einkauf und Logistik. Kapfenberg: FH Joanneum–Industrial Management/Industriewirtschaft.
- Beckmann, H., Schmitz, M. (2008): Prozessorientierte Sichtweise in Produktion und Logistik. In Arnold, D., Isermann, H., Kuhn, A., Tempelmeier, H., Furmans, K. (Hrsg.): Handbuch Logistik. 3., neu bearbeitete Auflage, Berlin Heidelberg: Springer Verlag. S. 255–288.
- Beschaffung-aktuell (2016): Bestandssenkung im Ersatzteillager. URL: http://www.beschaffung-aktuell.de/home/-/article/16537505/26965522/Bestandssenkung-im-Ersatzteillager/art_co_INSTANCE_0000/maximized/ (Zugriff: 08.01.2016).
- Benzinger, O. (2005): Naturwissenschaftliche Einführungen im dtv. 4. Auflage, München: Deutscher Taschenbuch Verlag GmbH & Co.KG.
- Bichler, K. (1984): Beschaffungs- und Lagerwirtschaft. 2., verbesserte Auflage, Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Bick, W., Drexl-Wittbecker, S. (2008): Komplexität reduzieren: Konzept. Methode. Praxis. Stuttgart: LOG_X Verlag GmbH.
- Biedermann, H. (2008): Ersatzteilmanagement: Effiziente Ersatzteillogistik für Industrieunternehmen. 2. erweiterte und aktualisierte Auflage, Berlin Heidelberg: Springer Verlag, 2008.
- Biedermann, H. (2008): Anlagenmanagement: Managementinstrumente zur Wertsteigerung. In Oberhofer A. F. (Hrsg.): Anlagenmanagement: Managementinstrumente zur Wertsteigerung. Köln: Verlag TÜV Rheinland. S. 1ff.
- Biedermann, H. (2008): Entwicklungsrichtungen im modernen Anlagenmanagement: Strategien, Konzepte und Lösungen für Produktion und Instandhaltung: 22. Instandhaltungsforum. Köln: Verlag TÜV Rheinland.
- Biedermann H. (2008): Komplexitätsorientiertes Anlagenmanagement: Methoden, Konzepte und Lösungen für Produktion und Instandhaltung: 20. Instandhaltungsforum. Köln: Verlag TÜV Rheinland.
- Biedermann H. (2006): Die Koordinationsinstrumente des Generic Managementmodells zur Komplexitätsbeherrschung. In Biedermann H. (Hrsg.): Komplexitätsorientiertes Anlagenmanagement: Methoden, Konzepte und Lösungen für Produktion und Instandhaltung: 20. Instandhaltungsforum. Köln: Verlag TÜV Rheinland. S. 9ff.

- Biedermann H. (2013): Ressourceneffizientes Anlagemanagement: Der Beitrag von Instandhaltung und Anlagenwirtschaft zu einem effizienten Umgang mit Ressourcen: 27. Instandhaltungsforum. Köln: Verlag TÜV Rheinland.
- Biedermann H. (1987): Planung in der Instandhaltung: 3. Instandhaltungs-Forum. Köln: Verlag TÜV Rheinland GmbH.
- Binner, F. (1998): Prozeß- und Fehlermanagement in der Lagerlogistik. In VDI Berichte Nr. 1447 (Hrsg.): Exemplarische Branchenkonzepte: Ersatzteil-Distribution-Entsorgung. Düsseldorf: VDI Verlag GmbH. S. 1ff.
- Bleyer, M., Giermaier, G., Mussnig, W., Rausch, A. (2014): Controlling für Führungskräfte: Analysieren-Bewerten-Entscheiden. 3., überarbeitete Auflage, Wien: Linde Verlag Ges.m.b.H.
- Bliss, C. (2000): Management von Komplexität: Ein integrierter, systemtheoretischer Ansatz zur Komplexitätsreduktion in Unternehmensführung und Marketing. In Freter, H., Meffert, H., Steffenhagen, H. (Hrsg.): Unternehmensführung und Marketing. Wiesbaden: Springer Fachmedien. S. 1ff.
- Blockus, M. O. (2010): Komplexität in Dienstleistungsunternehmen: Komplexitätsformen, Kosten- und Nutzenwirkungen: empirische Befunde und Managementimplikationen. In Bruhn, M. (Hrsg): Basler Schriften zum Marketing. Wiesbaden: Gabler Verlag Springer Fachmedien. S. 1ff.
- Bornemann, H. (1986): Bestände-Controlling: Materialfluß-Analyse: Bestände-Management: Fallstudien. Wiesbaden: Gabler.
- Bretzke, W.R. (2008): Logistische Netzwerke. Berlin Heidelberg: Springer Verlag.
- Bretzke, W.R. (2014): Nachhaltige Logistik: Zukunftsfähige Netzwerk und Prozessmodelle. 3. Auflage, Berlin Heidelberg: Springer Verlag.
- Bruckner, A., Stich, V. (2000): Erfolgsfaktor Ersatzteilgeschäft. In VDI Bericht Nr.1573. (Hrsg.): VDI Bericht 1573: Effiziente Ersatzteil-Logistik. Düsseldorf: VDI Verlag GmbH. S. 67ff.
- Bruhn, M. (2010): Basler Schriften zum Marketing. Wiesbaden: Gabler Verlag Springer Fachmedien.
- Brunner, F. J.(2013): Praxisreihe Qualitätswissen. 5. Aktualisierte Auflage, München Wien: Carl Hanser Verlag.
- Buchholz, M. (2012): Theorie der Variantenvielfalt: Ein produktions- und absatzwirtschaftliches Erklärungsmodell. Wiesbaden: Gabler Verlag Springer Fachmedien.
- Bundesvereinigung Logistik (2016): Forum Ersatzteillistik. URL: <http://www.bvl.de/fel> (Zugriff: 27.03.2016).
- Busch, A., Dangelmaier, W. (2004): Integriertes Supply Chain Management: Theorie und Praxis effektiver unternehmensübergreifender Geschäftsprozesse. 2. Auflage, Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Büchter, H., Franzke, U., Hompel, M. ten. (2008): Intralogistik: Identifikationssysteme und Automatisierung. Berlin Heidelberg: Springer Verlag.

- Cezanne, M. (1999): Krisenmanagement und Komplexität: betriebswirtschaftliche Krisenherde im Kontext multioptionalen Konsumentenverhaltens. In Liebmann, H. P., Schneider, U. (Hrsg.): Forschungsberichte aus der Grazer Management Werkstätte. Wiesbaden: Gabler Verlag Springer Fachmedien. S. 1ff.
- complexity-research (2016): Komplexität/Chaos. URL: <http://www.complexity-research.com/KomplexiChaos.htm> (Zugriff: 09.08.2016).
- Coenenberg, A. G., Fischer, T. M., Günther, T. W. (2016): Kostenrechnung und Kostenanalyse. 9., überarbeitete Auflage, Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag.
- Corsten, H. (2007): Produktionswirtschaft: Einführung in das industrielle Produktionsmanagement. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH.
- Denk, R., Pfneissl, R. (2009): Komplexitätsmanagement. Wien: Linde Verlag Wien Ges.m.b.H..
- DHL (2015): Definition Ersatzteillogistik. URL: https://www.dhl-discoverlogistics.com/cms/de/course/processes/spare_part_logistics/definition.jsp (Zugriff: 27.03.2016).
- DIN 31051:2012-09: Grundlagen der Instandhaltung (DIN 31051-1: 1974-12).
- DIN 2442:1976-09: TEIL 1: Ersatzteillisten: Allgemein und Teil 2: Ersatzteillisten: Form und Aufbau des Textteiles.
- Disselkamp, M., Schüller, R. (2004): Lieferantenrating: Instrumente, Kriterien, Checklisten. Wiesbaden: Gabler.
- Dickmann, P., Dickmann, E. (2007): Differenzierte Prozesskostenrechnung. In Dickmann, P. (Hrsg.): Schlanker Materialfluss mit Lean Production, Kanban und Innovationen. Berlin Heidelberg: Springer Verlag. S. 71–78.
- Dickmann, P. (2007): Schlanker Materialfluss mit Lean Production: Kanban und Innovationen. Berlin Heidelberg: Springer Verlag.
- Dickmann, E., Gerth, W. M. (2007): Logistik-Outsourcing: Checkliste. In Dickmann, P. (Hrsg.): Schlanker Materialfluss mit Lean Production, Kanban und Innovationen. Berlin Heidelberg: Springer Verlag. S. 317–323.
- Dittes, F. M. (2012): Komplexität: Warum die Bahn nie pünktlich ist. Berlin Heidelberg: Springer Verlag.
- Dombrowski, U., Schulze, S. (2008): Lebenszyklusorientiertes Ersatzteilmanagement: Neue Herausforderungen durch innovationsstarke Bauteile in langlebigen Primärprodukten. In Nyhuis, P. (Hrsg.): Beiträge zu einer Theorie der Logistik. Berlin Heidelberg: Springer Verlag. S. 463ff.
- Dombrowski, U., Otano, I. C., Schulze, S. (2009): Instandhaltungsmanagement als Gestaltungsfeld ganzheitlicher Produktionssysteme. In Mandelartz, J., Müller, G., Reichel, J. (Hrsg.): Betriebliche Instandhaltung. Berlin Heidelberg: Springer Verlag. S. 29ff.
- Domschke, M. (2016): Auskünfte vom Leiter strategischer Einkauf von VDM Metals GmbH . telefonisches Gespräch, 02.08.2016.

