

Yannic Andreas Hafner

Methodik zur Implementierung eines kooperativen Ersatzteilmanagements



TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

TUM School of Engineering and Design

Methodik zur Implementierung eines kooperativen Ersatzteilmanagements

Yannic Andreas Hafner

Vollständiger Abdruck der von der TUM School of Engineering and Design
der Technischen Universität München

zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.)

genehmigten Dissertation.

Vorsitz: Prof. Dr.-Ing. Rüdiger Daub

Prüfer*innen der Dissertation:

1. Prof. Dr.-Ing. Johannes Fottner

2. Prof. Dr. Ralf Elbert

Die Dissertation wurde am 02.11.2022 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die TUM School of Engineering and Design am 11.04.2023 angenommen.

Herausgegeben von:

Prof. Dr.-Ing. Johannes Fottner

fml – Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik

Technische Universität München

Zugleich: Dissertation, München, Technische Universität München, 2023

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Wiedergabe auf fotomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben – auch bei nur auszugsweiser Verwendung – dem Autor vorbehalten. Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird auf die gleichzeitige Verwendung der Sprachformen männlich, weiblich und divers (m/w/d) verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichermaßen für alle Geschlechter.

Layout und Satz: Yannic Andreas Hafner

Copyright © Yannic Andreas Hafner, 2023

ISBN: 978-3-948514-28-0

Printed in Germany, 2023

Vorwort

Die vorliegende Dissertation ist das Ergebnis meiner Forschung als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik (fml) der Technischen Universität München. Neben zahlreichen Stunden der Recherche und Ausarbeitung ist diese Arbeit auch das Resultat vieler wertvoller Diskussionen, Anregungen und Anmerkungen. Daher möchte ich an dieser Stelle die Gelegenheit nutzen, um den daran beteiligten Personen zu danken.

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr.-Ing. Johannes Fottner für die Möglichkeit, das Forschungsgebiet der Technischen Logistik in einer innovativen und stets positiven Atmosphäre aktiv mitgestalten zu können. Durch seine Impulse und konstruktive Kritik sowie einem inspirierenden Freiraum konnte diese Arbeit Gestalt annehmen und ich mich sowohl fachlich als auch persönlich weiterentwickeln. Ich danke Herrn Prof. Dr. Ralf Elbert für die methodischen Denkanstöße und die Unterstützung als Zweitgutachter sowie Herrn Prof. Dr.-Ing. Rüdiger Daub für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes.

Des Weiteren möchte ich Herrn Dr.-Ing. Michael Brieke meinen Dank aussprechen, der mich während meiner Forschungszeit als Mentor meines Promotionsvorhabens begleitet und dieses mit professionellem sowie persönlichem Rat bereichert hat. Unser kontinuierlicher Diskurs hat mir neue Denkräume eröffnet und mich dabei unterstützt, die Arbeit zielgerichtet weiterzuentwickeln. Zudem danke ich insbesondere Markus Kohl und Andreas Habl für die vielfachen Reflexionsgespräche und ihr Korrekturlesen der Arbeit. Sie stehen stellvertretend für ein dynamisches und motivierendes Kollegium, für das ich sehr dankbar bin.

Zugleich habe ich durch meine Familie, Großfamilie und Freunde bedeutende Unterstützung erfahren und bin für ihre Begleitung sehr dankbar. Meinem Vater möchte ich zudem für das Korrekturlesen der Arbeit danken. Mein größter Dank gilt meiner Ehefrau Viktoria-Franziska, die mich durch ihre positive Energie und ihr offenes Ohr in unzähligen Gesprächen bestärkt und ermutigt hat. Ihr Lektorat, die wertvolle moralische Unterstützung und die erfrischenden Impulse ließen mich diese Arbeit erfolgreich fertigstellen, sodass ich erfüllt auf die zurückliegende Zeit blicke.

München, September 2023

Yannic Andreas Hafner

Kurzzusammenfassung

Zur Sicherstellung einer wettbewerbsfähigen Leistungserbringung müssen Unternehmen eine kontinuierliche und hohe Verfügbarkeit ihrer technischen Systeme anstreben. Das Ersatzteilmanagement erfüllt hierbei zentrale Aufgaben und fokussiert eine effiziente Bereitstellung der benötigten Ersatzteile, um eine Einsatzfähigkeit der Systeme garantieren zu können. Die hohen Anforderungen an das Ersatzteilmanagement resultieren in einer zumeist leistungsorientierten Ausgestaltung, bei der monetäre Optimierungen selten betrachtet werden. Vielmehr bevorraten die Unternehmen eine Vielzahl von Ersatzteilen mit herausfordernder unregelmäßiger und sporadischer Bedarfsscharakteristik, die zu erhöhten und teilweise obsoleten Ersatzteilbeständen führt. Durch den Einsatz eines kooperativen Ersatzteilmanagements können die erforderlichen Ersatzteilbestände und Kosten signifikant reduziert werden, wobei mögliche Potenziale aufgrund einer gesteigerten Komplexität und häufig fehlenden Kooperationserfahrung der Unternehmen bisher unzureichend genutzt und realisiert werden.

Die in der vorliegenden Arbeit entwickelte Methodik zur Implementierung eines kooperativen Ersatzteilmanagements begegnet den beschriebenen Herausforderungen. Die Methodik strukturiert den Prozess sowie die zu durchlaufenden Phasen von der Kooperationsidee bis zur erfolgreichen Implementierung und besteht aus vier Implementierungsphasen. Für diese Implementierungsphasen werden erforderliche Aufgaben abgeleitet sowie funktionale Module definiert. Die funktionalen Module ermöglichen eine Eignungsprüfung, Analyse der Ersatzteilbestände, Wirtschaftlichkeitsbewertung, strukturelle Kooperationsgestaltung und Incentivierung der Kooperationspartner. Die Implementierungsmethodik und die funktionalen Module befähigen somit interessierte Unternehmen, die Potenziale eines kooperativen Ersatzteilmanagements situationspezifisch zu bewerten und entsprechend realisieren zu können. Dabei wird sichergestellt, dass unternehmensindividuelle Rahmenbedingungen berücksichtigt werden und alle Kooperationspartner gleichermaßen profitieren.

Abschließend wird die Methodik im Rahmen einer fallstudienbasierten Evaluation im Bereich der Verkehrstechnik geprüft. Die Ergebnisse der Evaluation bestätigen die Anwendbarkeit, Funktionalität und Zielorientierung der Implementierungsmethodik, so dass die Forschungslücke als weitgehend geschlossen betrachtet werden kann.

Abstract

To ensure competitive performance, companies must strive for a continuous and high availability of their technical systems. For this purpose, spare parts management provides key functionalities and focuses on the efficient provision of necessary spare parts to guarantee the operational capability of the systems. The high requirements on spare parts management result in a mostly performance-oriented configuration, in which costs optimization is rarely taken into account. Instead, companies need to stock a large number of spare parts with challenging intermittent and sporadic demand characteristics, which leads to increased and partly obsolete spare parts inventories. The use of cooperative spare parts inventory pooling-systems can significantly reduce the required spare parts inventories and costs, although possible potentials have been insufficiently realized so far due to an increased complexity and lack of cooperation experience of the companies.

To address these challenges, a methodology for the implementation of cooperative spare parts inventory pooling-systems has been developed in this work. The methodology structures the process and the phases to be completed from the initial idea of cooperation to its successful implementation and consists of four implementation phases. For these implementation phases, required tasks are derived and functional modules are defined. The functional modules enable a basic aptitude examination, a spare parts inventory level analysis, an economic assessment, a structural cooperation design and an incentivization of the cooperation partners. The implementation methodology with the modules thus enables interested companies to evaluate and realize the potential of cooperative spare parts inventory pooling-systems according to their individual situation. This ensures that company-specific conditions are taken into account and that all cooperation partners benefit equally.

Finally, the methodology is tested using a case study-based evaluation in the field of traffic engineering. The results of the evaluation confirm the applicability, functionality and target orientation of the implementation methodology, allowing the research gap to be considered largely closed.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	XI
Notationsverzeichnis	XIII
1 Einleitung	1
1.1 Ausgangssituation	1
1.2 Problemstellung und Zielsetzung	2
1.3 Vorgehensweise und Aufbau der Arbeit	3
2 Stand der Wissenschaft und Technik	5
2.1 Grundlagen	5
2.1.1 Definitionen	5
2.1.2 Investitionsrechnung	7
2.2 Unternehmenskooperationen	8
2.2.1 Motivation und Herausforderungen	8
2.2.2 Strukturierung und Merkmale	9
2.2.3 Lebenszyklus und Entwicklungsphasen	11
2.2.4 Incentivierung und Erfolgsfaktoren	14
2.3 Individuelle Ersatzteilmanagementsysteme	17
2.3.1 Ausgestaltungsformen	17
2.3.2 Ersatzteilbewirtschaftung	19
2.3.3 Wirtschaftliches Potenzial	25
2.4 Kooperative Ersatzteilmanagementsysteme	27
2.4.1 Ausgestaltungsformen	27
2.4.2 Ersatzteilbewirtschaftung	29
2.4.3 Wirtschaftliches Potenzial	32
2.5 Zwischenfazit und Detaillierung der Forschungslücke	36
3 Methodik zur Implementierung eines kooperativen Ersatzteilmanagements	41
3.1 Spezifizierung des Betrachtungsgegenstands und grundsätzliche Anforderungen an die Methodik	41
3.1.1 Betrachtungsgegenstand	41
3.1.2 Anforderungen an die Methodik	42

3.2 Implementierungsphasen	44
3.2.1 Implementierungsphase 1: Definition	45
3.2.2 Implementierungsphase 2: Anbahnung	46
3.2.3 Implementierungsphase 3: Aufbau	47
3.2.4 Implementierungsphase 4: Dynamischer Betrieb	48
4 Module für ein kooperatives Ersatzteilmanagement	53
4.1 Integration der Module in die Implementierungsmethodik	53
4.2 Grundlegende Eignungsprüfung	54
4.2.1 Modulanforderungen	55
4.2.2 Vorgehen der Eignungsprüfung	57
4.2.3 Vorteile und Herausforderungen eines kooperativen Ersatzteilmanagements	58
4.2.4 Überprüfung unternehmens- und marktumfeldspezifischer Voraussetzungen	59
4.2.5 Zusammenfassung und kritische Modulreflexion	60
4.3 Analyse der Ersatzteilbestände	61
4.3.1 Modulanforderungen	61
4.3.2 Vorauswahl geeigneter Ersatzteile	63
4.3.3 Systembeschreibung	65
4.3.4 Modellierung	67
4.3.5 Implementierung	72
4.3.6 Zusammenfassung und kritische Modulreflexion	77
4.4 Wirtschaftlichkeitsbewertung	78
4.4.1 Modulanforderungen	78
4.4.2 Annahmen und Abgrenzungen	80
4.4.3 Auswirkungen auf Prozesse und Kosten in den Funktionsbereichen	81
4.4.4 Entwicklung eines Modells zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit	83
4.4.5 Gesamtkosten und Kosteneinsparungspotenzial	88
4.4.6 Sensitivität des Bewertungsmodells	89
4.4.7 Zusammenfassung und kritische Modulreflexion	90
4.5 Strukturelle Kooperationsgestaltung	91
4.5.1 Modulanforderungen	92
4.5.2 Annahmen und Abgrenzungen	93
4.5.3 Kooperationsmerkmale und Ausgestaltungskriterien	94
4.5.4 Definition grundlegender Ausgestaltungsformen	97

4.5.5	Strukturelle Prozessverantwortlichkeiten	100
4.5.6	Kriterien für die Auswahl einer Ausgestaltungsform	101
4.5.7	Zusammenfassung und kritische Modulreflexion	102
4.6	Incentivierungssystem	103
4.6.1	Modulanforderungen	103
4.6.2	Annahmen und Abgrenzungen	105
4.6.3	Monetäre Incentivierung	105
4.6.4	Nicht-monetäre Incentivierung	108
4.6.5	Zusammenfassung und kritische Modulreflexion	109
5	Fallstudienbasierte Evaluation der Implementierungsmethodik	111
5.1	Fallstudiendesign und Ausgangssituation	111
5.2	Datenerhebung	112
5.3	Anwendung und Analyse der Module in den Implementierungsphasen	114
5.3.1	Implementierungsphase 1: Definition	114
5.3.2	Implementierungsphase 2: Anbahnung	115
5.3.3	Implementierungsphase 3: Aufbau	123
5.3.4	Implementierungsphase 4: Dynamischer Betrieb	124
5.4	Komposition der Fallstudie	125
5.5	Zielerfüllung und kritische Diskussion der Forschungsergebnisse	127
6	Schlussbetrachtung	131
6.1	Zusammenfassung	131
6.2	Ausblick	133
	Literaturverzeichnis	137
	Publikationsverzeichnis	149
	Verzeichnis betreuter Studienarbeiten	151
	Abbildungsverzeichnis	153
	Tabellenverzeichnis	157
	Anhang A Parameterbestimmung für die Wirtschaftlichkeitsbewertung	A-1
	Anhang B Ergänzende Input-Daten für die fallstudienbasierte Evaluation	B-1