- Döring, U., Wöhe, G. (2008): Einführung in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre. 23. vollständig neu bearbeitete Auflage, München: Verlag Franz Vahlen GmbH.
- Duden (2013): Erklärung des Wortes Komplexität. URL: <http://www.duden.de/rechtschreibung/Komplexitaet> (Zugriff: 14.04.2013).
- Dursun, S. (2013): Die Bedeutung von eBusiness: Standards und deren Zusammenspiel: Vertieft am Beispiel des Klassifikationsstandards eCl@ss. Hamburg: VERLAG DR.KOVAČ GmbH.
- EAN (2014): GS1 Leistungen & Standards. URL: <http://www.gs1.at/gs1-leistungen-a-standards/gs1-barcodes/gtin-ean-symbol> (Zugriff: 19.11.2014).
- eCl@ss (2014): CLASSIFICATION AND PRODUCT DESCRIPTION. URL: http://www.eclasscontet.com/index.php?id=14020104&version=8_1&language=de (Zugriff: 24.10.2014).
- eCl@ss (2014): CLASSIFICATION AND PRODUCT DESCRIPTION. URL: <http://www.eclass.de/eclasscontet/standard/overview.html.de> (Zugriff: 24.10.2014).
- Eißig, M., Stölzle, W. (2013): Supply Chain Management: Beiträge zur Beschaffung und Logistik. Wiesbaden: Springer Gabler Fachmedien.
- Eversheim, W., Schuh, G. (2005): Integrierte Produkt- und Prozessgestaltung. Berlin Heidelberg: Springer Verlag.
- Factory (2016): Alles zur 1. Ersatzteiltagung Österreichs. URL: <https://factorynet.at/a/alles-zur-1-ersatzteiltagung-oesterreichs?img=10457> (Zugriff: 27.03.2016).
- Farid, A. (2016): Auskünfte vom Director Purchasing / Chief Quality Officer des Industrieanlagenbauer INTECO melting and casting technologies GmbH. Kommunikation mittels E-Mail, 19.04.2016.
- Firchau, N. L., Franke, H. J., Hesselbach, J., Huch, B. (2002): Variantenmanagement in der Einzel- und Kleinserienfertigung. München Wien: Carl Hanser Verlag.
- Firchau, N. L., Franke, H. J., Huch, B., Menge, M. (2002): Variantenmanagement: Variantenvielfalt in Produkten und Prozessen erfolgreich beherrschen. In Firchau, N. L., Franke, H. J., Hesselbach, J., Huch, B. (Hrsg.): Variantenmanagement in der Einzel- und Kleinserienfertigung. München Wien: Carl Hanser Verlag. S. 1ff.
- Flick, A. (2016): Auskünfte vom Chief Technology Officer upstream des Industrieanlagenbauer Primetals Technologies Austria GmbH. Kommunikation mittels E-Mail, 07.04.2016.
- Franke, H. J. (1998): Produkt-Variantenvielfalt–Ursachen und Methoden zu ihrer Bewältigung. In VDI Berichte Nr. 1434. (Hrsg.): Effektive Entwicklung und Auftragsabwicklung variantenreicher Produkte. Düsseldorf: VDI Verlag GmbH. S. 1ff.
- Fraunhofer-Gesellschaft (2016): Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML, Prozessoptimierung mit BeSt. URL: <http://www.iml.fraunhofer.de/de/themengebiete/anlagenmanagement/ersatzteilmanagement/best.html> (Zugriff: 27.03.2016).

- Fraunhofer-Gesellschaft (2016): Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML, ERBORAS. URL: <http://www.Impl.fraunhofer.de/de/themengebiete/anlagenmanagement/ersatzteilmanagement/erboras.html> (Zugriff: 27.03.2016).
- Feldmann, S., Geissbauer, R., Griesmeier, A., Toepert, M. (2012): Serviceinnovation: Potentiale industrieller Dienstleistungen erkennen und erfolgreich implementieren. Berlin Heidelberg: Springer Verlag.
- Femerling, J. C., Gleißner, H. (2012): Logistik: Grundlagen-Übungen-Fallbeispiele. 2., aktualisierte und erweiterte Auflage, Wiesbaden: Gabler Verlag Springer Fachmedien.
- Fricker, A., Luczak, H. (1997): Komplexitätsbewältigung: eine Herausforderung an das strategische Management. In Schuh, G., Wiendahl, H. P. (Hrsg.): Komplexität und Agilität: Steckt die Produktion in der Sackgasse. Berlin Heidelberg: Springer Verlag. S. 310 ff.
- Friedrich, S., List, S. (2009): Supply Chain Kooperation in der Ersatzteillogistik für die Luftfahrt. In Pahl, J., Schwarze, S., Voß, S. (Hrsg.): Logistik Management: Systeme, Methoden, Integration. Berlin Heidelberg: Springer Verlag. S. 57–75.
- Freie Universität Berlin (2015): Anwenderhandbuch Instandhaltung. URL: http://www.fu-berlin.de/sites/eas/Projekte/CAFM/Ressourcen/150602_Anwenderhandbuch_Instandhaltung_V1_0.pdf (Zugriff: 09.08.2016).
- Freter, H., Meffert, H., Steffenhagen, H. (2000): Unternehmensführung und Marketing. Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Freund, C., Ryll, F. (2010): Grundlagen der Instandhaltung. In Schenk, M. (Hrsg.): Instandhaltung technischer Systeme: Methoden und Werkzeuge zur Gewährleistung eines sicheren und wirtschaftlichen Anlagenbetriebs. Berlin Heidelberg: Springer Verlag. S. 23ff.
- Gabler Wirtschaftslexikon (2016): Ersatzteillogistik. URL: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/82517/ersatzteillogistik-v7.html> (Zugriff: 27.03.2016).
- Gabler Wirtschaftslexikon (2016): System. URL: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/3210/system-v12.html> (Zugriff: 17.08.2016).
- Gabler Wirtschaftslexikon (2016): Lagerbestandsmanagement. URL: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/72968/lagerbestandsmanagement-v8.html> (Zugriff: 17.10.2016).
- Gabler Wirtschaftslexikon (2018): Materiallogistik. URL: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/84112/materiallogistik-v8.html> (Zugriff: 22.02.2018).

- Gioja, L., Herrmann, M., Millemann, M., Pascale, R. T. (2002): Chaos ist die Regel: Wie Unternehmen Naturgesetze erfolgreich anwenden. München: Econ Ullstein List Verlag GmbH & Co. KG.
- Gießmann, M. (2010): Komplexitätsmanagement in der Logistik: Kausalanalytische Untersuchung zum Einfluss der Beschaffungskomplexität auf den Logistikerfolg. Lohmar-Köln: Josef Eul Verlag GmbH.
- Gleißner, H., Möller, K. (2009): Fallstudien Logistik: Logistikwissen in der praktischen Anwendung. Wiesbaden: Gabler GWV Fachverlage GmbH.
- Goldgruber, P. (2016): Auskünfte vom Leiter Materialwirtschaft der voestalpine Stahl Donawitz GmbH. persönliches Gespräch, 19.04.2016.
- GTIN (2014): GS1 Leistungen & Standards. URL: <http://www.gs1.at/gs1-leistungen-a-standards/gs1-id-nummern/gtin> (Zugriff: 19.11.2014).
- Grün, O., Jammernegg, W., Kummer, S. (2006): Grundzüge der Beschaffung, Produktion und Logistik. München: Pearson Studium.
- Greschik, S. (2005): Das Chaos und seine Ordnung: Einführung in komplexe Systeme. In Benzinger, O. (Hrsg.): Naturwissenschaftliche Einführungen im *dtv*. 4. Auflage, München: Deutscher Taschenbuch Verlag GmbH & Co.KG. S. 1ff.
- Grochla, E. (1990): Grundlagen der Materialwirtschaft: Das materialwirtschaftliche Optimum im Betrieb. Dritte, gründlich durchgesehene Auflage, Wiesbaden: Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler GmbH.
- Grothe, H. (1988): Bauen mit Kopf: Die Beherrschung von Komplexität durch Selbstorganisation. Berlin: Patzer.
- GS1 (2014): Wir über uns. URL: <http://www.gs1.at/wir-ueber-uns> (Zugriff: 19.11.2014).
- Gudehus, T. (2005): Logistik: Grundlagen, Strategien, Anwendungen. 3. neu bearbeitete Auflage, Berlin Heidelberg: Springer Verlag.
- Gudehus, T. (2010): Logistik: Grundlagen, Strategien, Anwendungen, 4., aktualisierte Auflage, Berlin Heidelberg: Springer Verlag.
- Gudehus, T. (2011): Dynamische Disposition: Strategien, Algorithmen und Werkzeuge zur optimalen Auftrags-, Bestands- und Fertigungsdisposition. 3., neu bearbeitete und erweiterte Auflage, Berlin Heidelberg: Springer Verlag.
- Günthner, W. A. (2006): Wissenschaft in der Intralogistik. In Arnold, D. (Hrsg.): Intralogistik: Potentiale, Perspektiven, Prognosen. Berlin Heidelberg: Springer Verlag. S. 239ff.
- Günther, H. O., Tempelmeier, H. (2005): Produktion und Logistik. sechste verbesserte Auflage, Berlin Heidelberg: Springer Verlag.
- Haasis, H. D. (2008): Produktions- und Logistikmanagement: Planung und Gestaltung von Wertschöpfungsprozessen. Wiesbaden: Gabler GWV Fachverlage GmbH.
- Hartmann, H. (2005): Materialwirtschaft: Organisation, Planung, Durchführung, Kontrolle. 9. überarbeitete Auflage, Gernsbach: Deutscher Betriebswirte-Verlag GmbH.