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
EPM	Equal Profit Method
ERP	Enterprise-Resource-Planning
ET	Ersatzteil
ETM	Ersatzteilmanagement
FCFS	First come, first served-Prinzip
fml	Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik
IT	Informationstechnik
KETM	Kooperatives Ersatzteilmanagement
MA	Mitarbeiter
MFOP	Maintenance Free Operating Period
UN	Unternehmen

Notationsverzeichnis

Symbol	Einheit	Bedeutung
β	-	Weibull-Formparameter
C_{A,K_j}	€	Administrationskosten für ein Unternehmen des KETM
C_{B,E_j}	€	Beschaffungskosten für ein individuelles ETM
C_{B,K_j}	€	Beschaffungskosten für ein Unternehmen des KETM
C_{Ges,E_j}	€	Gesamtkosten für ein individuelles ETM
C_{Ges,K_j}	€	Gesamtkosten für ein Unternehmen des KETM
C_{L,E_j}	€	Lagerkosten für ein individuelles ETM
C_{L,K_j}	€	Lagerkosten für ein Unternehmen des KETM
$C_{Personal}$	€/MA	Personalkosten je Mitarbeiter
C_{T,K_j}	€	Transportkosten für ein Unternehmen des KETM
$C_{Transport}$	€/Lieferung	Transportkosten je Lieferung
η	-	Weibull-Skalenparameter
ET_i	-	Spezifische Ersatzteilbezeichnung
$f_{B,M}$	-	Parameter verbesserter Marktmacht
f_{B,NK,E_j}	-	Parameter der Beschaffungsnebenkosten für ein individuelles ETM
$f_{B,NK,KETM}$	-	Parameter der Beschaffungsnebenkosten des KETM
f_{B,O,E_j}	-	Parameter der Obsoleszenzkosten für ein individuelles ETM
$f_{B,O,KETM}$	-	Parameter der Obsoleszenzkosten des KETM
$f_{B,V}$	-	Parameter für ein erhöhtes Einkaufsvolumen

f_{IT}	-	Parameter der IT-Kosten
f_{L,A,E_j}	-	Parameter der alterungsbedingten Wertminderungskosten für ein individuelles ETM
$f_{L,A,KETM}$	-	Parameter der alterungsbedingten Wertminderungskosten des KETM
f_{L,E_j}	-	Parameter der Lagerkosten für ein individuelles ETM
$f_{L,KETM}$	-	Parameter der Lagerkosten des KETM
f_{L,NK,E_j}	-	Parameter der Lagernebenkosten für ein individuelles ETM
$f_{L,NK,KETM}$	-	Parameter der Lagernebenkosten des KETM
f_{L,O,E_j}	-	Parameter der Opportunitätskosten für ein individuelles ETM
$f_{L,O,KETM}$	-	Parameter der Opportunitätskosten des KETM
f_{L,V,E_j}	-	Parameter der Versicherungskosten für ein individuelles ETM
$f_{L,V,KETM}$	-	Parameter der Versicherungskosten des KETM
f_{L,Z,E_j}	-	Parameter der Zinskosten für ein individuelles ETM
$f_{L,Z,KETM}$	-	Parameter der Zinskosten des KETM
γ	-	Ausfallfreie Zeit
n_{ET_i}	-	Anzahl der je Unternehmen des KETM eingesetzten Maschinenteile, für die das spezifische Ersatzteil vorgehalten wird
n_{ET_i,B,E_j}	-	Bedarf des individuellen ETM für das Ersatzteil
n_{ET_i,B,K_j}	-	Bedarf des Unternehmens des KETM für das Ersatzteil
$n_{ET_i,B,KETM}$	-	Bedarf des KETM für das Ersatzteil

n_{ET_i,L,E_j}	-	Lagerbestand des individuellen ETM für das Ersatzteil
$n_{ET_i,L,KETM}$	-	Lagerbestand des KETM für das Ersatzteil
$n_{ET_i,L,U,KETM}$	-	Zu untersuchender Lagerbestand des KETM für das Ersatzteil
n_K	-	Anzahl Unternehmen des KETM
n_L	-	Anzahl Lager des KETM
$n_{Personal}$	-	Anzahl notwendiger Mitarbeiter
$n_{Transport,K_i}$	-	Anzahl notwendiger Transporte für ein Unternehmen des KETM
P_{ET_i}	€	Preis des Ersatzteils
S_{K_j}	€	Einsparungen für ein Unternehmen des KETM
S_{KETM}	€	Gesamteinsparungen des KETM
SG_Z	-	Angestrebter Ziel-Servicegrad
t_B	h	Akzeptierte Bereitstellzeit
$t_{L,KETM}$	h	Lieferzeit einer kooperationsinternen Lieferung zwischen zwei Unternehmen
$t_{L,NB}$	h	Lieferzeit einer Notfallbestellung vom Ersatzteillieferanten
t_{WB}	h	Wiederbeschaffungszeit eines nachbestellten Ersatzteils vom Ersatzteillieferanten
w_{B,K_j}	-	Bedarfsverhältnis

1 Einleitung

In diesem Kapitel wird zunächst die Ausgangssituation der vorliegenden Arbeit skizziert (Abschnitt 1.1), um darauf aufbauend die Problemstellung und das übergeordnete Forschungsziel herauszuarbeiten (Abschnitt 1.2). Anschließend werden die daraus abgeleitete Vorgehensweise und der Aufbau der Arbeit erläutert (Abschnitt 1.3).

1.1 Ausgangssituation

Unternehmen sehen sich heutzutage mit zunehmend anspruchsvolleren Kundenanforderungen in einem dynamischen und globalen Marktumfeld konfrontiert [Abe-2006, S. 1]. Die Kunden fordern kürzere Innovationszyklen für verstärkt individualisierte Produkte bei einer gleichzeitig verringerten Zahlungsbereitschaft [Mou-2016, S. 1 f]. Als Reaktion darauf müssen die Unternehmen nicht nur die Komplexität der Herstellung hochgradig individualisierter Produkte zu annähernd gleichen Bedingungen wie für standardisierte Serienartikel bewältigen, sondern auch eine größere Anzahl an Maschinen und Werkzeugen vorhalten, um flexible und robuste Produktionsprozesse zu ermöglichen [Tii-2017, S. 2]. Die Unternehmen sind daher einem erhöhten Kostendruck ausgesetzt, auf den sie sinnvoll reagieren müssen. Um angesichts dessen eine effiziente Wertschöpfung und Leistungserbringung sicherstellen zu können, ist insbesondere eine hohe Verfügbarkeit der Maschinen und technischen Systeme mit geringen Ausfallzeiten notwendig [Abe-2006, S. 1 f].

Das Ersatzteilmanagement erfüllt dabei eine Schlüsselfunktion. Es fokussiert eine wirtschaftliche Bereitstellung der für den Betrieb der technischen Systeme erforderlichen Ersatzteile [Bie-2008, S. 6]. Die Verfügbarkeit der Ersatzteile im Bedarfsfall ist systemrelevant, da sie beispielsweise die Produktionsfähigkeit der Unternehmen gewährleistet und hohe Produktionsausfall- und Folgekosten bestenfalls verhindert, indem eine präventive Wartung oder umgehende reaktive Instandsetzung der technischen Systeme ermöglicht wird [Bie-2008, S. 6 f]. Ansonsten können in Abhängigkeit der Branche Produktionsausfallkosten von mehreren 10.000 Euro je Stunde anfallen [Kra-2006, S. 17 f]. Um diese Risiken und deren Konsequenzen zu verringern ist das Ersatzteilmanagement zumeist leistungsorientiert ausgestaltet und monetäre Optimierungen werden unzureichend betrachtet [Bec-2000, S. 36 ff]. Viele Unternehmen suchen in diesem Spannungsfeld daher verstärkt nach neuen Konzepten im Ersatzteilmanagement, um die erforderlichen Kosten zu senken,

gleichzeitig jedoch die notwendige Verfügbarkeit der technischen Systeme sicherstellen zu können [Wae-2002, S. 299].

1.2 Problemstellung und Zielsetzung

Wie eingangs dargelegt, stellt das Ersatzteilmanagement zentrale Unternehmensfunktionen bereit. Eine effiziente Ausgestaltung des Ersatzteilmanagements bietet ein hohes Kosteneinsparungspotenzial, ist für die Unternehmen jedoch herausfordernd und wird aufgrund einer Fokussierung direkt wertschöpfender Prozesse zumeist nicht ausreichend berücksichtigt [Hol-2008, S. 3]. Zur Sicherstellung der geforderten Verfügbarkeit der technischen Systeme nutzen viele Unternehmen ein individuelles Betreiber-Ersatzteilmanagement mit einer eigenständigen Ersatzteilbevorratung. Eine Vielzahl der zu bevorratenden Ersatzteile weist dabei einen sporadischen und schwierig prognostizierbaren Bedarf auf, weshalb die komplexe Berechnung in zumeist erhöhten und obsoleten Ersatzteilbeständen mit einer signifikanten Kapitalbindung und hohen Kosten resultiert [Kuk-2001, S. 1371 f]. Als Alternative werden bei einem Fremdfirmen-Ersatzteilmanagement einzelne oder alle Funktionen des Ersatzteilmanagements an externe Unternehmen ausgelagert, die die entsprechende Leistung erbringen. Dazu müssen mehrere umfangreiche Serviceverträge mit einem damit einhergehenden Knowhow-Verlust und einer verstärkten Fremdfirmenabhängigkeit abgeschlossen werden [Mo-2020, S. 3049 ff]. Beide Ausgestaltungsvarianten sind für die Unternehmen äußerst kostenintensiv. So fallen beispielsweise allein für die Beschaffung der erforderlichen Ersatzteile jährlich bis zu 2,5 Prozent des Kaufpreises des technischen Systems an [Gal-2005, S. 1].

Zur Erhöhung der Effizienz einzelner Unternehmensprozesse stellen Unternehmenskooperationen aufgrund der damit einhergehenden Synergieeffekte eine vielversprechende Möglichkeit dar [Fri-2009, S. 60 f]. Durch das Eingehen von Kooperationen können Unternehmen insbesondere in den Bereichen Entwicklung, Einkauf, Produktion und Service signifikante Kostenreduktionen erzielen [Elm-2001, S. 206 f]. Daher sind Sharing-Konzepte und kooperative Ansätze im Ersatzteilmanagement als aussichtsreiche Methode anerkannt, um erforderliche Kosten zu senken und die geforderte Ersatzteilverfügbarkeit weiterhin sicherstellen zu können [Haa-2010, S. 264]. Erste erfolgreiche Umsetzungen kooperativer Ersatzteilmanagementsysteme existieren beispielsweise in der Luftfahrtindustrie und im Energiesektor [Gu-2015, S. 1 ff; Gua-2015a, S. 220 ff]. Dennoch werden die Potenziale bisher nur unzureichend genutzt und entsprechende Synergieeffekte nicht realisiert [Kin-2000, S. 12]. Mögliche Gründe sind dabei insbesondere die zumeist fehlende Kooperationserfahrung der Unternehmen, eine erhöhte Komplexität sowie der schwer abschätzbare personelle und

finanzielle Aufwand für den Aufbau und Betrieb der Kooperation [Bec-2011, S. 30; Kno-2009, S. 2].

Für eine effiziente Ausgestaltung des Ersatzteilmanagements sollen die Kostenreduktionspotenziale kooperativer Ersatzteilmanagementsysteme für interessierte Unternehmen realisierbar werden. Das übergeordnete Forschungsziel der vorliegenden Arbeit ist daher die

Entwicklung einer Methodik zur Implementierung eines kooperativen Ersatzteilmanagements,

welche die erforderlichen Lebenszyklus- und Entwicklungsphasen bis zur erfolgreichen Implementierung der Kooperation strukturiert, potenzielle Implementierungshemmnisse reduziert sowie dazu notwendige phasenspezifische Aufgaben und Module entwickelt und integriert.

1.3 Vorgehensweise und Aufbau der Arbeit

Um das übergeordnete Forschungsziel zu erreichen, gliedert sich die vorliegende Arbeit in sechs Kapitel. Den Aufbau der Arbeit visualisiert Abbildung 1-1.

In **Kapitel 2** wird der aktuelle Stand der Wissenschaft und Technik analysiert. Dazu werden zunächst erforderliche Grundlagen dargestellt. Anschließend werden die einzelnen Themenbereiche Unternehmenskooperationen, Individuelle Ersatzteilmanagementsysteme und Kooperative Ersatzteilmanagementsysteme beschrieben. Die Erläuterung und Analyse der Themenbereiche im Stand der Wissenschaft und Technik bildet den Rahmen zur Detaillierung der Forschungslücke und zur Ableitung der jeweiligen Teilforschungsziele.

Die Methodik zur Implementierung eines kooperativen Ersatzteilmanagements wird in **Kapitel 3** erarbeitet. Dazu wird zunächst der Betrachtungsgegenstand spezifiziert und es werden Anforderungen an die Implementierungsmethodik abgeleitet. Anschließend werden die Phasen bis zum erfolgreichen Betrieb der Kooperation inklusive der in den jeweiligen Phasen durchzuführenden Aufgaben und benötigten Module strukturiert und erläutert. Das Kapitel ist somit die Grundlage zur Entwicklung der einzelnen Module.

Anhand der zu durchlaufenden Phasen wird in **Kapitel 4** zunächst die Integration der benötigten Module in die Implementierungsmethodik dargestellt. Anschließend werden

in den nachfolgenden Abschnitten die insgesamt fünf Module detailliert. Dazu ist jeweils eine Definition der Modulanforderungen erforderlich, um die Module entwickeln und deren Funktionalität beschreiben zu können. Die einzelnen Abschnitte schließen mit einer Zusammenfassung.

Darauf aufbauend wird in **Kapitel 5** eine fallstudienbasierte Evaluation der Implementierungsmethodik durchgeführt, um deren Anwendbarkeit, Funktionalität und Zielorientierung sicherzustellen. Zunächst werden das Fallstudiendesign und die Ausgangssituation beschrieben. Anschließend werden relevante Datenquellen identifiziert und ein Vorgehen für die Datenerhebung erläutert, bevor die Module in den Implementierungsphasen angewendet und analysiert werden. Weiterhin wird in der Komposition dargestellt, inwiefern die Methodik die eingangs definierten Anforderungen erfüllt. Abschließend werden die Forschungsergebnisse sowie die Zielerfüllung kritisch diskutiert.

In **Kapitel 6** werden die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zusammengefasst und es wird ein Ausblick auf anknüpfende und mögliche zukünftig zu bearbeitende Themenfelder gegeben.

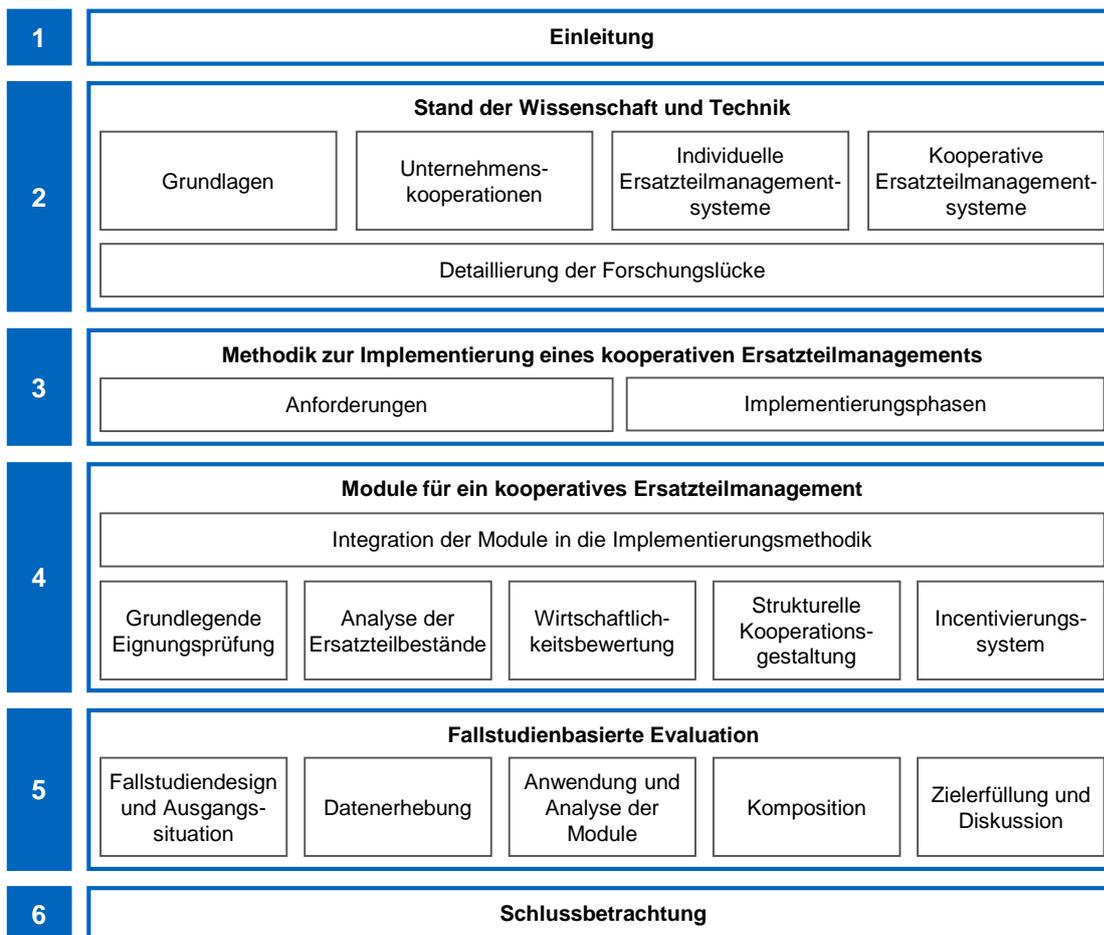


Abbildung 1-1: Aufbau der Arbeit

2 Stand der Wissenschaft und Technik

Im folgenden Kapitel wird der für die Arbeit relevante Stand der Wissenschaft und Technik erarbeitet und dargestellt. Dazu werden zunächst grundlegende Begrifflichkeiten und Verfahren erläutert (Abschnitt 2.1), bevor der Forschungsstand zu Unternehmenskooperationen herausgearbeitet wird (Abschnitt 2.2). Anschließend werden individuelle Ersatzteilmanagementsysteme (Abschnitt 2.3) und kooperative Ersatzteilmanagementsysteme (Abschnitt 2.4) beschrieben. Das Kapitel schließt mit einem Zwischenfazit und der Detaillierung der Forschungslücke, wodurch das Forschungsziel präzisiert und Teilforschungsziele abgeleitet werden können (Abschnitt 2.5).

2.1 Grundlagen

Zur Sicherstellung eines einheitlichen Verständnisses werden in Unterabschnitt 2.1.1 zunächst grundlegende Begriffe definiert, bevor anschließend die Investitionsrechnung in Unterabschnitt 2.1.2 beschrieben wird.

2.1.1 Definitionen

Im Kontext der Arbeit werden zunächst die Begriffe Ersatzteil und Ersatzteilmanagement erläutert.

Ersatzteil

Der Begriff Ersatzteil beschreibt nach gültiger DIN-Norm „*Teile (z. B. auch Einzelteile genannt), Gruppen (z. B. auch Baugruppen und Teilegruppen genannt) oder vollständige Erzeugnisse, die dazu bestimmt sind, beschädigte, verschlissene oder fehlende Teile, Gruppen oder Erzeugnisse zu ersetzen*“ [DIN-24420-1, S. 1]. Im Bereich der Instandhaltung untergliedert die DIN-Norm 13306 Ersatzteile zusätzlich in Reserveteile, die Objekte für den Austausch einer spezifischen Ausrüstung beschreiben und Sicherungs-Ersatzteile, die während der Nutzungsdauer des Objekts zumeist nicht verwendet werden, jedoch unverhältnismäßig lange Funktionsausfälle aufgrund ihrer Beschaffungsdauer bedingen würden [DIN-13306, S. 14]. Biedermann wiederum klassifiziert Ersatzteile in [Bie-2008, S. 3]:

- Reserveteile: einem oder mehreren Systemen zugeordnet, niedrige Bestände bei hohem Bestandwert

- Verbrauchsteile: keine wirtschaftliche Instandsetzung möglich, Lebensdauer besser prognostizierbar als für Reserveteile
- Kleinteile: zumeist genormt und geringe Werthaltigkeit, hohe Bestände und niedriger Bestandwert

Im Rahmen der Arbeit umfasst der Begriff Ersatzteil alle dargestellten Klassifikationen und Differenzierungen. Es wird vorausgesetzt, dass es sich bei den betrachteten Ersatzteilen um Originalersatzteile handelt, die die geforderten technischen Anforderungen erfüllen und vom Hersteller des technischen Systems oder einem autorisierten Ersatzteillieferanten bereitgestellt werden.

Für Ersatzteile werden üblicherweise unterschiedliche Kennzahlen erfasst. Eine entscheidende und gängige Kennzahl ist der durchschnittliche Servicegrad je Ersatzteil. Dieser beschreibt nach *Biedermann* den Anteil der Ersatzteilbedarfsmeldungen, die direkt aus dem entsprechenden Bestand bereitgestellt werden können [Bie-2008, S. 90]:

$$\text{Servicegrad} = \frac{\text{Anzahl sofort bedienter Anforderungen}}{\text{Anzahl der Anforderungen}} \quad (2-1)$$

Ersatzteilmanagement

Das Ersatzteilmanagement fokussiert die wirtschaftliche Bereitstellung von Ersatzteilen, um technische Systeme betriebsbereit halten zu können [Bie-2008, S. 6]. Es strebt die Sicherstellung einer kostenoptimalen Versorgung mit den für die Reparatur benötigten Ersatzteilen an, wofür insbesondere die Einkaufskosten reduziert werden sollen [Coe-2004, S. 98]. Hauptaufgabe des Ersatzteilmanagements ist dementsprechend das Erreichen eines ersatzteilwirtschaftlichen Optimums, bei dem kontinuierlich eine Minimierung der Ersatzteilbestände zur Reduktion der Einkaufs- und Lagerhaltungskosten gegenüber einer Verringerung der Ausfallzeiten und -kosten bei einer erhöhten Ersatzteilbevorratung bewertet werden [Bie-2008, S. 7].

Das Ersatzteilmanagement ist folglich ein herausfordernder Spezialfall des Lagermanagements mit insbesondere vier Merkmalen [Hu-2018, S. 395]:

- Schwierige Ersatzteilbedarfsplanung aufgrund intermittierender Nachfragemuster
- Betrachtung einer Vielzahl von Ersatzteilen, die teilweise unterschiedliche Bevorratungsstrategien erfordern

- Bewertung gegensätzlicher Zielparameter: hohe Bestände und Bevorratungskosten oder erhöhtes Risiko für Systemausfälle und Ausfallkosten
- Bereitstellung einsatzkritischer und systemrelevanter Ersatzteile als zwingende Voraussetzung für eine nachfolgende Instandhaltung

Die konkrete Ausgestaltung und Gewichtung der Teilziele im Ersatzteilmanagement (Minimierung der Ersatzteilbestände und Verringerung der Ausfallzeiten) muss daher von den einzelnen Unternehmen anwendungsfallspezifisch definiert werden.

2.1.2 Investitionsrechnung

Verfahren der Investitionsrechnung ermöglichen die Bewertung der wirtschaftlichen Vorteilhaftigkeit einer Investition. Dies ist erforderlich, weil Investitionen für Unternehmen eine hohe strategische Bedeutung aufweisen und dementsprechend langfristige Auswirkungen auf das Unternehmen haben. Eine Investitionsrechnung ermöglicht einen Vergleich von Entscheidungsalternativen, indem sie die Zusammenhänge quantifizierbarer Einflussgrößen modelliert und die jeweiligen Gesamtkosten ermittelt. Die Verfahren der Investitionsrechnung können in statische und dynamische Verfahren untergliedert werden. Statische Verfahren werden durch eine einperiodige Betrachtung charakterisiert, die Durchschnittswerte der einzelnen Einflussgrößen berücksichtigt. Demgegenüber erfassen dynamische Verfahren die Kosten und Einflussgrößen für alle Perioden bis zum Ende der jeweiligen Nutzungsdauer. [Bec-2018a, S. 35 ff]

Ein gängiges statisches Investitionsrechnungsverfahren ist die **Kostenvergleichsrechnung**. Diese ermittelt als Zielgröße die Gesamtkosten der Entscheidungsalternativen unter der Prämisse eines identischen Ertrags. Die Kostenvergleichsrechnung berücksichtigt insbesondere folgende Kostenarten [Göt-2008, S. 51]:

- Personalkosten
- Materialkosten
- Abschreibungen
- Zinsen
- Gebühren
- Kosten für Fremdleistungen

Für die einzelnen Kosten der Entscheidungsalternative werden Durchschnittswerte für die betrachtete Periode ermittelt und anschließend die monetären Zusammenhänge modelliert. Als Ergebnis können die Gesamtkosten der einzelnen Entscheidungsalternativen gegenübergestellt und die Alternative ausgewählt werden, welche die geringsten Kosten verursacht. [Göt-2008, S. 50 ff]

2.2 Unternehmenskooperationen

Im aktuellen Abschnitt werden Unternehmenskooperationen beschrieben. Dazu werden in Unterabschnitt 2.2.1 zunächst Motive und Herausforderungen von Kooperationen und in Unterabschnitt 2.2.2 Kooperationsstrukturen und -merkmale erläutert. Anschließend werden der Lebenszyklus und die Entwicklungsphasen in Unterabschnitt 2.2.3 und Incentivierungsmaßnahmen sowie Erfolgsfaktoren in Unterabschnitt 2.2.4 aufgezeigt.