- Hartmann, H. (2001): Praxisreihe Einkauf Materialwirtschaft: Band 9. Gernsbach: Deutscher Betriebswirte-Verlag GmbH.
- Hartmann, T., Savoglou, C. (1998): Kopplung von Instandhaltung und Ersatzteillogistik. In Pawellek, G. (Hrsg.): Generalisierungsaspekte der integrierten Instandhaltung. Ergebnisbericht des INST-Arbeitskreises der Forschungsgemeinschaft für Logistik e.V. (FGL): Hamburg 1998. S. 1ff.
- Heidenblut, V., Hompel, M. ten. (2006): Taschenlexikon Logistik: Abkürzungen, Definitionen und Erläuterungen der wichtigsten Begriffe aus Materialfluss und Logistik, Berlin Heidelberg: Springer Verlag.
- Heina, J. (1999): Variantenmanagement: Kosten-Nutzen-Bewertung zur Optimierung der Variantenvielfalt. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Heinen, E. (1990): Industriebetriebslehre: Entscheidungen im Industriebetrieb. Achte, durchgesehene und verbesserte Auflage, Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Heinzl, A. (2017): Risikobewertungsblatt zur Ersatzteilbevorratung, unveröffentlichtes internes Dokument. HEINZL Consulting, Wien, 05.01.2017.
- Hellberg, T. (2009): Einkauf mit SAP MM. 2., aktualisierte und erweiterte Auflage, Bonn: Galileo Press.
- Hepp, M. (2003): Güterklassifikation als semantisches Standardisierungsproblem. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag/GWV Fachverlage GmbH.
- Herrmann, A., Peine, K. (2007): Variantenmanagement. In Albers, S., Herrmann, A. (Hrsg.): Handbuch Produktmanagement. 3. überarbeitete und erweiterte Auflage, Wiesbaden: Gabler. S. 649ff.
- Heuer, G. (1992): Ersatzteilwesen und Lagerhaltung. In Warnecke, H. J. (Hrsg.): Handbuch Instandhaltung Band 1-Instandhaltungsmanagement. Köln: Verlag TÜV Rheinland. S. 1ff.
- Heuer, M. F. (1988): Kontrolle und Steuerung der Materialwirtschaft. Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Hirschler, K. (2010): Bilanzrecht-Kommentar Einzelabschluss. Wien: Linde Verlag Wien Ges.m.b.H..
- Hoffmann, S. (2000): Variantenmanagement aus Betreibersicht: Das Beispiel einer Schienenverkehrsunternehmung. Wiesbaden: Springer Fachmedien GmbH.
- Hoppe, M. (2012): Bestandsoptimierung mit SAP. 3., aktualisierte und erweiterte Auflage, Bonn: Galileo Press.
- Hummell, H. J., Sodeur, W., Trappmann, M. (2011): Strukturanalyse sozialer Netzwerke: Konzepte, Modelle, Methoden. 2. überarbeitete Auflage, Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften Springer Fachmedien GmbH.
- Hug, W., Weber, J. (2011): Wertetreiber Einkauf: Wertehebel im Einkauf als Controllingaufgabe. In Weber, J. (Hrsg.): Advanced Controlling: Band 77. Weinheim: Wiley-VCH. S. 1ff.

- Hug, W. (1986): Optimale Ersatzteilwirtschaft: Beitrag zum technisch-wirtschaftlichen Bestände-Controlling. In Männel W. (Hrsg.): Schriftenreihe Anlagenwirtschaft. Köln: Verlag TÜV Rheinland GmbH. S. 1ff.
- Industriemagazin (2016): Erfolgsfaktor Ersatzteillistik im internationalen Wettbewerb. URL: <http://industriemagazin.at/a/ersatzteillistik-erfolgsfaktor-im-internationalen-wettbewerb> (Zugriff: 27.03.2016).
- Investor-Verlag (2016): Der Exponentielle Gleitende Durchschnitt. URL: <http://www.investor-verlag.de/technische-analyse/der-exponentielle-gleitende-durchschnitt/105020102/> (Zugriff: 15.02.2016).
- Jäger, S. Ch. (2009): Instrumente des Beschaffungscontrollings: Balanced Scorecard und Lieferantenmanagement im Fokus. Hamburg: Igel Verlag GmbH.
- Jodlbauer, H. (2008): Produktionsoptimierung: Wertschaffende sowie kundenorientierte Planung und Steuerung. 2., erweiterte Auflage, Wien: Springer Verlag.
- Kaiser, A. (1995): Integriertes Variantenmanagement mit Hilfe der Prozesskostenrechnung. Dissertation, Hochschule St. Gallen.
- Kersten, W. (2012): Supply Chain, Logistics and Operations Management. Lohmar-Köln: Josef Eul Verlag GmbH.
- Kesper, H. (2012): Gestaltung von Produktvariantenspektren mittels matrixbasierter Methoden. Dissertation, Lehrstuhl für Produktentwicklung der Technischen Universität München.
- Kestel, R. (1995): Variantenvielfalt und Logistiksysteme: Ursachen-Auswirkungen-Lösungen. Wiesbaden: Gabler Verlag-Deutscher Universitäts Verlag.
- Kirchhof, R. (2003): Ganzheitliches Komplexitätsmanagement: Grundlagen und Methodik des Umgangs mit Komplexität im Unternehmen. In Specht, D. (Hrsg.): Beiträge zur Produktionswirtschaft. Wiesbaden: Springer Fachmedien GmbH. S. 1ff.
- Kleindienst, B., Schröder, W. E. (2013): Ressource Risk Based Maintenance: Ein Vorgehensmodell und dessen beispielhafte Umsetzung in der Stahlindustrie. In Biedermann H. (Hrsg.): Ressourceneffizientes Anlagemanagement: Der Beitrag von Instandhaltung und Anlagenwirtschaft zu einem effizienten Umgang mit Ressourcen: 27. Instandhaltungsforum. Köln: Verlag TÜV Rheinland. S. 105ff.
- Kluck D. (2008): Materialwirtschaft und Logistik: Lehrbuch mit Beispielen und Kontrollfragen. 3., überarbeitete Auflage, Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag.
- Korp, G. F. (2016): Auskünfte vom Projektleiter voestalpine wire rod GmbH zum Projekts Walzwerk-NEU. Kommunikation mittels E-Mail, 08.04.2016.
- Kopenhagen, F. (2014): Modulare Produktarchitekturen: Komplexitätsmanagement in der frühen Phase der Produktentwicklung. In Schoeneberg, K. P. (Hrsg.): Komplexitätsmanagement in Unternehmen: Herausforderungen im Umgang mit Dynamik, Unsicherheit und Komplexität meistern. Wiesbaden: Springer Fachmedien. S. 113–162.

- Köhler, J. (2016): Auskünfte vom Leiter Costcenter Technik (mechanische Werkerhaltung Dillfeld, Technik-Center) der Buderus Edelstahl GmbH. telefonisches Gespräch, 29.04.2016.
- Krenn, B. (2008): Bewertung von Komplexität in Materialflusssystemen der Prozessindustrie am Beispiel der Stahl- und Feuerfestindustrie. Dissertation, Montanuniversität Leoben.
- Kreuzer, Ch. (2007): BWL kompakt: Die 100 wichtigsten Themen der Betriebswirtschaft für Praktiker. 2., aktualisierte und überarbeitete Auflage, Wien: Linde Verlag Wien Ges.m.b.H..
- Kummer, S., Grün, O., Jammerneegg, W. (2006): Grundzüge der Beschaffung, Produktion und Logistik. München: Pearson Studium.
- Küting, K., Weber, C. P. (1995): Handbuch der Rechnungslegung: Kommentar zur Bilanzierung und Prüfung-Band 1a. 4., grundlegend überarb. und wesentl. erw. Aufl., Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag.
- Lammers, T. (2012): Komplexitätsmanagement für Distributionssysteme. In Kersten, W. (Hrsg.): Supply Chain: Logistics and Operations Management. Lohmar-Köln: Josef Eul Verlag GmbH. S. 1ff.
- Langemann, T. (2004): Collaborative Supply Chain Management. In Busch, A., Dangelmaier, W. (Hrsg.): Integriertes Supply Chain Management: Theorie und Praxis effektiver unternehmensübergreifender Geschäftsprozesse. 2. Auflage, Wiesbaden: Springer Fachmedien. S. 435–451.
- Lehmann, S. (2005): Internationale Ersatzteillogistik: Ziele und Probleme. Norderstedt Germany: GRIN-Verlag GmbH.
- Liebmann, H. P., Schneider, U. (1999): Forschungsberichte aus der Grazer Management Werkstätte. Wiesbaden: Gabler Verlag-Springer Fachmedien.
- Liebstückel, K. (2014): Praxishandbuch Instandhaltung mit SAP. 3. Auflage, Bonn: Rheinwerk Verlag.
- Lindstädt, H. (2010): Schriften zu Management, Organisation und Information. München und Mering: Rainer Hampp Verlag.
- Logistikbranche (2016): Ersatzteillogistik. URL: <http://www.logistikbranche.net/dossier/ersatzteillogistik.html> (Zugriff: 27.03.2016).
- LogU (2012): Varianten- und Komplexitätsmanagement. URL: <https://www.logu.tuhh.de/de/forschung/varianten-komplexit%C3%A4tsmanagement> (Zugriff: 17.08.2016).
- Lokad (2009): Sicherheitsbestand. URL: <https://www.lokad.com/de/berechne-sicherheitsbestand-anhand-verkaufsprognose> (Zugriff: 15.02.2016).
- Lokad (2012): Optimale Bestellmenge. URL: <https://www.lokad.com/de/optimale-bestellmenge-eoq-definition-und-formel> (Zugriff: 02.03.2016).
- Lokad (2013): Lagerhaltungskosten. URL: <https://www.lokad.com/de/definition-lagerhaltungskosten> (Zugriff: 15.02.2016).