2.2.1 Motivation und Herausforderungen

Eine Unternehmenskooperation beschreibt eine Form der strukturierten Zusammenarbeit zwischen mindestens zwei Unternehmen zur gemeinsamen Bewältigung individueller Aufgaben und Ziele [Hol-2004, S. 259]. Die Unternehmen agieren dabei in allen Funktionsbereichen, die nicht Gegenstand der Kooperation sind, weiterhin eigenständig [Hol-2004, S. 259]. Aufgrund der Globalisierung und digitaler Kommunikationsmöglichkeiten zur Vernetzung sind Unternehmenskooperationen zunehmend im Fokus der Betrachtung [Zen-2003, S. 823]. Mögliche Vorteile sind insbesondere eine Kostenreduktion in den Funktionsbereichen Entwicklung, Einkauf, Produktion und Service [Elm-2001, S. 206 f]. Dazu werden relevante Geschäftsprozesse so angepasst und aufeinander abgestimmt, dass deutliche Effizienz- und Effektivitätssteigerungen erzielt werden können [Fri-2009, S. 60 f]. Weiterhin können Unternehmen durch Kooperationen erforderliche Fähigkeiten, Kenntnisse und Fertigkeiten erwerben, um auch in einem zunehmend dynamischen Marktumfeld wettbewerbsfähige Technologien und Produkte entwickeln zu können [Bec-2018, S. 22; Par-2004, S. 168].

Neben möglichen Kosteneinsparungen und dem Zugang zu erforderlichen Kompetenzen, werden in der Literatur weitere Beweggründe für Unternehmenskooperationen beschrieben. So zeigt *Jansen* eine positive Risikoreduzierung aufgrund der Möglichkeit einer verstärkten Fokussierung auf die eigentlichen Unternehmenskernkompetenzen und einer Risikoverteilung auf die kooperierenden Unternehmen auf [Jan-2016, S. 224]. *Wrona und Schell* ergänzen, dass Kooperationen den Zugang zu bereits verfügbaren Ressourcen und strategisch relevanten Märkten sicherstellen und eine Verbesserung von Machtverhältnissen im Sinne einer positiven Einflussnahme auf das Marktgeschehen bewirken können [Wro-2003, S. 319 ff]. Zusätzlich können eine Stärkung der Innovationsfähigkeit, eine Erhöhung der Prozess- und Produktqualität und eine Senkung der Produktentwicklungszeiten erreicht werden [Sie-2010, S. 16 ff].

Kooperationen bieten dementsprechend vielversprechende Chancen für die einzelnen Unternehmen, dennoch werden die vorteilhaften Effizienz- und Synergiepotenziale

häufig nicht ausgeschöpft [Kin-2000, S. 12]. Als mögliche Gründe werden insbesondere die mit Kooperationen einhergehende erhöhte Komplexität und der zusätzliche personelle und finanzielle Aufwand für deren Realisierung angeführt [Bec-2011, S. 30; Kno-2009, S. 2]. Weiterhin verfügen die Unternehmen meist über wenig Erfahrung und besitzen nicht die erforderlichen Managementfähigkeiten [Kno-2009, S. 2]. Zudem werden psychologische Barrieren aufgrund der Gefahr einer unzureichenden Verlässlichkeit der Kooperationspartner und einer verstärkten Abhängigkeit als herausfordernd angesehen [Bec-2011, S. 30; Kno-2009, S. 2]. Speziell eine häufig anzutreffende Asymmetrie der Unternehmenskulturen kann dies negativ verstärken [Gut-1995, S. 227]. Zudem birgt eine externe Initiierung der Kooperation die Gefahr, dass sich die beteiligten Unternehmen und deren Mitarbeiter nicht ausreichend mit dem Vorhaben identifizieren und dieses unzureichend unterstützen [Für-1999, S. 56]. Um diesem fehlenden gegenseitigen Vertrauen der Kooperationspartner entgegenzuwirken, empfiehlt sich eine aktive Beteiligung und verbindliche Einbindung des Personals und der erforderlichen Ressourcen [Bec-2011, S. 29; Für-1999, S. 55]. So beschreibt *Holtbrügge* die Notwendigkeit einer klaren Definition der Aufgaben und Verpflichtungen, um eine offene Diskussionskultur und vertrauensvolle Zusammenarbeit zu ermöglichen, die letztendlich das Erfolgspotenzial der Kooperation deutlich erhöhen [Hol-2004, S. 272].

2.2.2 Strukturierung und Merkmale

Die Literaturrecherche hat gezeigt, dass eine verbindliche Definition der Kooperationsstruktur und entsprechender kooperativer Aufgaben und Ressourcen erforderlich ist (Unterabschnitt 2.2.1). Forschungsgegenstand zahlreicher Arbeiten sind daher Ansätze zur Klassifikation von Kooperationen, wobei eine Vielzahl von Typologierungsansätzen existieren [Syd-2010, S. 379].

Rößl entwickelt eine Morphologie zur Charakterisierung und Definition von Kooperationen, die folgende Abgrenzungsdimensionen umfasst:

- Selbstständigkeit der Kooperationspartner
- Freiwilligkeit der Zusammenarbeit
- Koordination und Verhandlung/Abmachung
- Kooperationsziele
- Motivation zur Kooperation

Die **Selbstständigkeit** der Kooperationspartner beschreibt das Verhältnis und die Integration der einzelnen Unternehmen in die Kooperation, ohne die Trägerschaft der

Unternehmen zu verändern. Demgegenüber soll die **Freiwilligkeit** der Zusammenarbeit bestenfalls die Kooperation als zieloptimale Entscheidungsalternative sicherstellen. Eine zentrale Abgrenzungsdimension ist die **Koordination**, die organisationsexterne Beziehungen und kooperative Abstimmungsprozesse festlegt. Kooperationen werden darüber hinaus durch vereinbarte **Kooperationsziele** und unterschiedliche **Motivationen** spezifiziert, wobei insbesondere eine Orientierung am Eigennutzen vermieden werden sollte. [Röß-1994, S. 42 ff]

Eine weitere Klassifizierung nach *Killich* umfasst insgesamt sieben Merkmale und entsprechende Merkmalsausprägungen von Kooperationen, anhand derer diese charakterisiert werden können (Tabelle 2-1).

Tabelle 2-1: Merkmale von Unternehmenskooperationen (in Anlehnung an [Kil-2011, S. 18])

Kooperationsmerkmal	Ausprägung					
Richtung	horizontal		vertikal		diagonal	
Ausdehnung	lokal	regional	national		global	
Zeitdauer	temporär			unbegrenzt		
Zielidentität	redistributiv			reziprok		
Kooperierende Abteilungen	F&E	Vertrieb	Einkauf	Marketing	Produktion	Sonstige
Bindungsintensität	gering		moderat		hoch	
Verbindlichkeit	Absprache		Vertrag		Kapitalbeteiligung	

Die **Richtung** der Kooperation definiert die Wertschöpfungsstufe und Wirtschaftsbranche der Kooperationspartner. Eine horizontale Kooperation umfasst Unternehmen derselben Branche und Wertschöpfungsstufe. Unterscheidet sich die Wertschöpfungsstufe bei gleichbleibender Branche, handelt es sich um eine vertikale Kooperation. Bei einer diagonalen Richtung agieren die Unternehmen sowohl auf einer unterschiedlichen Wertschöpfungsstufe als auch in einer anderen Branche. Abhängig von der Zielsetzung der Kooperation, kann deren räumliche **Ausdehnung** von einer lokalen bis zu einer globalen Kooperation variieren. Die **Zeitdauer** der Zusammenarbeit kann begrenzt (temporär) oder unbegrenzt sein. Eine temporäre Zeitdauer kann jedoch ein opportunistisches Verhalten der Kooperationspartner gegen Ende der Kooperation verstärken. Ein weiteres Merkmal ist die **Zielidentität**, die sich abhängig davon definiert, ob die Unternehmen das selbe Ziel (redistributiv) oder unterschiedliche Ziele (reziprok) durch den kooperativen Austausch von Leistungen erreichen möchten. Die Unternehmen müssen ebenfalls vereinbaren, welche **Abteilungen** Teil der Kooperation sind. Dabei können sie eine unterschiedlich ausgeprägte **Bindungsintensität** vereinbaren. Diese kann von einem Informations- und Erfahrungsaustausch (gering), einer

Abstimmung von einzelnen (moderat) oder allen Aufgaben (hoch) geprägt sein. Abschließend beschreibt die **Verbindlichkeit** der Kooperation, ob die Unternehmen die Kooperation auf Basis einer mündlichen Absprache, eines schriftlichen Vertrags oder einer Kapitalbeteiligung fixieren. [Kil-2011, S. 18 ff]

In einem weiteren Beitrag formulieren *Klint und Sjöberg* insgesamt acht Merkmale für Unternehmenskooperationen:

- Komplementarität
- Anzahl kooperierender Unternehmen
- Unternehmensgröße
- Region
- Formalität
- Soziale Struktur
- Produktkomplexität
- Kooperationsbereich

Während einige der dargestellten Merkmale (Komplementarität, Region, Formalität und Kooperationsbereich) mit den Kooperationsmerkmalen von *Killich* korrespondieren, werden diese zusätzlich ergänzt durch unternehmens- und produktspezifische Attribute. So berücksichtigt die soziale Struktur unterschiedliche geografische Einflüsse und lokale, regionale oder landesspezifische Gewohnheiten. Des Weiteren umfasst die Produktkomplexität sowohl technische Produkte als auch Dienstleistungen, die abhängig von ihrer jeweiligen Komplexität die Kooperationsbeziehung beeinflussen und zur Charakterisierung der Kooperation verwendet werden können. [Kli-2003, S. 416 ff]

2.2.3 Lebenszyklus und Entwicklungsphasen

Die dargestellten Ansätze zur Klassifikation von Kooperationen stellen ein einheitliches Verständnis über die Kooperationsidee sicher und bieten einen Rahmen für die erforderliche Struktur- und Prozessdefinition der Kooperation (Unterabschnitt 2.2.1 und 2.2.2). Zusätzlich ist der Kooperationsprozess von entscheidender Bedeutung, um die Kooperation erfolgreich aufbauen und weiterentwickeln zu können [Das-2002, S. 726; How-2011, S. 23]. Daher werden in der Literatur verschiedene Entwicklungsphasen identifiziert, dem Lebenszyklus von Kooperationen zugeordnet und entsprechende Lebenszyklusmodelle abgeleitet [Bec-2018b, S. 25]. In Tabelle 2-2 sind ausgewählte Lebenszyklusmodelle von Kooperationen dargestellt. Die jeweiligen Entwicklungsphasen der Lebenszyklusmodelle werden dabei entsprechend ihres zeitlichen Auftretens den Zuständen Prä-Kooperation, Operative Kooperation oder Post-Kooperation zugeordnet.

Tabelle 2-2: Ausgewählte Lebenszyklusmodelle von Kooperationen

Lebenszyklusmodell	Prä-Kooperation	Operative Kooperation	Post-Kooperation
Das und Teng [Das-1997]	<p><i>Kooperationsstrategie</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Analyse und Zieldefinition <p><i>Partner</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Partnersuche und -auswahl <p><i>Verhandlung</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Strukturdefinition <p><i>Aufbau</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Prozessimplementierung 	<p><i>Betrieb</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Koordination – Spannungsfeld Kooperationspartner <p><i>Bewertung</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Leistungsbewertung <p><i>Modifikation</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Anpassung oder Beendigung 	
Höbig [Höb-2002]	<p><i>Definition</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Kooperationsidee, Nutzen <p><i>Anbahnung</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Partnersuche und -auswahl <p><i>Aufbau</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Struktur- und Prozessdefinition 	<p><i>Betrieb</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Koordination – Controlling <p><i>Verbesserung</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Leistungsbewertung und -verbesserung 	<p><i>Auflösung</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Erfahrungsaustausch – Ressourcenausgleich
Kilich und Luczak [Kil-2003]	<p><i>Initiierung</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Potenzialanalyse – Zielfestlegung <p><i>Formierung</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Partnersuche und -auswahl 	<p><i>Durchführung</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Umsetzung – Controlling, Steuerung 	<p><i>Beendigung</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Analyse und Bewertung – Ressourcenaufteilung
Howaldt und Ellerkmann [How-2011]	<p><i>Idee und Anstoß</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Kooperationsidee <p><i>Aufbau</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Partnersuche und -auswahl – Finanzierung <p><i>Konstituierung</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Ziel- und Strukturdefinition 	<p><i>Arbeit</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Arbeitsformen festlegen – Produktentwicklung <p><i>Evaluation</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Monitoring und Bewertung <p><i>Metamorphose</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Weiterentwicklung 	<p><i>Abschluss</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Bewertung Kooperation
Jansen [Jan-2016]	<p><i>Potenzial</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Unternehmens- und Wettbewerbsanalyse <p><i>Partner</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Partnersuche und -auswahl – Konfiguration – Merkmalsdefinition 	<p><i>Konfiguration</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Strukturdefinition <p><i>Management</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Koordination und Steuerung 	

Das und Teng unterteilen den Kooperationsprozess in insgesamt sieben Entwicklungsphasen und stellen eine Ausgangsbasis für weitere Lebenszyklusmodelle dar. Zunächst werden im Zustand Prä-Kooperation im Rahmen der Kooperationsstrategie die

Kooperationsziele definiert und eine grundsätzliche Bewertung von Kooperationen zur Erreichung der Ziele durchgeführt. Anschließend erfolgt eine Partnersuche und -auswahl, bei der mindestens ein Kooperationspartner identifiziert werden sollte. Die Auswahl des Kooperationspartners hat einen starken Einfluss auf die Entwicklung der Kooperation, weswegen idealerweise Unternehmen mit komplementären Ressourcen und Fähigkeiten sowie kompatiblen Kooperationszielen zusammenarbeiten sollten. In der Entwicklungsphase Verhandlung erfolgt eine Strukturdefinition, bei der insbesondere die Organisationsstruktur und -form ausgearbeitet und vertraglich fixiert wird. Der Zustand Prä-Kooperation wird mit dem Aufbau der Kooperation durch die Integration der kooperativen Prozesse und die Bereitstellung des Personals abgeschlossen. Die darauffolgende Entwicklungsphase Betrieb fokussiert die operative Koordination der Kooperation. Dabei stellt das Spannungsverhältnis der Kooperationspartner eine besondere Herausforderung dar, nachdem diese einerseits zusammenarbeiten, andererseits möglicherweise jedoch als Wettbewerber im gleichen Marktumfeld auftreten. Weiterhin sollte während des Betriebs eine Leistungsbewertung anhand zuvor gemeinschaftlich definierter Kennzahlen erfolgen. Die Kennzahlen sollten sowohl Markt-, Finanz- und Produktivitätsindikatoren als auch weiche Faktoren wie Harmonie oder Zufriedenheit berücksichtigen. Die letzte Entwicklungsphase Modifikation unterscheidet positive und negative Veränderungen. Während positive Veränderungen die Kooperation verbessern und eine erfolgreiche Fortführung ermöglichen sollen, fordern negative Veränderungen Anpassungen oder die Beendigung der Kooperation. [Das-1997, S. 51 ff]

Ein weiteres Lebenszyklusmodell beschreibt *Höbig*, der den Kooperationsprozess in sechs klar abgrenzbare Entwicklungsphasen, die nacheinander durchlaufen werden, gliedert. Im Zustand Prä-Kooperation werden in der ersten Phase Definition zur Spezifizierung des Kooperationsumfangs die grundlegende Kooperationsidee und der angestrebte Nutzen festgelegt und die Eignung für eine Kooperation überprüft. Daran schließt sich die Anbahnungsphase an, in der eine Kompetenzdefinition zur Erreichung des angestrebten Nutzens durchgeführt und Profile geeigneter Kooperationspartner erstellt werden. Auf dieser Basis können mögliche Kooperationspartner identifiziert und ausgewählt werden. In der darauffolgenden Phase Aufbau wird die Kooperation strukturiert und die erforderlichen kooperativen Prozesse werden ausgestaltet. Dabei werden die Ressourcen der Kooperationspartner mit der Struktur und den Prozessen verknüpft und weitere Regeln für eine erfolgreiche Zusammenarbeit vereinbart. Daraufhin erreicht die Kooperation ihren operativen Betrieb, in dem die Ressourcen und Prozesse innerhalb der Kooperation koordiniert und die Zielerreichung bewertet wird. Um die gewünschte Leistungserbringung der Kooperation sicherzustellen, sollte diese im Falle von Abweichungen beispielsweise durch Prozessverbesserungen oder einen Partnerwechsel weiterentwickelt werden. Der Zustand Post-Kooperation beinhaltet die

Phase Auflösung, die entweder für den auszutauschenden Kooperationspartner oder im Fall einer bilateralen Zusammenarbeit von zwei Unternehmen für die gesamte Kooperation durchlaufen wird. Im Zuge dessen sollte insbesondere ein Ressourcenausgleich stattfinden und ein Erfahrungsaustausch eine Verbesserung der veränderten Kooperation beziehungsweise zukünftiger Kooperationen ermöglichen. [Höb-2002, S. 39 ff]

Ebenso wie *Das und Teng* und *Höbig* unterteilen auch die weiteren Ansätze mit insgesamt vier bis sieben Entwicklungsphasen den Lebenszyklus von Kooperationen in eine vergleichbare Anzahl an Phasen. *Killich und Luczak* stellen den Lebenszyklus in vier Phasen dar und aggregieren in den Phasen Initiierung und Formierung verschiedene Aufgaben, wobei ihr Lebenszyklusmodell speziell kleine und mittelständische Unternehmen fokussiert [Kil-2003, S. 13 ff]. Andererseits betrachten *Howaldt und Ellerkmann* in ihrem Modell in der Phase Aufbau neben der Partnersuche und -auswahl insbesondere die Finanzierung der Kooperation [How-2011, S. 26]. Hierbei nennen sie drei Möglichkeiten: eine finanzielle Eigenbeteiligung der Partner, eine öffentliche Anschubfinanzierung oder ein zeitlich befristeter Projektverbund mit Beitragszahlungen [How-2011, S. 26]. In einem weiteren Ansatz beschreibt *Jansen* in vier Phasen detailliert den Lebenszyklus von Kooperationen, wobei auch wettbewerbsrechtliche Grundlagen mit einem entsprechenden Prüfungsschema eine Entscheidungsunterstützung bei der Beurteilung der Kooperation darstellen [Jan-2016, S. 248 ff].

2.2.4 Incentivierung und Erfolgsfaktoren

Wie bei einer Zusammenarbeit von Individuen besteht auch bei Unternehmenskooperationen das Risiko, dass ein oder mehrere Kooperationspartner opportunistisches oder täuschendes Verhalten zeigen. Eine Vorhersage des Verhaltens der Kooperationspartner ist nicht möglich und bleibt daher ein Unsicherheitsfaktor in der Kooperationsbeziehung [Kli-2003, S. 419 f]. Einzelne Kooperationspartner sind möglicherweise nicht bereit alle erforderlichen Informationen auszutauschen und könnten einen Teil ihrer Ressourcen zurückhalten, wodurch die Erfolgsaussichten der gesamten Kooperation verringert würden [Rus-2017, S. 2 ff]. In der Literatur werden daher verschiedene Möglichkeiten der Incentivierung und Erfolgsfaktoren für Unternehmen und Unternehmenskooperationen diskutiert, die diesen Risiken entgegenwirken sollen. Im Rahmen der Arbeit wird der gängige Begriff Incentivierung verwendet, der alle Anreize und Incentivierungen zusammenfasst.

Ein Incentivierungssystem umfasst nach *Berthel und Becker* bei einer übergreifenden Betrachtung alle bewusst gestalteten positiven und negativen Incentivierungen, die bestimmte Verhaltensweisen stärken (positive Incentivierungen) oder deren Auftreten

verhindern (negative Incentivierungen) [Ber-2010, S. 536 f]. Es soll durch geeignete Incentivierungen eine möglichst optimale Aufgabenerfüllung der Mitglieder sicherstellen [Jos-2013, S. 153].

Betriebliche Incentivierungssysteme können in sechs Funktionen unterteilt und entsprechende Ansätze zur Incentivierung auf Unternehmenskooperationen übertragen werden (Abbildung 2-1). Dabei fokussiert die Funktion Motivation eine Verhaltensaktivierung, Steuerung ein zielgerichtetes Verhalten und Kooperation eine Beteiligung am erzielten Ergebnis sowie eine Förderung von Teamarbeit. Mögliche Incentivierungen hierzu umfassen die Belohnung erwünschten Verhaltens oder die Schaffung einer identitätsstiftenden Kultur. Weiterhin beschreibt Selektion eine Risikoübernahme, Veränderung eine Anpassung der Mitglieder und Information eine erforderliche Informationsbereitstellung. [Ber-2010, S. 539 ff]

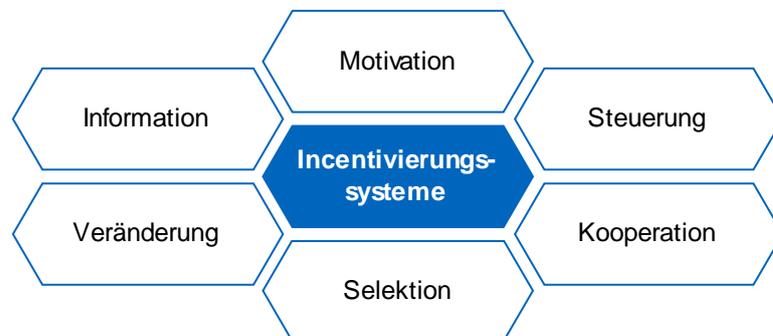


Abbildung 2-1: Funktionen betrieblicher Incentivierungssysteme (in Anlehnung an [Ber-2010, S. 539])

Die einzelnen Elemente eines Incentivierungssystems können in die Kategorien materielle und nicht-materielle Incentivierungen unterteilt werden [Hor-2017, S. 141]. Materielle Incentivierungen versuchen das Verhalten über geldwerte Vorteile als zentralen Bestandteil von Vergütungssystemen zu steuern, während nicht-materielle Incentivierungen beispielsweise Tätigkeitsinhalte und Fördermaßnahmen umfassen [Hor-2017, S. 141]. Nachdem materielle Incentivierungen letztendlich ausschließlich monetär bewertbare Incentivierungen umfassen, wird in der Literatur alternativ eine Kategorisierung der Incentivierungen in monetäre und nicht-monetäre Incentivierungen vorgeschlagen [Bra-2001, S. 37; Zau-2005, S. 52].

Eine anwendungsfallsspezifische Ausgestaltung eines Incentivierungssystems für Unternehmenskooperationen zur Erhöhung der Erfolgswahrscheinlichkeit der Kooperation ist komplex und wird durch die Berücksichtigung kooperativer Erfolgsfaktoren begünstigt [Bec-2018b, S. 28 f]. Erfolgsfaktoren für Kooperationen sind Elemente, die den Erfolg der Zusammenarbeit positiv beeinflussen [Mey-2002, S. 49]. In der Literatur

werden unterschiedliche Erfolgsfaktoren für Unternehmenskooperationen identifiziert und diskutiert.

Holtbrügge sieht insgesamt fünf relevante Erfolgsfaktoren für das Management von Kooperationen. Zunächst sollten die Unternehmen ihre Kooperationspartner sorgfältig auswählen und eine kulturelle Kompatibilität anstreben. Weiterhin sollten die Unternehmen Strukturen definieren, die einen flexiblen und fairen Konfliktbewältigungsumgang ermöglichen und Verpflichtungen sowie Rechte der Kooperationspartner klar herausarbeiten. Abschließend wird insbesondere die Notwendigkeit einer Atmosphäre des Vertrauens und gegenseitigen Engagements betont. [Hol-2004, S. 261 ff]

Dass eine ausschließlich monetäre Incentivierung nicht ausreichend für eine erfolgreiche Kooperation ist, bestätigen *Agarwal et al.* In ihren Untersuchungen zeigen sie die Relevanz einer effektiven Kommunikation der Kooperationspartner [Aga-2009, S. 420]. *Russo und Cesarani* sowie *Klint und Sjöberg* heben darüber hinausgehend die Bedeutung von Vertrauen und Engagement innerhalb der Kooperation hervor und belegen ihren Einfluss als Erfolgsfaktor [Kli-2003, S. 419 f; Rus-2017, S. 6]. Eine vertrauensvolle Zusammenarbeit reduziert die Risiken von Kooperationen, beugt einem opportunistischen Verhalten der Kooperationspartner vor und verstärkt den erforderlichen Informationsaustausch innerhalb der Kooperation [Kli-2003, S. 419 f]. Zusätzlich ergänzt ein ausgeprägtes Vertrauen Steuerungsmechanismen, die teilweise nur mit hohem Ressourcenaufwand eingerichtet werden können [Pic-2001, S. 124].

Des Weiteren ist eine effiziente Kontrolle und Konfliktlösung im Bedarfsfall ein wichtiges Element für den Erfolg einer Kooperation [Rus-2017, S. 5 f]. Hierzu ist eine passende Informationstechnologie zur Aufbereitung und Visualisierung und zum Austausch der Daten erforderlich [Kno-2009, S. 137 ff]. Ein Monitoring- und Kontrollsystem mit geeigneten Berichts- und Kontrollinstanzen reduziert die Gefahr einer Informationsasymmetrie innerhalb der Kooperation und beugt dadurch dem Risiko eines für die Kooperation unvorteilhaften Verhaltens einzelner Kooperationspartner vor [Pic-2001, S. 59]. Ergänzend sehen *Klint und Sjöberg* in der Bereitschaft zur Bereitstellung notwendiger Ressourcen durch die beteiligten Unternehmen einen positiven Effekt auf die Kooperationsleistung und Zusammenarbeit, während *Brandenberg* die Vorteilhaftigkeit der Vergabe von Titeln oder Funktionsbezeichnungen erläutert [Bra-2001, S. 41; Kli-2003, S. 419].