- Malik, F. (1996): Strategie des Managements komplexer Systeme: Ein Beitrag zur Management-Kybernetik evolutionärer Systeme. 5., erweiterte und ergänzte Auflage, Bern Stuttgart Wien: Verlag Paul Haupt.
- Martin, H. (2006): Transport- und Lagerlogistik: Planung, Struktur, Steuerung und Kosten von Systemen der Intralogistik. 6. vollständig überarbeitete Auflage, Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn Verlag-GWV Fachverlage GmbH.
- Matyas, K. (2013): Instandhaltungslogistik: Qualität und Produktivität steigern. In Brunner, F.J. (Hrsg.): Praxisreihe Qualitätswissen. 5. Aktualisierte Auflage, München Wien: Carl Hanser Verlag. S.1ff.
- Matyas, K. (2006): Der Beitrag von Wertstromdesign zur effizienten Organisation von Produktion und Instandhaltung. In Biedermann H. (Hrsg.): Komplexitätsorientiertes Anlagenmanagement: Methoden, Konzepte und Lösungen für Produktion und Instandhaltung: 20. Instandhaltungsforum. Köln: Verlag TÜV Rheinland. S. 41ff.
- Mandelartz, J., Müller, G., Reichel, J. (2009): Betriebliche Instandhaltung. Berlin Heidelberg: Springer Verlag.
- Männel, W. (1986): Schriftenreihe Anlagenwirtschaft. Köln: Verlag TÜV Rheinland GmbH.
- Müller, C., Szinovatz, A. (2014): Management der Komplexität im Innovationsprozess. In Schoeneberg, K. P. (Hrsg.): Komplexitätsmanagement in Unternehmen: Herausforderungen im Umgang mit Dynamik, Unsicherheit und Komplexität meistern. Wiesbaden: Springer Fachmedien. S. 13–27.
- Narholz, T. (2016): Auskünfte vom Chief Sales Officer des Industrieanlagenbauer Danieli & C. SPA. Kommunikation mittels E-Mail, 06.04.2016.
- Nebt, T., Prüß, H. (2006): Anlagenwirtschaft. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH.
- Nyhuis, P. (2008): Beiträge zu einer Theorie der Logistik. Berlin Heidelberg: Springer Verlag.
- Oberhofer A. F. (2008): Anlagenmanagement: Managementinstrumente zur Wertsteigerung. Köln: Verlag TÜV Rheinland.
- Österle, H., Senger, E. (2006): Innovative Geschäftskonzepte im After Sales Services. In Barkawi, K., Baader, A., Montanus, S. (Hrsg.): Erfolgreich mit After Sales Services: Geschäftsstrategien für Servicemanagement und Ersatzteillogistik. Berlin Heidelberg: Springer Verlag. S. 37–54.
- Pahl, J., Schwarze, S., Voß, S. (2009): Logistik Management: Systeme, Methoden, Integration. Berlin Heidelberg: Springer Verlag.
- Paradine (2014): AT&S - Globale Klassifizierung von Ersatzteilen nach eCI@ss. URL: http://www.paradine.at/index.php?option=com_content&view=article&id=47&Itemid=98&lang=de (Zugriff: 18.11.2014).

- Paradine (2014): Anwenderbericht eCI@ss Einführung. URL: <http://www.paradine.at/images/stories/Paradine-Gallery/Success-Stories/1011-ats-anwenderbericht-de.pdf> (Zugriff: 18.11.2014).
- Paradine (2014): Success story eCI@ss Implementation. URL: <http://www.paradine.at/images/stories/Paradine-Gallery/Success-Stories/1011-ats-success-story-eclass-implementation-en.pdf> (Zugriff: 18.11.2014).
- Papier, F., Thonemann, U. (2008): Grundlagen: Begriffe der Logistik: logistische Systeme und Prozesse. In Arnold, D., Isermann, H., Kuhn, A., Tempelmeier, H., Furmans, K. (Hrsg.): Handbuch Logistik. 3., neu bearbeitete Auflage, Berlin Heidelberg: Springer Verlag: S. 21–34.
- Patzak, G. (1982): Systemtechnik: Planung komplexer innovativer Systeme, Grundlagen, Methoden, Techniken. Berlin Heidelberg: Springer Verlag.
- Pawellek, G. (2013): Integrierte Instandhaltung und Ersatzteillogistik: Vorgehensweisen, Methoden, Tools. Berlin Heidelberg: Springer Verlag.
- Pawellek, G. (1998): Generalisierungsaspekte der integrierten Instandhaltung. Ergebnisbericht des INST-Arbeitskreises der Forschungsgemeinschaft für Logistik e.V. (FGL): Hamburg 1998.
- Pein, J., Schoeneberg, K. P. (2014): Entscheidungsfindung mit Big Data: Einsatz fortschrittlicher Visualisierungsmöglichkeiten zur Komplexitätsbeherrschung betriebswirtschaftlicher Sachverhalte im Unternehmen. In Schoeneberg, K. P. (Hrsg.): Komplexitätsmanagement in Unternehmen: Herausforderungen im Umgang mit Dynamik, Unsicherheit und Komplexität meistern. Wiesbaden: Springer Fachmedien. S. 309–354.
- Pfeiffer, W. (1993): Innovative Unternehmensführung: Planung, Durchführung und Kontrolle von Innovationen Bd. 20. Göttingen: Vandenhoeck und Ruprecht.
- Pfohl, H. C. (2010): Logistiksysteme: Betriebswirtschaftliche Grundlagen. 8., neu bearb. und aktual. Aufl., Berlin Heidelberg: Springer Verlag.
- Pichler, T. (2016): Auskünfte vom Leiter Instandhaltung Walzlinie (EWA-Anlagentechnik EW) der Böhler Edelstahl GmbH & Co KG. telefonisches Gespräch, 02.05.2016.
- Piontek, J. (2004): Beschaffungscontrolling. 3., überarbeitete und erweiterte Auflage, München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH.
- Piller, E. (2006): Beherrschung der Datenkomplexität durch RFID in der Produktion/Instandhaltung. In Biedermann H. (Hrsg.): Komplexitätsorientiertes Anlagenmanagement: Methoden, Konzepte und Lösungen für Produktion und Instandhaltung: 20. Instandhaltungsforum. Köln: Verlag TÜV Rheinland. S. 71ff.
- Plankert, N., Thiebes, F. (2014): Umgang mit der Komplexität in der Produktentwicklung: Komplexitätsbeherrschung durch Variantenmanagement. In Schoeneberg, K. P. (Hrsg.): Komplexitätsmanagement in Unternehmen: Herausforderungen im Umgang mit Dynamik, Unsicherheit und Komplexität meistern. Wiesbaden: Springer Fachmedien. S. 165–185.

- Poluha, R.G. (2010): Quintessenz des Supply Chain Managements, Was Sie wirklich über Ihre Prozesse in Beschaffung, Fertigung, Lagerung und Logistik wissen müssen. Berlin Heidelberg: Springer Verlag.
- Prammer, H. (2016): Auskünfte vom Leiter Kaufmännische und Technische Prozesse (Materialwirtschaft und Devestition) der voestalpine Stahl Linz GmbH. telefonisches Gespräch, 29.04.2016.
- Prozeus (2004): Identifikationsstandard auswählen und einsetzen. URL: http://www.prozeus.de/prozeus/daten/broschueren/standards/prozeus_doc03051.htm (Zugriff: 19.11.2014).
- Prozeus (2004): Klassifikationsstandard auswählen und einsetzen. URL: http://www.prozeus.de/prozeus/daten/broschueren/standards/prozeus_doc02258.htm (Zugriff: 19.11.2014).
- Raidl, A. (2012): Variantenmanagement in der Fließfertigung. Masterarbeit, Montanuniversität Leoben.
- Ranft, L., Scholz-Reiter, B. (2000): Webbasierte Kooperation in Ersatzteilnetzwerken. In VDI Bericht Nr.1573. (Hrsg.): VDI Bericht 1573: Effiziente Ersatzteil-Logistik. Düsseldorf: VDI Verlag GmbH. S. 67ff.
- Rathnow, P. J. (1993): Integriertes Variantenmanagement: Bestimmung, Realisierung und Sicherung der optimalen Produktvielfalt. In Pfeiffer, W. (Hrsg.): Innovative Unternehmensführung: Planung, Durchführung und Kontrolle von Innovationen Bd20. Göttingen: Vandenhoeck und Ruprecht. S. 1ff.
- Reisbeck, T., Schöne, L. (2009): Immobilien–Benchmarking. 2. Auflage, Berlin Heidelberg: Springer Verlag.
- Reiß, M. (1993): Komplexitätsmanagement (I). In: WISU–Das Wirtschaftsstudium, Jg. 22, Nr. 1, S. 54–59.
- Reitz, A. (2008): Lean TPM: In 12 Schritten zum schlanken Managementsystem. München: mi-Fachverlag Finanz Buch Verlag GmbH.
- Riedl, R. (2000): Strukturen der Komplexität: Eine Morphologie des Erkennens und Erklärens. Berlin Heidelberg: Springer Verlag.
- Richter, K., Rost, J. M. (2002): Komplexe Systeme. Frankfurt am Main: Fischer Taschenbuch Verlag.
- Robrade, A. D. (1990): Dynamische Einprodukt-Lagerhaltungsmodelle bei periodischer Bestandsüberwachung. Berlin Heidelberg: Springer Verlag.
- Rohrhofer, E. (2009): Variantenmanagement Strategien: Methoden und Erfolgsfaktoren im logistischen Leistungserstellungsprozess. Saarbrücken: VDM Verlag Dr. Müller Aktiengesellschaft & Co.KG.
- Rosemann, M. (1996): Komplexitätsmanagement in Prozeßmodellen: Methodenspezifische Gestaltungsempfehlungen für die Informationsmodellierung. Wiesbaden: Springer Fachmedien.