2.3 Individuelle Ersatzteilmanagementsysteme

In Abschnitt 2.3 werden individuelle Ersatzteilmanagementsysteme fokussiert. Dazu werden in Unterabschnitt 2.3.1 deren Ausgestaltungsformen charakterisiert, in Unterabschnitt 2.3.2 die Ersatzteilbewirtschaftung erläutert und in Unterabschnitt 2.3.3 das wirtschaftliche Potenzial individueller Ersatzteilmanagementsysteme beschrieben.

2.3.1 Ausgestaltungsformen

Bei der Ausgestaltung individueller Ersatzteilmanagementsysteme können ein Betreiber-Ersatzteilmanagement und ein Fremdfirmen-Ersatzteilmanagement unterschieden werden [Sch-2006, S. 91]. Die Auswahl der Ausgestaltungsform sollte individuell aufgrund der unternehmens- und ersatzteilspezifischen Anforderungen getroffen werden.

Betreiber-Ersatzteilmanagement

In einem Betreiber-Ersatzteilmanagement werden alle Tätigkeiten des Ersatzteilmanagements durch das Unternehmen ausgeführt, welches das technische System betreibt und somit keine Kapazitäten anderer Unternehmen in Anspruch genommen [Gas-2013, S. 127]. Zu den Tätigkeiten zählen insbesondere die Ersatzteilbeschaffung und -bereitstellung im Bedarfsfall, aber auch das Lagermanagement. Besonders vorteilhaft hierbei ist, dass aufgrund der individuellen Ausgestaltung nur eine geringe Abhängigkeit von Fremdfirmen besteht und das Knowhow aus den Betriebserfahrungen im eigenen Unternehmen genutzt und ausgebaut werden kann [Dom-2014, S. 419]. Für den Aufbau eines Betreiber-Ersatzteilmanagements sind hohe Investitionen in die erforderliche Lager- und Datenverarbeitungstechnik notwendig, bei einer langfristigen Anwendung ergeben sich jedoch Kostenvorteile gegenüber einem externen Ersatzteilmanagement [McF-2012, S. 65].

Als herausfordernd empfinden Unternehmen die hohe Komplexität eines Betreiber-Ersatzteilmanagements. Diese kann durch den Einsatz digitaler Systeme reduziert werden, jedoch verwenden nach einer Studie von *Pelantova und Šlaichová* 20 Prozent der befragten Unternehmen trotz der Komplexität kein Enterprise-Resource-Planning-System (ERP-System) [Pel-2016, S. 1512]. Zusätzlich weisen die Unternehmen neben ihren spezifischen Kernkompetenzen häufig nicht die erforderlichen Organisations- sowie Managementfähigkeiten für ein Betreiber-Ersatzteilmanagement auf und können diese nicht zufriedenstellend etablieren [Cav-2008, S. 380]. Des Weiteren unterliegt das Budget im Ersatzteilmanagement im Jahresverlauf aufgrund hoher Kosten häufig Kürzungen, wodurch eine effiziente Prozessausführung mit einem langfristigen Planungshorizont erschwert und ein Betreiber-Ersatzteilmanagement nicht wirtschaftlich

betrieben werden kann [McF-2012, S. 65; Pel-2016, S. 1509]. Für eine effiziente Ausgestaltung eines Betreiber-Ersatzteilmanagements bedarf es daher nach Einschätzung von *Dombrowski und Weckenborg* sowie *McFadden und Worrels* einer sinnvollen Mindestgröße des Unternehmens [Dom-2014, S. 419; McF-2012, S. 64]. Einen wirtschaftlichen Betrieb erschwert darüber hinaus eine fehlende oder auf Erfahrungswerten basierende Festlegung von Ersatzteilsollbeständen, um die in vielen Branchen kostenintensiven Ausfälle technischer Systeme zu verhindern, wodurch sich jedoch ein ungenügender und häufig erhöhter Ersatzteilbestand ergibt [Lin-2017, S. 240; Pel-2016, S. 1512].

Fremdfirmen-Ersatzteilmanagement

Eine wirtschaftliche Alternative zum individuellen Betreiber-Ersatzteilmanagement stellt das Fremdfirmen-Ersatzteilmanagement dar [Cav-2008, S. 379 f]. Dabei werden die Aufgaben des Ersatzteilmanagements an Fremdfirmen vergeben, die sowohl externe Dienstleister als auch Ersatzteillieferanten oder Hersteller einzelner technischer Systeme sein können [Gas-2013, S. 133]. Bei der Entscheidung über die Vergabe des Ersatzteilmanagements an ein oder mehrere Fremdfirmen sollte deren angebotenes Produktportfolio beachtet werden, da dieses die Anzahl der benötigten Fremdfirmen maßgeblich bestimmt. Abhängig von der individuellen vertraglichen Ausgestaltung zwischen dem Betreiber des technischen Systems und der Fremdfirma können unterschiedliche Leistungen und Formen der Zusammenarbeit vereinbart werden, beispielsweise eine Bevorratung der erforderlichen Ersatzteile und auch eine zusätzliche Wartung und Reparatur des technischen Systems [Gas-2013, S. 133 f; Wal-2003, S. 22 f]. Die Fremdfirmen weisen für einzelne technische Systeme dabei häufig einen Wissensvorsprung im Ersatzteilmanagement und der Instandhaltung auf, wodurch eine optimierte Dienstleistungsbereitstellung und Nutzung von Synergiepotenzialen ermöglicht wird [Gas-2013, S. 137].

Bei Verwendung eines Fremdfirmen-Ersatzteilmanagements können die Unternehmen ihre Kosten im Ersatzteilmanagement kurzfristig reduzieren, sich aufgrund eines Flexibilitätsgewinns verstärkt auf ihre Kernkompetenzen fokussieren und dadurch die angestrebte Leistungserbringung verbessern [Dom-2014, S. 419; Gra-2002, S. 85]. *Murthy et al.* sehen daher einen Trend zum verstärkten Einsatz dieser Ausgestaltungsform des Ersatzteilmanagements [Mur-2015, S. 100]. Die benötigten Ressourcen und der notwendige Ersatzteilbedarf können durch Fremdfirmen besser bereitgestellt und insbesondere auch ungeplante oder erhöhte Bedarfe abgedeckt werden [Gra-2002, S. 84 f]. Weiterhin kann nicht vorhandenes Knowhow im eigenen Unternehmen langsam und kontinuierlich aufgebaut werden [Gas-2013, S. 137]. Die Vorteile des Fremdfirmen-Ersatzteilmanagements bestätigt auch eine Studie der Aberdeen Group, die angibt, dass 40 Prozent der insgesamt 156 befragten Unternehmen verschiedener

Branchen ihre Aktivitäten im Bereich Ersatzteilmanagement an Fremdfirmen auslagern, wobei sich dieser Anteil für die erfolgreichsten Unternehmen auf knapp 60 Prozent erhöht [Abe-2006, S. 19 f].

Mit der Integration eines Fremdfirmen-Ersatzteilmanagements entsteht andererseits eine erhöhte Abhängigkeit von externen Dienstleistern, die insbesondere auf zwei Gründe zurückzuführen ist. Zunächst verstärkt die Auslagerung des Ersatzteilmanagements das Risiko des Abbaus bereits existierenden Knowhows im Unternehmen und verringert dadurch langfristig Handlungsoptionen, indem ein zukünftiger potenzieller Wechsel zu einem Betreiber-Ersatzteilmanagement erschwert wird [Alc-2000, S. 121 ff]. Weiter führt *Gassner* aus, dass für Routineaufgaben ein einfacher Anbieterwechsel zu einer anderen Fremdfirma zwar möglich, dieser jedoch für spezialisierte Aufgaben und technische Systeme erschwert ist [Gas-2013, S. 138 f]. Zusätzlich können die kurzfristig erreichbaren Kostenersparnisse langfristig durch einen erhöhten Koordinations- sowie Monitoringaufwand und eine damit einhergehende gesteigerte Komplexität verringert werden [Mur-2004, S. 119 f]. Eine Alternative zur Verringerung der Abhängigkeit von Fremdfirmen und des Risikos opportunistischen Verhaltens stellt das „Concurrent Sourcing“ dar, bei dem die erforderlichen Leistungen zwischen dem eigenen Unternehmen und den beteiligten Fremdfirmen aufgeteilt werden [Gas-2013, S. 139 ff].

2.3.2 Ersatzteilbewirtschaftung

Das Ersatzteilmanagement stellt einen herausfordernden Spezialfall des Lagermanagements dar (Unterabschnitt 2.1.1). Zur Sicherstellung der Betriebsbereitschaft der technischen Systeme muss eine Vielzahl unterschiedlicher Ersatzteile mit einem jeweils individuellen Ersatzteilbestandslevel bevorratet werden, die durch eine zunehmende Variantenvielfalt weiter ansteigt [Dom-2010, S. 557 f; Pel-2016, S. 1510 ff]. Die damit einhergehende Komplexität wird unter anderem durch teilweise stochastische Bauteilausfälle, lange Bereitstellungszeiten benötigter Ersatzteile und eine ungenügende Datengrundlage für die Bedarfsermittlung weiter erhöht [Boy-2010, S. 227 f; Dom-2010, S. 557]. Dies resultiert in Herausforderungen in der Ersatzteilbewirtschaftung, weswegen ein tieferes Verständnis über die eingesetzten Ersatzteile notwendig ist [Sch-2013, S. 171].

Schuh et al. sehen insgesamt fünf spezielle Eigenschaften von Ersatzteilen, die es bei der Ersatzteilbewirtschaftung zu beachten gilt. So gibt die **Kritikalität** von Ersatzteilen an, ob ein Bauteil funktionskritisch ist und ein Ausfall einen Defekt des Gesamtsystems verursacht oder ob es sich um ein funktionsunkritisches Bauteil handelt. Mit Wahrscheinlichkeitsfunktionen kann das spezifische **Verschleißverhalten** von Ersatzteilen

beschrieben und ein Ausfallzeitpunkt prognostiziert werden. Gängige Wahrscheinlichkeitsfunktionen sind insbesondere die Exponential-, Gamma-, Weibull- und Normalverteilung. Weiterhin beschreibt die **Installierte Basis** des Primärprodukts die Anzahl der sich im Einsatz befindenden Produkte, die den zukünftigen Ersatzteilbedarf entscheidend beeinflusst und der **Lebenszyklus** die Phase, in der sich das Primärprodukt befindet. Dabei werden eine Einführungs-, Konsolidierungs- und Degenerationsphase unterschieden. Abschließend kann eine **Klassifizierung der Herkunft** der Ersatzteile in Original-, Fremd-, Recycling- und Gebrauchtersatzteile vorgenommen werden, wobei Originalersatzteile häufig Qualitätsvorteile aufweisen. [Sch-2013, S. 171 ff]

Verfahren der Ersatzteilbestandssteuerung

Die Anzahl und Vielfalt der zu bevorratenden Ersatzteile erfordert unterschiedliche Dispositionsverfahren zur Bestandssteuerung [Bie-2008, S. 29]. Diese können anhand der Parameter zur Beschreibung des Zeitpunkts („wann?“) und der Menge („wie viel?“) der Ersatzteilbestellung unterschieden und entsprechend klassifiziert werden [Bie-2008, S. 32; Gud-2011, S. 370 f]. Tabelle 2-3 zeigt daraus abgeleitete mögliche Dispositionsverfahren, wobei der Zeitpunkt in den Bestelltermin t oder den Bestellpunkt s und die Menge in die Bestellmenge Q oder den Richtbestand S unterteilt werden.

Tabelle 2-3: Dispositionsverfahren zur Bestandssteuerung (in Anlehnung an [Bie-2008, S. 32])

Zeitpunkt	Bestellmenge Q	Richtbestand S
Bestellpunkt s	s, Q	s, S
Bestelltermin t	t, Q	t, S

Es werden insgesamt fünf Dispositionsverfahren zur Bestandssteuerung unterschieden [Bie-2008, S. 32 f]:

- (s, Q) -Politik: *Bestellpunkt-System*: Bei jeder Entnahme eines Ersatzteils wird überprüft, ob der Bestellpunkt s unterschritten wird und eine Bestellung in Höhe der Bestellmenge Q aufgegeben.
- (s, S) -Politik: *Optionalsystem*: Dieses Dispositionsverfahren ist vergleichbar mit der (s, Q) -Politik, als Menge wird jedoch die Differenz des Richtbestands S und des Lagerbestands bestellt.
- $(s-1, S)$ -Politik: *Spezielles Optionalsystem*: Bei jedem Lagerabgang, der zur Unterschreitung des optimalen Bestellpunkts s führt, wird ein Ersatzteil nachbestellt.
- (t, Q) -Politik: *Bestellzyklussystem*: Zu einem definierten Bestelltermin t wird die Bestellmenge Q nachbestellt.

- (t, S) -Politik: Bestellrhythmusssystem: Es wird eine Bestellung über die Differenz zwischen dem Richtbestand S und dem tatsächlichen Lagerbestand bei Erreichen des Bestelltermins t ausgeführt.

Von den vorgestellten Dispositionsverfahren zur Bestandssteuerung bedarf insbesondere das Bestellzyklussystem der (t, Q) -Politik einer identischen und kontinuierlichen Lagerentnahme, die für die Ersatzteilbewirtschaftung häufig jedoch nicht gegeben ist [Bie-2008, S. 30 ff].

Ersatzteilspezifische Bedarfsprognose

Um eine optimale Versorgung mit den benötigten Ersatzteilen sicherstellen zu können, ist eine ersatzteilspezifische Bedarfsprognose erforderlich [Sch-2013, S. 187]. Die Faktoren mit einem Einfluss auf den jeweiligen Ersatzteilbedarf umfassen vier Kategorien [Lou-2006, S. 255]:

- Primärprodukt
- Ersatzteil
- Instandhaltung
- Ersatzteilmarkt

Die Kategorien überschneiden sich teilweise mit den dargestellten speziellen Eigenschaften von Ersatzteilen. Das Primärprodukt beeinflusst insbesondere durch die Anzahl der auf dem Markt befindlichen Produkte den Ersatzteilbedarf (Installierte Basis). Ein weiterer Einflussfaktor dieser Kategorie ist die Altersstruktur der Primärprodukte. Zu den ersatzteilbezogenen Faktoren zählen unter anderem die Lebensdauer der Ersatzteile und deren Ausfallverhalten (Verschleißverhalten). Ebenso beeinflussen die angewendeten Instandhaltungsstrategien den Ersatzteilbedarf. Unterschieden werden eine schadensorientierte, zeitorientierte und zustandsorientierte Instandhaltung, die bestimmen, ob der Ersatzteilbedarf deterministisch oder stochastisch ermittelt werden kann. Weiterhin verändert der Ersatzteilmarkt unter anderem durch eventuelle gesetzliche Vorgaben oder neue Technologien den resultierenden Ersatzteilbedarf [Lou-2006, S. 255 ff]

Für die Planung der Ersatzteilbedarfe können verschiedene Prognoseverfahren verwendet werden, die in qualitative und quantitative Verfahren klassifiziert werden können (Abbildung 2-2).

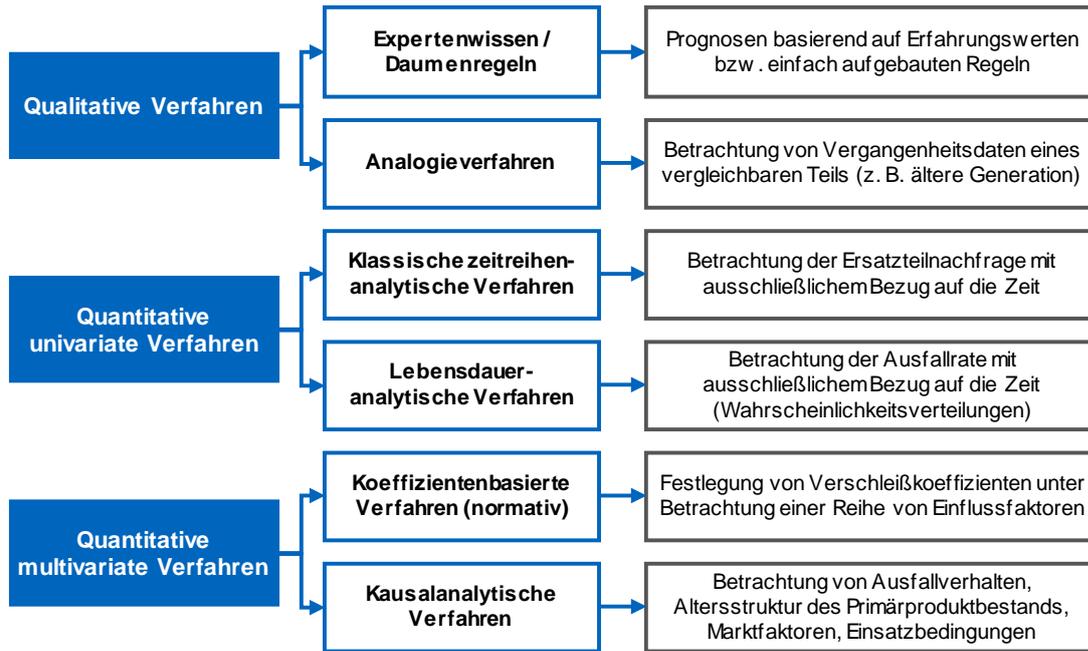


Abbildung 2-2: Ersatzteilspezifische Verfahren der Bedarfsprognose (in Anlehnung an [Lou-2006, S. 260])

Qualitative Verfahren können sinnvoll eingesetzt werden, wenn nur eine ungenügende Ersatzteildatenbasis vorliegt. Die Modelle basieren auf Erfahrungswerten und Expertenwissen, können günstig erstellt werden und weisen für bekannte Ersatzteile eine gute Eignung auf, die subjektive Modellerstellung kann jedoch auch fehlerbehaftet sein [Ali-2005, S. 37; Sch-2013, S. 187].

Die quantitativen Modelle können in univariate und multivariate Verfahren unterteilt werden. Univariate zeitreihenanalytische Verfahren bestimmen den Ersatzteilbedarf allein in Abhängigkeit der Zeit. Dazu zählen beispielsweise Verfahren der Mittelwertbildung, der exponentiellen Glättung und der Regression, die in der Praxis aufgrund ihrer einfachen Anwendbarkeit häufig eingesetzt werden. Nach einer zuvor durchgeführten Klassifikation der Ersatzteile zur Auswahl eines geeigneten Verfahrens, können diese Verfahren akzeptable bis gute Ergebnisse erzielen. Sie eignen sich jedoch nicht für sporadische Ersatzteilbedarfe sowie bei einer fehlenden oder ungenügenden Datenbasis aufgrund großer Unsicherheiten für langfristige Prognosen. Demgegenüber berücksichtigen univariate lebensdaueranalytische Verfahren das Ausfallverhalten der Ersatzteile und fokussieren einen zuverlässigkeits-theoretischen Ansatz. Diese indirekten Verfahren der Bedarfsprognose berücksichtigen zumeist approximierete mathematische Wahrscheinlichkeitsverteilungen und können dadurch auch sporadische Ausfälle erfassen. Multivariate Verfahren verarbeiten für die Prognose mehrere Variablen, wobei die koeffizientenbasierten Verfahren einen Verschleißkoeffizienten unter Berücksichtigung verschiedener Einflussfaktoren modellieren. Neben einer hohen Komplexität der Modelle wird bei diesen Verfahren negativ angemerkt, dass sie die

stochastischen Ersatzteilbedarfe nicht widerspiegeln und nur für spezifische Rahmenbedingungen gelten. Bei den multivariaten kausalanalytischen Verfahren wird der Ersatzteilbedarf aus mehreren Variablen abgeleitet. Diese Verfahren bieten potenziell eine hohe Güte der Prognose, die Ermittlung der einzelnen Variablen ist jedoch herausfordernd, mit einem hohen Aufwand verbunden und häufig fehlerbehaftet. Eine weitere Schwierigkeit ist zudem die Modellierung der quantitativen Variablen in einem Gesamtmodell. [Lou-2006, S. 258 ff]

Im Folgenden werden einige bewährte Verfahren der ersatzteilspezifischen Bedarfsprognose beispielhaft beschrieben und deren Vor- und Nachteile erläutert. Das **Crosstion-Verfahren** ist ein quantitatives univariates klassisches zeitreihen-analytisches Verfahren und nutzt die exponentielle Glättung für die Ersatzteilmachfrage und die Zwischenankunftszeiten der Nachfrageereignisse. Für Perioden, die keinen Ersatzteilbedarf aufweisen, werden die Informationen der vorherigen Periode übernommen. Die Bedarfsprognose P_{t+1} wird aus der exponentiellen Glättung der Ersatzteilmachfrage und der Zwischenankunftszeiten ermittelt:

$$P_{t+1} = \frac{Q_{t+1}}{Y_{t+1}} \quad (2-2)$$

mit

- Q_{t+1} Prognose der Verbrauchsmenge für die Periode $t+1$
- Y_{t+1} Prognose des Verbrauchszeitpunkts für die Periode $t+1$

Für die Prognose der Verbrauchsmenge und des Verbrauchszeitpunkts wird eine Glättung mit dem Glättungsparameter α_c durchgeführt, um anwendungsfallsspezifisch entweder aktuelle oder ältere Perioden stärker zu gewichten. Aufgrund der Berücksichtigung der Nullbedarfe werden die prognostizierten Bedarfe nicht unterschätzt. Das Verfahren ist weit verbreitet und bietet gegenüber der einfachen exponentiellen Glättung erster Ordnung bessere Ergebnisse, erfordert jedoch einen hohen Implementierungsaufwand der Entscheidungsregeln. Zusätzlich werden mit Hilfe des Verfahrens Prognosewerte berechnet, die systematisch erhöht sind. In der Literatur werden daher spezifische Modifikationen des Verfahrens diskutiert. [Ali-2005, S. 41 f; Sch-2013, S. 189 f]

Das **Weibull-Verfahren** nutzt die Weibull-Verteilung als stetige Wahrscheinlichkeitsfunktion, mit der die Lebensdauer von Bauteilen bestimmt werden kann. Sie ist definiert über zwei oder drei Parameter. Die Wahrscheinlichkeitsdichte des Lebensdauermerkmals t beschreibt die Ausfallwahrscheinlichkeit eines Elements und ergibt sich zu:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta} \quad (2-3)$$

mit

- β Weibull-Formparameter
- η Weibull-Skalenparameter
- γ Ausfallfreie Zeit

Für die zweiparametrische Definition der Weibull-Verteilung ist die ausfallfreie Zeit γ null, wodurch sich die Formel (2-3) für die Wahrscheinlichkeitsdichte entsprechend vereinfacht. Die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion variiert in Abhängigkeit des Formparameters stark und entspricht für $\beta=1$ der Exponentialverteilung beziehungsweise für $\beta \approx 3,5$ der Normalverteilung. In Abhängigkeit von β können für $\beta < 1$ Frühausfälle, für $\beta=1$ konstante Ausfälle und für $\beta > 1$ Verschleißausfälle modelliert werden. Ein Vorteil des Weibull-Verfahrens besteht in der Möglichkeit der Abbildung anderer Wahrscheinlichkeitsfunktionen, wodurch unterschiedliche Ersatzteile flexibel berücksichtigt werden können. Weiterhin weist das Verfahren eine besondere Eignung für sporadische Ersatzteilbedarfe oder bei Ersatzteilen mit Nullbedarfen auf. Die zur Ermittlung der Parameter benötigten Datensätze können leicht bestimmt werden. Dabei können bereits für kleine Datensätze genaue Ausfallprognosen erstellt und die benötigten Ersatzteile entsprechend abgeleitet werden. [Jus-2017, S. 8 ff; Sch-2013, S. 191 ff]

Eine weitere gängige Möglichkeit der Bedarfsprognose sind **logistische Kennlinien**. Diese ermitteln den Einfluss unabhängiger Einflussgrößen auf eine Zielgröße und stellen diesen grafisch dar [Nyh-2012, S. 11]. Kennlinien finden insbesondere Anwendung, um produktionslogistische Zusammenhänge in Form von Produktionskennlinien zu modellieren und daraus ressourcenorientierte Aussagen ableiten zu können [Nyh-2012, S. 15]. *Nyhuis und Wiendahl* zeigen darüber hinaus, dass Kennlinien auf den Lagerhaltungsprozess übertragen werden können und eine Methodik zur Ermittlung der Wirkzusammenhänge zwischen dem Lagerbestand und der Lieferbereitschaft in Abhängigkeit der unternehmensspezifischen Rahmenbedingungen darstellen [Nyh-2012, S. 242]. Dadurch werden für die artikelspezifischen Bedingungen Zielwerte für

den Lagerbestand und Bedarfsprognosen ermittelt [Nyh-2012, S. 265]. Lagerkennlinien sind ein vielversprechender Ansatz, um etwaige Abhängigkeiten im Lagerhaltungsprozess mathematisch beschreiben und anhand üblicher Betriebsdaten differenziert zu bewerten [Nyh-2012, S. 265 ff]. Sie eignen sich für unterschiedliche Bereiche des Bestandsmanagements und vereinfachen die Entscheidungsfindung wesentlich [Nyh-2012, S. 267]. Nachteilig ist jedoch, dass die Methodik der logistischen Kennlinien auf statistischen Ansätzen beruht, wozu eine hinreichend große Datenbasis und Genauigkeit der einzelnen Werte verfügbar sein muss, die beispielsweise bei sporadischen Bedarfen und Nullbedarfen einzelner Perioden im Ersatzteilmanagement nicht gegeben ist [Nyh-2012, S. 267]. Problematisch ist weiterhin der zumeist hohe Modellierungsaufwand, der für die Vielzahl bevorrateter Artikel nicht sinnvoll erscheint [Nyh-2012, S. 267].