- Rötzel, A. (2009): Instandhaltung: eine betriebliche Herausforderung. 4., aktualisierte Auflage, Berlin und Offenbach: VDE Verlag GmbH.
- Sackstetter, H., Schottmüller, R. (2001): C-Teile-Management: Umsetzung von C-Teile-Management-Projekten: Beispiele aus der Praxis. In Hartmann, H. (Hrsg.): Praxisreihe Einkauf Materialwirtschaft Band 9. Gernsbach: Deutscher Betriebswirte-Verlag GmbH. S. 1ff.
- SAP (2013): Materialstammdaten. URL: https://help.sap.com/erp_hcm_ias_2013_01/helpdata/de/75/ee0af555c811d18990000e8322d00/content.htm (Zugriff: 09.08.2016).
- Schäfer-Kunz, J., Tewald, C. (1998): Make-or-Buy-Entscheidungen in der Logistik. Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Schenk, M. (2010): Instandhaltung technischer Systeme: Methoden und Werkzeuge zur Gewährleistung eines sicheren und wirtschaftlichen Anlagenbetriebs. Berlin Heidelberg: Springer Verlag.
- Schlüter, R. (2006): Optimierung der Service Supply Chain im Bereich hochwertiger Investitionsgüter. In Barkawi, K., Baader, A., Montanus, S. (Hrsg.): Erfolgreich mit After Sales Services: Geschäftsstrategien für Servicemanagement und Ersatzteillo-gistik. Berlin Heidelberg: Springer Verlag. S. 221–237.
- Schmidt, T., Hompel, M. ten. (2010): Warehouse Management: Organisation und Steuerung von Lager- und Kommissioniersystemen. 4., neu bearbeitete Auflage, Berlin Heidelberg: Springer Verlag.
- Schmidt, A., Schneider, M. (2008): Prozessorientierte Sichtweise in Produktion und Logistik. In Arnold, D., Isermann, H., Kuhn, A., Tempelmeier, H., Furmans, K. (Hrsg): Handbuch Logistik. 3., neu bearbeitete Auflage, Berlin Heidelberg: Springer Verlag. S. 371–404.
- Schoeneberg, K. P. (2014): Komplexitätsmanagement in Unternehmen: Herausforderungen im Umgang mit Dynamik, Unsicherheit und Komplexität meistern. Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Schoeneberg, K. P. (2014): Einführung in die Komplexitätsforschung und Herausforderung für die Praxis. In Schoeneberg, K. P. (Hrsg.): Komplexitätsmanagement in Unternehmen: Herausforderungen im Umgang mit Dynamik, Unsicherheit und Komplexität meistern. Wiesbaden: Springer Fachmedien. S. 13–27.
- Scholl, A. (2008): Grundlagen: Begriffe der Logistik, logistische Systeme und Prozesse. In Arnold, D., Isermann, H., Kuhn, A., Tempelmeier, H., Furmans, K. (Hrsg): Handbuch Logistik. 3., neu bearbeitete Auflage, Berlin Heidelberg: Springer Verlag. S. 36–37.
- Scholz-Reiter, B., Toonen, C., Windt, K. (2008): Prozessorientierte Sichtweise in Produktion und Logistik. In Arnold, D., Isermann, H., Kuhn, A., Tempelmeier, H., Furmans, K. (Hrsg): Handbuch Logistik. 3., neu bearbeitete Auflage, Berlin Heidelberg: Springer Verlag. S. 581–607.

- Schröder, W. (2010): Ganzheitliches Instandhaltungsmanagement: Aufbau, Ausgestaltung und Bewertung. In Bauer, U., Biedermann, H., Wohinz, J. W. (Hrsg.): Technoökonomische Forschung und Praxis. Wiesbaden: Gabler. S. 1ff.
- Schuh, G. (2005): Produktkomplexität managen: Strategien–Methoden–Tools. 2., überarbeitete und erweiterte Auflage, München Wien: Carl Hanser Verlag.
- Schuh, G., Wiendahl, H. P. (1997): Komplexität und Agilität: Steckt die Produktion in der Sackgasse. Berlin Heidelberg: Springer Verlag.
- Schuh, G., Stich, V., Wienholdt, H. (2013): Ersatzteillogistik. In Schuh, G., Stich, V. (Hrsg.): Logistikmanagement: Handbuch Produktion und Management 6. 2., vollständig neu bearbeitete und erweiterte Auflage, Berlin Heidelberg: Springer Verlag. S. 165–209.
- Schuh, G., Stich, V. (2013): Logistikmanagement: Handbuch Produktion und Management 6. 2., vollständig neu bearbeitete und erweiterte Auflage, Berlin Heidelberg: Springer Verlag.
- Schultz, V. (2006): Basiswissen Betriebswirtschaft: Management, Finanzen, Produktion, Marketing. 2., überarbeitete und erweiterte Auflage, München: Deutscher Taschenbuch Verlag GmbH & Co. KG.
- Schulz, C. (2014): Systemtheorie in Kybernetik als Grundlagen der Modellierung und des Controllings von Komplexität: In Schoeneberg, K. P. (Hrsg.): Komplexitätsmanagement in Unternehmen: Herausforderungen im Umgang mit Dynamik, Unsicherheit und Komplexität meistern. Wiesbaden: Springer Fachmedien. S. 45–63.
- Schwab, Ch. (2011): Ersatzteillogistik: Bedeutung, Anforderungen und Gestaltungsmöglichkeiten. Norderstedt Germany: GRIN-Verlag GmbH.
- Sedlacek, K. D. (2010): Emergenz-Strukturen der Selbstorganisation in Natur und Technik. Norderstedt Germany: Books on Demand GmbH.
- Siegwart, H. (2002): Kennzahlen für die Unternehmensführung. 6., aktualisierte und erweiterte Auflage, Bern: Paul Haupt Verlag.
- Sorg, R. (2016): Auskünfte vom Leiter Verkauf Walzdraht der Saarstahl AG. Kommunikation mittels E-Mail, 17.05.2016.
- Specht, D. (2003): Beiträge zur Produktionswirtschaft. Wiesbaden: Springer Fachmedien GmbH.
- Staber, S. (2008): Auswahl von Instrumenten und Methoden zur komplexitätsadäquaten Unterstützung von betrieblichen Entscheidungsprozessen in Gruppen. Dissertation, Montanuniversität Leoben.
- Stoll, P. P. (2007): E-Procurement–Grundlagen: Standards und Situation am Markt. Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn Verlag-GWV Fachverlage GmbH.
- Strasser, C., Szukitsch, F. (2006): Flexibler Einsatz mobiler IT-Lösungen zur effizienten Datenaufbereitung. In Biedermann H. (Hrsg.): Komplexitätsorientiertes Anlagenmanagement: Methoden, Konzepte und Lösungen für Produktion und Instandhaltung: 20. Instandhaltungsforum. Köln: Verlag TÜV Rheinland. S. 83ff.

- Strunz, M. (2012): Instandhaltung: Grundlagen, Strategien, Werkstätten. Berlin Heidelberg: Springer Verlag.
- Tandler, S.M. (2013): Supply Chain Safety Management: Konzeption und Gestaltungsempfehlungen für lean-agile Supply Chains. In Eßig, M., Stölzle, W. (Hrsg.): Supply Chain Management, Beiträge zur Beschaffung und Logistik. Wiesbaden: Springer Gabler Fachmedien. S. 1ff.
- TCW (2004): TCW Standpunkte Nr. XXXIV, Wertbeitrag. URL: https://www.tcw.de/uploads/html/publikationen/standpunkte/files/Artikel_34_Wertbeitrag.pdf (Zugriff: 01.04.2014).
- Hompel, M. ten. (2006): Das Internet der Dinge: Potenziale autonomer Objekte und selbstorganisierender Systeme in der Intralogistik. In Arnold, D. (Hrsg.): Intralogistik: Potentiale, Perspektiven, Prognosen. Berlin Heidelberg: Springer Verlag. S. 266ff.
- Theelen, N. (2016): Auskünfte vom Executive Vice President des Industrieanlagenbauer SMS group GmbH. Kommunikation mittels E-Mail, 13.04.2016.
- Toth, M. (2008): Prozessorientierte Sichtweise in Produktion und Logistik. In Arnold, D., Isermann, H., Kuhn, A., Tempelmeier, H., Furmans, K. (Hrsg.): Handbuch Logistik. 3., neu bearbeitete Auflage, Berlin Heidelberg: Springer Verlag. S. 459–486.
- UNI-Würzburg (2016): Stücklisten/Variantenstücklisten. URL: https://wuecampus2.uni-wuerzburg.de/moodle/pluginfile.php/201625/mod_resource/content/2/Logistik1_Modul_3/content/2_219_900_4.html (Zugriff: 09.08.2016).
- UNSPSC (2014): Home. URL: <http://www.unspsc.org/> (Zugriff: 18.11.2014).
- UNSPSC (2014): presentation slides. URL: <http://www.unspsc.org/education> (Zugriff: 18.11.2014).
- UPC (2014): EAN/UPC Symbologie. URL: <http://www.gs1.at/gs1-leistungen-a-standards/gs1-barcodes/gtin-ean-symbol> (Zugriff: 19.11.2014).
- VDI 1434 (1998): VDI Berichte 1434: Effektive Entwicklung und Auftragsabwicklung variantenreicher Produkte. Düsseldorf: VDI Verlag GmbH.
- VDI 1447 (1998): VDI Berichte 1447: Exemplarische Branchenkonzepte: Ersatzteil-Distribution-Entsorgung. Düsseldorf: VDI Verlag GmbH.
- VDI 1573 (2000): VDI Bericht 1573: Effiziente Ersatzteil-Logistik. Düsseldorf: VDI Verlag GmbH.
- VDI 2893 (1994): VDI Berichte 2893: Bildung von Kennzahlen für die Instandhaltung. Düsseldorf: VDI Verlag GmbH.
- Vecera, G. (2016): Auskünfte vom Leiter Einkauf+Materialwirtschaft der AMAG AG. telefonisches Gespräch, 09.05.2016.
- VNL (2018): Logistik Wörterbuch : Bestandskosten. URL: <http://vn000001.host.inode.at/Bestandskosten.138.0.html> (Zugriff: 19.01.2018).

- Voss, H. (2006): Life Cycle Logistics: Der Weg zur produktlebenszyklusorientierten Ersatzteillogistik. Bern Stuttgart Wien: Haupt-Verlag.
- voestalpine (2016): voestalpine Gruppe. URL: <http://www.voestalpine.com/group/de/> (Zugriff: 10.07.2016).
- voestalpine Schienen GmbH (2007): Zuliefervorschriften, unveröffentlichtes internes Dokument, Leoben-Donawitz, 20.11.2007.
- voestalpine Stahl Donawitz (2017): Materialanlage auf Konto Lager, unveröffentlichtes internes Dokument, Leoben-Donawitz, 28.09.2017.
- Vömel, Ch. (2009): C-Teile-Management: Outsourcing der operativen Beschaffung an den Großhandel. Saarbrücken: VDM Verlag Dr. Müller Aktiengesellschaft & Co. KG.
- Zorn, J. (2016): Auskünfte vom Projektleiters voestalpine Schienen GmbH zum Projekts HBO-NEU. Kommunikation mittels E-Mail, 138.04.2016.
- Zsifkovits, H. E. (2012): Logistik. München, Konstanz: UVK Verlagsgesellschaft mbH Konstanz mit UVK/Lucius.
- Wagner, S., Weber, J. (2007): Beschaffungscontrolling: Den Wertbeitrag der Beschaffung messen und optimieren (Advanced Controlling). Weinheim: Wiley-VCH.
- Wagner, M. (2003): Bestandsmanagement in Produktions- und Distributionssystemen. Aachen: Shaker Verlag.
- Wannenwetsch, H. (2005): Vernetztes Supply Chain Management: SCM-Integration über die gesamte Wertschöpfungskette. Berlin Heidelberg: Springer Verlag.
- Wannenwetsch, H. (2010): Integrierte Materialwirtschaft und Logistik-Beschaffung: Logistik, Materialwirtschaft und Produktion. 4., aktualisierte Auflage, Berlin Heidelberg: Springer Verlag.
- Warnecke, H. J. (1992): Handbuch Instandhaltung Band 1-Instandhaltungsmanagement. Köln: Verlag TÜV Rheinland.
- Weber, J. (2011): Wertetreiber Einkauf: Wertehebel im Einkauf als Controllingaufgabe. Weinheim: Wiley-VCH.
- Wehberg, G. G. (2015): Logistik 4.0: Komplexität managen in Theorie und Praxis. Berlin Heidelberg: Springer Verlag.
- Werner, H. (2008): Supply Chain Management: Grundlagen, Strategien, Instrumente und Controlling. 3., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage, Wiesbaden: Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler GWV Fachverlage GmbH.
- Wernigg, H. (2016): Auskünfte vom Projektleiters voestalpine tubulars GmbH & Co KG zum Projekts WBH-NEU. Kommunikation mittels E-Mail, 03.04.2016.
- Westermann, H. (2009): Strategisches Einkaufsmanagement: Das große Handbuch wirksamer Werkzeuge für Industrie, Handel, Verwaltung. Dortmund: Books on Demand.

- Westphal, J. R. (2001): Komplexitätsmanagement in der Produktionslogistik: ein Ansatz zur flussorientierten Gestaltung und Lenkung heterogener Produktionssysteme. Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Wiehler, K. (2016): Auskünfte vom Bereichsleiter technische Dienste (IH, IT, Investitionen) von Arcelor Mittal. telefonisches Gespräch, 23.05.2016.
- Winkler, R. (2006): Komplexitätsbeherrschung der automobilen Variantenvielfalt durch logistische Modularisierung. Dissertation, Technische Universität Graz.
- Wildemann, H. (2013): Komplexitätsmanagement in Vertrieb, Beschaffung, Produkt, Entwicklung und Produktion. 14. Auflage, München: TCW Transfer-Centrum GmbH & Co. KG.
- Wildemann, H. (1998): Komplexitätsmanagement durch Prozeß- und Produktgestaltung. In Adam, D. (Hrsg): Komplexitätsmanagement. Wiesbaden: Gabler. S. 47–68.
- Wittmann, W., Kern, W., Koehler, R. (1993): Handwörterbuch der Betriebswirtschaftslehre, Bd1. 5. Auflage, Stuttgart: Poeschl.
- Wojciechowski, S. (2015): Der 3D-Druck zur Erzeugung von Ersatzteilen in Unternehmen: Eine Revolution im Ersatzteilwesen. Norderstedt Germany: GRIN-Verlag GmbH.
- Wortmann, B., Wötzel, A. (2013): Maßnahmen zur Steigerung der Ressourceneffizienz in der Instandhaltungslogistik. In Biedermann H. (Hrsg.): Ressourceneffizientes Anlagenmanagement: Der Beitrag von Instandhaltung und Anlagenwirtschaft zu einem effizienten Umgang mit Ressourcen: 27. Instandhaltungsforum. Köln: Verlag TÜV Rheinland. S. 131ff.

Anhang

Expertengespräch

Protokoll-Expertengespräch	
01. Protokollnummer:	1
Datum:	08.04.2016
02. Unternehmen:	Daniell & C. SPA
Branche:	Technischer Anlagenbau / Engineering
Interviewpartner:	Thomas NARHOLZ
Funktion im Unternehmen:	Chief Sales Officer
Zuständigkeiten im Unternehmen:	
03. Frage:	Antwort:
Wie heute telefonisch besprochen benötige ich für meine Dissertation mit dem Titel "Komplexitätsmanagement in der Ersatzteillogistik aus der Sicht des Anlagenbetreibers" noch Experteninterviews zum meiner Forschungsfrage:	Wir unterteilen das Service Geschäft im Groben in a) Ersatzteillgeschäft b) Training und Know-How Unterstützung c) kleinere Umbauten und Re-furbishment Aktivitäten
Wie wirkt sich Komplexitätsmanagement auf die Logistikkosten in der Ersatzteillogistik eines Anlagenbetreibers aus?	Die Daniell Gruppe hat einen Umsatz (Plant Building und Steelmaking / ABS) zusammen von rund 3.000 Mio Euro. Davon entfallen etwa 300 Mio € auf den Bereich Service. Basierend auf der o.a. Unterteilung kann man sagen, dass etwa 250 bis 270 Mio Euro auf das Ersatzteillgeschäft entfallen. Dies heisst, dass in Bezug auf die Gruppe das Ersatzteillgeschäft in etwa 9% vom Gesamtumsatz ausmacht.
Die an Sie gerichtete Frage lautet: Wie viel Prozent vom Gesamtumsatz in Ihrem Unternehmen entfallen auf den Bereich verkauf von Ersatzteilen?(Unabhängig davon ob Ihr Unternehmen der Hersteller oder nur der Händler ist) Als Antwort bitte einen Prozentsatz vom Gesamtumsatz.	Nun muss man diese Zahl allerdings für Ihre Betrachtungsweise und um die Aussagen vergleichbar zu machen, relativieren: Das Anlagenbaugeschäft der Gruppe liegt durchschnittlich in der Grössenordnung von rund 2.000 Mio Euro (wenn man ABS als Stahlproduzent herausnimmt). Damit erhöht sich der Prozentsatz auf einen Wert von rund 13 % von Anlagenbauumsatz! Last but not least muss auch in Betracht ziehen, dass Daniell auch Turn-key Anlagen liefert. Das heisst, dass in den rund 2.000 Mio Euro auch Lieferantenteile wie Montage, Bauarbeiten und Hallen-Stahlkonstruktion enthalten sind, welche ja praktisch kein Ersatzteillgeschäft lukrieren. Dieser Anteil variiert natürlich abhängig ob ein signifikantes TK Projekt im jeweiligen Geschäftsjahr hereingenommen bzw. abgewickelt wurde. Im Durchschnitt, wenn man diese Anteile herausrechnet, liegt der %-Anteil des Ersatzteillgeschäft am Anlagenbau-relevanten Umsatz in der Grössenordnung von rund 15 bis 16 %.

Protokoll-Expertengespräch		
01.	Protokollnummer:	8
	Datum:	19.04.2016
02.	Unternehmen:	voestalpine Stahl Donawitz
	Branche:	Schwerindustrie
	Interviewpartner:	Hr. Peter Goldgruber
	Funktion im Unternehmen:	Leiter Materialwirtschaft
	Zuständigkeiten im Unternehmen:	Stellvertretender Leiter Einkauf
03.	Frage:	Antwort:
	Wie ist die Ersatzteillogistik geregelt? (in- outsourcing, eigenes Lager)	Bestandsgeführte Ersatzteile im eigenen Lager, Bewirtschaftung durch Einkauf, teilweise werden C-Artikel fremdbewirtschaftet
	Wem obliegt die organisatorische Verantwortung?	Einkauf
	Gibt es einen definierten Prozess zur Ersatzteillogistik?	JA: <input checked="" type="checkbox"/> NEIN:
	Werden Ersatzteile Bestandsgeführt, und wenn ja wie?	JA
	Gibt es Kennzahlen zur Ersatzteillogistik?	JA: <input checked="" type="checkbox"/> NEIN:
	Wie oft werden dies Kennzahlen erhoben?	Monatlich
	Wozu werden diese Kennzahlen verwendet?	Information
	Auf wieviel % vom Anlagenbestand beläuft sich der Ersatzteilbestand?	2,20%
	Wieviele Ersatzteile (Artikel, Teile) sind vorrätig?	22100 Artikel, 255 000 Teile
	Welche Relevanz hat die Höhe des Ersatzteilbestandes in betriebswirtschaftlicher Hinsicht für Ihr Unternehmen	Gering: Mittel: <input checked="" type="checkbox"/> Hoch:
	Gibt es Optimierungsbemühungen bez. des Ersatzteilbestandes?	JA: <input checked="" type="checkbox"/> NEIN:
	Welche Optimierungsbemühungen sind dies?	laufende Lagerbestandsoptimierung mittels Disposition

Protokoll-Expertengespräch		
01.	Protokollnummer:	9
	Datum:	29.04.2016
02.	Unternehmen:	Buderus Edelstahl GmbH
	Branche:	Schwerindustrie
	Interviewpartner:	Gert Nab, Jochen Köhler
	Funktion im Unternehmen:	mechanische Werkerhaltung Dillfeld, Technik-Center
	Zuständigkeiten im Unternehmen:	Ersatzteillogistik
03.	Frage:	Antwort:
	Wie ist die Ersatzteillogistik geregelt? (in-outsourcing, eigenes Lager)	Jeder Betrieb hat im Werk sein eigenes Vor-Ort Lager
	Wem obliegt die organisatorische Verantwortung?	Der jeweiligen VOR-ORT Instandhaltung ohne definierte Zuständigkeiten
	Gibt es einen definierten Prozess zur Ersatzteillogistik?	JA: <input checked="" type="checkbox"/> NEIN: Aber nur sehr grob dargestellt
	Werden Ersatzteile Bestandsgeführt, und wenn ja wie?	Teilweise im SAP, es existieren viele Schwarzbestände
	Gibt es Kennzahlen zur Ersatzteillogistik?	JA: NEIN: <input checked="" type="checkbox"/>
	Wie oft werden dies Kennzahlen erhoben?	nicht zutreffend
	Wozu werden diese Kennzahlen verwendet?	nicht zutreffend
	Auf wieviel % vom Anlagenbestand beläuft sich der Ersatzteilbestand?	Nicht Bekannt
	Wieviele Ersatzteile (Artikel, Teile) sind vorrätig?	Nicht Bekannt
	Welche Relevanz hat die Höhe des Ersatzteilbestandes in betriebswirtschaftlicher Hinsicht für Ihr Unternehmen	Gering: Mittel: Hoch: <input checked="" type="checkbox"/>
	Gibt es Optimierungsbemühungen bez. des Ersatzteilbestandes?	JA: <input checked="" type="checkbox"/> NEIN:
	Welche Optimierungsbemühungen sind dies?	Erfassung der Bestände im SAP, Zentrallisierung von Lägern, Auflösen der VOR-ORT nicht bestandsgeführten Schwarzläger, Unternehmensberater im Haus zu diesem Thema

Protokoll-Expertengespräch		
01.	Protokollnummer:	10
	Datum:	29.04.2016
02.	Unternehmen:	voestalpine Stahl Linz GmbH
	Branche:	Schwerindustrie
	Interviewpartner:	Hannes Prammer, Christian Weismayr
	Funktion im Unternehmen:	Kaufmännische und Technische Prozesse ; Materialwirtschaft und Devestition
	Zuständigkeiten im Unternehmen:	Ersatzteillogistik
03.	Frage:	Antwort:
	Wie ist die Ersatzteillogistik geregelt? (in- outsourcing, eigenes Lager)	14 eigene Läger übers Werksgelände verteilt, innerbetrieblicher Transport ist outgesourced
	Wem obliegt die organisatorische Verantwortung?	Eigene Abteilung Materialwirtschaft die mit Instandhaltung und Beschaffung zusammenarbeitet.
	Gibt es einen definierten Prozess zur Ersatzteillogistik?	JA: <input checked="" type="checkbox"/> NEIN:
	Werden Ersatzteile Bestandsgeführt, und wenn ja wie?	Ja im SAP Bestandsgeführt und Klassifiziert
	Gibt es Kennzahlen zur Ersatzteillogistik?	JA: <input checked="" type="checkbox"/> NEIN:
	Wie oft werden dies Kennzahlen erhoben?	Auf Monatsbasis aus SAP- BW
	Wozu werden diese Kennzahlen verwendet?	Zum steuern der Bestandshöhen, identifizieren der Ladenaüter; Report erfolgt quartalsmäßig an Vorstand und monatlich an Unternehmensbereichsleiter
	Auf wieviel % vom Anlagenbestand beläuft sich der Ersatzteilbestand?	Unbekannt da der Anlagenbestand unbekannt ist bei den Interviewpartnern
	Wieviele Ersatzteile (Artikel, Teile) sind vorrätig?	145 000 Artikel, Teileanzahl unbekannt (Gesamtvolumen ca. 150 mio. EUR)
	Welche Relevanz hat die Höhe des Ersatzteilbestandes in betriebswirtschaftlicher Hinsicht für Ihr Unternehmen	Gering: Mittel: <input checked="" type="checkbox"/> Hoch:
	Gibt es Optimierungsbemühungen bez. des Ersatzteilbestandes?	JA: <input checked="" type="checkbox"/> NEIN: Vorgabe: 1% vom Bestand jährlich zu reduzieren, bzw. 2% von der Fläche (85 000 m ² Lagerfläche)
	Welche Optimierungsbemühungen sind dies?	Entsorgung bzw. Vewertung von vorhandene Ersatzteilen, outsourcing der Bevorratung an Lieferanten mittels service contracts; Zuliefervorschriften

Protokoll-Expertengespräch		
01.	Protokollnummer:	11
	Datum:	02.05.2016
02.	Unternehmen:	BÖHLER Edelstahl GmbH & Co KG
	Branche:	Schwerindustrie
	Interviewpartner:	THORSTEN PICHLER
	Funktion im Unternehmen:	EWA - Anlagentechnik EW
	Zuständigkeiten im Unternehmen:	Instandhaltung-Walzlinie
03.	Frage:	Antwort:
	Wie ist die Ersatzteillogistik geregelt? (in- outsourcing, eigenes Lager)	Eigenbevorratung durch Instandhaltung im Werksbereich
	Wem obliegt die organisatorische Verantwortung?	Instandhaltung
	Gibt es einen definierten Prozess zur Ersatzteillogistik?	JA: NEIN: X (Nur als ein Prozessschritt im Instandhaltungsprozess)
	Werden Ersatzteile Bestandsgeführt, und wenn ja wie?	Teilweise im SAP bestandsgeführt, ansonsten graue und schwarze Bestände
	Gibt es Kennzahlen zur Ersatzteillogistik?	JA: X NEIN: Die Entwicklung des Umlaufvermögens aus dem Bestandsgeführten Materials, Inventurabweichung in % des Bestandes
	Wie oft werden dies Kennzahlen erhoben?	Bestandswert monatlich, Inventurabweichung einmal im Jahr
	Wozu werden diese Kennzahlen verwendet?	Zielvorgaben
	Auf wieviel % vom Anlagenbestand beläuft sich der Ersatzteilbestand?	~2,5%
	Wieviele Ersatzteile (Artikel, Teile) sind vorrätig?	3670 Artikel, 15 500 Teile
	Welche Relevanz hat die Höhe des Ersatzteilbestandes in betriebswirtschaftlicher Hinsicht für Ihr Unternehmen	Gering: X Mittel: Hoch:
	Gibt es Optimierungsbemühungen bez. des Ersatzteilbestandes?	JA: X NEIN:
	Welche Optimierungsbemühungen sind dies?	Projekt läuft seit drei Jahren im Sinne von Artikel Bestandsführen, Datenqualität im SAP verbessern, Dupletten aus dem Bestand zu filtern, Bestandshöhe zu optimieren

Protokoll-Expertengespräch	
01. Protokollnummer:	12
Datum:	09.05.2016
02. Unternehmen:	AMAG AG
Branche:	Schwerindustrie Aluminium- Halbzeuge
Interviewpartner:	Gerhard Vecera
Funktion im Unternehmen:	Leiter Einkauf + MAWI
Zuständigkeiten im Unternehmen:	
03. Frage:	Antwort:
Wie ist die Ersatzteillogistik geregelt? (in- outsourcing, eigenes Lager)	eigenes Zentrallager
Wem obliegt die organisatorische Verantwortung?	Leiter MAWI
Gibt es einen definierten Prozess zur Ersatzteillogistik?	JA: x NEIN:
Werden Ersatzteile Bestandsgeführt, und wenn ja wie?	ja, jeder Ersatzteil hat eine MatNr. im SAP und wird jährlich inventiert
Gibt es Kennzahlen zur Ersatzteillogistik?	JA: x NEIN:
Wie oft werden dies Kennzahlen erhoben?	monatlich
Wozu werden diese Kennzahlen verwendet?	Steuerung Bestand, Bonussystem zum einhalten Zielvorgaben bezüglich Bestandshöhe
Auf wieviel % vom Anlagenbestand beläuft sich der Ersatzteilbestand?	4% zu Anschaffungskosten
Wieviele Ersatzteile (Artikel, Teile) sind vorrätig?	ca. 35.000 Artikel
Welche Relevanz hat die Höhe des Ersatzteilbestandes in betriebswirtschaftlicher Hinsicht für Ihr Unternehmen	Gering: x Mittel: Hoch:
Gibt es Optimierungsmaßnahmen bez. des Ersatzteilbestandes?	JA: x NEIN:
Welche Optimierungsmaßnahmen sind dies?	Gleichteilanalyse, Ladenhütermanagement, Konsignationslager, risc assessment für Anlagen als Basis für Neuanlage Ersatzteile, Liefervereinbarungen mit Lieferanten

Protokoll-Expertengespräch		
01.	Protokollnummer:	13
	Datum:	17.05.2016
02.	Unternehmen:	Saarstahl AG
	Branche:	Schwerindustrie
	Interviewpartner:	René Sorg
	Funktion im Unternehmen:	Leiter Verkauf Walzdraht
	Zuständigkeiten im Unternehmen:	
	Rückmeldung bezüglich Anfrage:	Bei Saarstahl wird seit Jahren kein Kennzahlensystem mehr verwendet. Auch von Seiten unseres Einkaufs könnten nur Bruchteile der von Ihnen gewünschten Angaben zur Verfügung gestellt werden, so dass wir Ihnen hier leider nicht behilflich sein können.
03.	Frage:	Antwort: Interpretation gemäß Rückantwort
	Wie ist die Ersatzteillogistik geregelt? (in-outsourcing, eigenes Lager)	
	Wem obliegt die organisatorische Verantwortung?	
	Gibt es einen definierten Prozess zur Ersatzteillogistik?	JA: NEIN: X
	Werden Ersatzteile Bestandsgeführt, und wenn ja wie?	
	Gibt es Kennzahlen zur Ersatzteillogistik?	JA: NEIN: X
	Wie oft werden dies Kennzahlen erhoben?	
	Wozu werden diese Kennzahlen verwendet?	
	Auf wieviel % vom Anlagenbestand beläuft sich der Ersatzteilbestand?	
	Wieviele Ersatzteile (Artikel, Teile) sind vorrätig?	
	Welche Relevanz hat die Höhe des Ersatzteilbestandes in betriebswirtschaftlicher Hinsicht für Ihr Unternehmen	Gering: X Mittel: Hoch:
	Gibt es Optimierungsbemühungen bez. des Ersatzteilbestandes?	JA: NEIN: X
	Welche Optimierungsbemühungen sind dies?	

Protokoll-Expertengespräch		
01.	Protokollnummer:	14
	Datum:	23.05.2016
02.	Unternehmen:	Arcelor Mittal
	Branche:	Schwerindustrie
	Interviewpartner:	Dr. Kay Wiehler
	Funktion im Unternehmen:	Bereichsleiter techn. Dienste (IH, IT, Investitionen.)
	Zuständigkeiten im Unternehmen:	
03.	Frage:	Antwort:
	Wie ist die Ersatzteillogistik geregelt? (in-outsourcing, eigenes Lager)	Ersatzteile liegen bestandsgeführt im Lager der Instandhaltung, Konsignationslager für gängige Teile (C-Teile)
	Wem obliegt die organisatorische Verantwortung?	Instandhaltung (Disposition)
	Gibt es einen definierten Prozess zur Ersatzteillogistik?	JA: NEIN: <input checked="" type="checkbox"/> (Nur wie Ersatzteile im SAP angelegt werden und die Zutrittsregelung zum Ersatzteillager)
	Werden Ersatzteile Bestandsgeführt, und wenn ja wie?	SAP
	Gibt es Kennzahlen zur Ersatzteillogistik?	JA: <input checked="" type="checkbox"/> NEIN:
	Wie oft werden dies Kennzahlen erhoben?	Monatlich ausgewertet
	Wozu werden diese Kennzahlen verwendet?	Monatliches Reporting, Trendanalyse, Filtern von Abweichungen im Sinne von Lageraufbau
	Auf wieviel % vom Anlagenbestand beläuft sich der Ersatzteilbestand?	1%
	Wieviele Ersatzteile (Artikel, Teile) sind vorrätig?	7000 Artikeln, Teileanzahl unbekannt
	Welche Relevanz hat die Höhe des Ersatzteilbestandes in betriebswirtschaftlicher Hinsicht für Ihr Unternehmen	Gering: Mittel: Hoch: <input checked="" type="checkbox"/>
	Gibt es Optimierungsbemühungen bez. des Ersatzteilbestandes?	JA: <input checked="" type="checkbox"/> NEIN:
	Welche Optimierungsbemühungen sind dies?	Aktuell läuft Stammdatenrevision um Mehrortteile und Mehrzweckteile zusammenzufassen, Teilweise existieren noch nicht bestandsgeführten Vor Ort Lager die in Zukunft Bestandsführt werden

Protokoll-Expertengespräch		
01.	Protokollnummer:	15
	Datum:	02.08.2016
02.	Unternehmen:	VDM Metals
	Branche:	
	Interviewpartner:	Michael Domschke
	Funktion im Unternehmen:	Strategischer Einkauf
	Zuständigkeiten im Unternehmen:	1650 MA, 4 Werke
03.	Frage:	Antwort:
	Wie ist die Ersatzteillogistik geregelt? (in- outsourcing, eigenes Lager)	3 dezentrale eigene Lager mit eigenen Personal Bewirtschaftet (einschicht Betrieb mit Breitschaftsdienst) , verbunden durch ERP (SAP), Dupletten versuch zu eliminieren trotzdem Mehrortlagerung, interne Umlagerung, zentrale Disposition (1,5 Disponenten)
	Wem obliegt die organisatorische Verantwortung?	Dem Einkauf ist die MAWI unterstellt
	Gibt es einen definierten Prozess zur Ersatzteillogistik?	JA: <input checked="" type="checkbox"/> (Im Einkaufshandbuch) NEIN: Risikopriorisierung der Ersatzteile durch IH bezüglich Bestandsführung (Ja/Nein)
	Werden Ersatzteile Bestandsgeführt, und wenn ja wie?	JA im SAP, Klassifizierung in RTE, RTA, HIBE
	Gibt es Kennzahlen zur Ersatzteillogistik?	JA: <input checked="" type="checkbox"/> NEIN:
	Wie oft werden dies Kennzahlen erhoben?	Monatliche Reports (Erfolgt über Disponent und Leiter MAWI)
	Wozu werden diese Kennzahlen verwendet?	Bestandsoptimierung
	Auf wieviel % vom Anlagenbestand beläuft sich der Ersatzteilbestand?	schwankt zwischen 5% und 7%
	Wieviele Ersatzteile (Artikel, Teile) sind vorrätig?	ca. 20 000 Ersatzteile (Materialnummern), Verhältniss 1 zu 4 Materialnummern zu Teileanzahl
	Welche Relevanz hat die Höhe des Ersatzteilbestandes in betriebswirtschaftlicher Hinsicht für Ihr Unternehmen	Gering: Mittel: Hoch: <input checked="" type="checkbox"/>
	Gibt es Optimierungsbemühungen bez. des Ersatzteilbestandes?	JA: <input checked="" type="checkbox"/> NEIN:
	Welche Optimierungsbemühungen sind dies?	Bestandsoptimierung über Ladenhüterliste, Konsignationslager seitens Anlagenhersteller für neuere Anlagen