2.3.3 Wirtschaftliches Potenzial

Eine effiziente Ausgestaltung des Ersatzteilmanagements ist herausfordernd und von steigender Bedeutung für die Unternehmen, da das Ersatzteilmanagement in einem besonderen Spannungsverhältnis steht. Einerseits sind für den Betrieb der technischen Systeme Kosten des Ersatzteilmanagements einzuplanen, andererseits ergeben sich mögliche Ausfallkosten aufgrund einer Nichtverfügbarkeit dieser Systeme [Bie-2008, S. 27 f]. Die Kosten im Ersatzteilmanagement setzen sich dabei aus den Beschaffungs-, Lager-, Transport- und Administrationskosten zusammen [Bie-2008, S. 36 ff]. Das Ersatzteilmanagement und eine Verfügbarkeit der benötigten Ersatzteile ist eine zwingende Voraussetzung für eine wirtschaftliche Instandhaltung der technischen Systeme und daher eng mit dieser verknüpft [Bie-2008, S. 6 f].

Monetäre Optimierungen der Instandhaltung und des Ersatzteilmanagements werden häufig nicht betrachtet und eine leistungsorientierte Ausgestaltung bevorzugt. So gaben in einer Studie von *Becker und Brinkmann* mit circa 60 auswertbaren Rückmeldungen 50 Prozent der befragten Unternehmen an, die Instandhaltung leistungsorientiert und weitere 25 Prozent diese weder leistungs- noch kostenorientiert auszugestalten [Bec-2000, S. 36 ff]. Dementsprechend orientiert sich lediglich ein Viertel der befragten Unternehmen an einer die erforderlichen Kosten fokussierenden Instandhaltung [Bec-2000, S. 36 ff]. Die ungenügende wirtschaftliche Optimierung der Instandhaltung erhöht schlussendlich maßgeblich die Kosten im Produktionsprozess [Sam-2011, S. 209]. *Swanson* und *Samat et al.* sehen daher deutliche Kostensenkungspotenziale und Wettbewerbsvorteile in der Optimierung dieses Bereichs, weswegen es nach *Waeyenbergh und Pintelon* neuer und individueller Konzepte im Bereich der Instandhaltung und des Ersatzteilmanagements bedarf [Sam-2011, S. 209; Swa-2001, S. 237; Wae-2002, S. 299].

Aufgrund der Systemrelevanz der benötigten Ersatzteile haben die Beschaffungskosten bei Margen der Ersatzteilhersteller von bis zu 30 Prozent einen signifikanten Einfluss auf die Kosten im Ersatzteilmanagement [Mur-2004, S. 111]. *Becker und Brinkmann* beziffern die jährlichen Beschaffungskosten im Ersatzteilmanagement auf circa ein Prozent des Kaufpreises des technischen Systems, wohingegen eine Studie der Unternehmens- und Strategieberatung McKinsey dafür sogar bis zu 2,5 Prozent angibt [Bec-2000, S. 30 ff; Gal-2005, S. 1]. Bei einer Betriebsdauer der technischen Systeme von bis zu 30 Jahren fällt somit ein beträchtlicher Anteil der Produktlebenszykluskosten für die Beschaffung der erforderlichen Ersatzteile an [Hu-2018, S. 396]. Weiterhin ermitteln circa 30 Prozent der in einer Studie von *Pelantova und Šlaichová* befragten Unternehmen keine optimalen Sollbestandslevel und bevorraten daher eine erhöhte Anzahl an Ersatzteilen, wodurch die Ersatzteilbeschaffungs- und Lagerkosten gesteigert werden [Pel-2016, S. 1512]. Die Unternehmen versuchen dadurch hohen Ausfallkosten aufgrund einer Nichtverfügbarkeit der Ersatzteile vorzubeugen [Pel-2016, S. 1512].

Die häufige Überbevorratung der benötigten Ersatzteile steigert die Lagerkosten im Ersatzteilmanagement. Dabei können viele Unternehmen wegen eines oftmals ungenügenden Lagermanagementsystems eine ordnungsgemäße und erforderliche Wartung der Ersatzteile nicht gewährleisten, wodurch aufgrund beschädigter Ersatzteile im Bedarfsfall zusätzlich ein verdeckter Bedarf an Ersatzteilen entstehen kann [Pel-2016, S. 1512]. *Biedermann und Mehrotra et al.* geben einen Wert für die durchschnittlich bevorrateten Ersatzteile von circa fünf bis zehn Prozent des Kaufpreises des technischen Systems an und führen aus, dass die Lagerhaltungskosten für die Ersatzteile aufgrund der Kosten für Abschreibungen, Zinsen und Administration bis zu 1,5 Prozent des Anlagenwertes betragen [Bie-2008, S. 5; Meh-2001, S. 251].

Der Einfluss individueller Ersatzteilmanagementsysteme auf den operativen Betrieb wird sich zukünftig weiter intensivieren. Dabei werden die Anforderungen an die Verfügbarkeit der technischen Systeme aufgrund von Produktinnovationen und eines erhöhten Wettbewerbsdrucks weiter ansteigen. Die Unternehmen sollten daher verstärkt eine effiziente Ausgestaltung der Instandhaltung und des Ersatzteilmanagements forcieren. [Wae-2002, S. 312 ff]

2.4 Kooperative Ersatzteilmanagementsysteme

Um den Herausforderungen individueller Ersatzteilmanagementsysteme zu begegnen, wird in Abschnitt 2.4 der Stand der Wissenschaft und Technik kooperativer Ersatzteilmanagementsysteme beschrieben. Dazu werden in Unterabschnitt 2.4.1 zunächst Ausgestaltungsformen und in Unterabschnitt 2.4.2 die Ersatzteilbewirtschaftung untersucht. Abschließend fokussiert Unterabschnitt 2.4.3 das wirtschaftliche Potenzial und mögliche Incentivierungsansätze kooperativer Ersatzteilmanagementsysteme.

2.4.1 Ausgestaltungsformen

Wie Unternehmenskooperationen im Allgemeinen (Unterabschnitt 2.2.2) kann ein kooperatives Ersatzteilmanagement unterschiedlich ausgestaltet werden. Möglichkeiten der Ausgestaltung wurden in der Literatur diskutiert und entsprechende Modelle entwickelt. Kooperative Ersatzteilmanagementsysteme fokussieren dabei insbesondere verschiedene Formen des Ersatzteilpoolings [Kar-2014, S. 94 ff]. Diese beschreiben eine gemeinsame, unternehmensübergreifende und systemgestützte Verwaltung erforderlicher Ersatzteile, die dazu physisch oder virtuell in einem Ersatzteilpool zusammengefasst werden [Wan-2009, S. 678]. Ein wesentliches Strukturierungselement ist die Unterscheidung zwischen einem zentralen und einem dezentralen Ersatzteilmanagementsystem [Won-2007, S. 371]. Bei einer zentralen Ausgestaltung werden die Ersatzteile in einem Lager zusammengefasst, von einem Unternehmen innerhalb der Kooperation gelagert und alle Lagerprozesse von diesem ausgeführt. Demgegenüber sind bei einer dezentralen Ausgestaltung die gemeinsam bevorrateten Ersatzteile weiterhin bei den einzelnen Kooperationspartnern gelagert und werden für die kooperative Bevorratung in einem gemeinsamen Software- und Planungstool zusammengefasst. Zur Ermittlung eines geeigneten Zentralisierungsgrads erarbeiten *Gregersen und Hansen* ein Entscheidungsframework, welches verschiedene strategische und operative Einflussfaktoren berücksichtigt [Gre-2018, S. 353 ff].

Eine erste methodische Betrachtung zur Kategorisierung und systematischen Klassifizierung kooperativer Ersatzteilmanagementsysteme entwickeln *Kilpi et al.* Darin werden kooperative Ausgestaltungsformen unterschiedlicher Intensität und Verbindlichkeit für Fluggesellschaften mit ähnlichen Flugzeugtypen, die vergleichbare und reparaturfähige Ersatzteile bevorraten, in Abhängigkeit der Ausgestaltungsparameter Vertragliche Integration und Anzahl Kooperationspartner definiert (Abbildung 2-3).

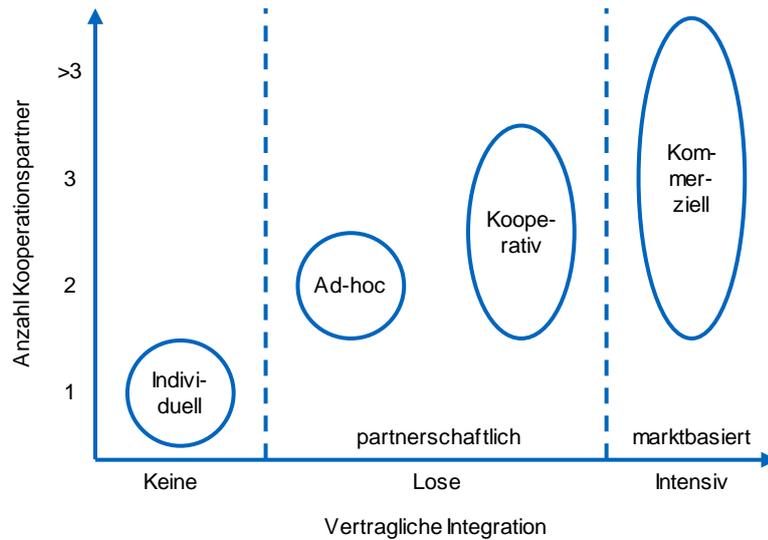


Abbildung 2-3: Klassifizierung kooperativer Ersatzteilmanagementsysteme (in Anlehnung an [Kil-2009, S. 362])

Kilpi et al. beschreiben neben einem individuellen Ersatzteilmanagementsystem als Vergleichsbasis insgesamt drei verschiedene kooperative Ausgestaltungsformen:

- Ad-hoc-Kooperation
- Kooperatives Pooling
- Kommerzielles Pooling

Die **Ad-hoc-Kooperation** besteht aus zwei Unternehmen in geografischer Nähe, die ähnliche Flugzeugflotten betreiben und bereits eine vertrauensvolle Beziehung pflegen. Bei Bedarf beziehen die Unternehmen gegen eine zuvor vereinbarte Gebühr ein benötigtes Ersatzteil vom jeweils anderen Unternehmen. Bei dieser losen Form der Zusammenarbeit kann bereits eine erste Abstimmung über die erforderlichen Ersatzteilbestände erfolgen, um die individuellen Bestände entsprechend zu reduzieren. Vorteilhaft ist ein vergleichbares Nachfragevolumen der beiden Unternehmen und eine Unternehmenslogistik, die die Ersatzteile im Bedarfsfall transportieren und bereitstellen kann. Diese vertrauensvolle und partnerschaftliche Art der Kooperation erfolgt ohne vertraglich fixierte Bedingungen, sodass damit das Risiko einer möglichen Nichtverfügbarkeit von Ersatzteilen einhergeht. Beim **kooperativen Pooling** vereinbaren mindestens zwei Unternehmen einige Regeln der Zusammenarbeit für eine gemeinschaftliche Nutzung der individuellen Ersatzteilbestände, die in einem gemeinsamen Vertrag erfasst werden. Die Regeln umfassen beispielsweise Reaktions- und Bereitstellungszeiten im Falle eines Ersatzteilbedarfs, die Verteilung der Ersatzteilbestände auf die jeweiligen Lager sowie Priorisierungsregeln und Mechanismen des Vorteilsausgleichs. Falls ein Ersatzteil aus dem gemeinsamen Bestand bezogen wird, muss dieses von dem jeweiligen Unternehmen anschließend wieder bereitgestellt werden.

Demgegenüber beschreibt das **kommerzielle Pooling** eine vollständig marktbasierende Kooperation. Dabei schließt ein Unternehmen einen Vertrag über die Bereitstellung erforderlicher Ersatzteile mit einem externen Unternehmen ab, welches diese Dienstleistung auf dem Markt anbietet. Der Vertrag enthält in der Regel die Bedingungen des kooperativen Poolings, wird aber um Punkte wie Servicegebühren oder Haftungsdetails im Falle von Lieferverzögerungen erweitert. [Kil-2009, S. 362 ff]

Eine weitere Ausgestaltungsform kooperativer Ersatzteilmanagementsysteme beschreiben *Kranenburg und van Houtum*. Darin entwickeln sie eine partielle Ersatzteilmanagement- und Poolingstruktur, die aus Zentrallagern und regulären Lagern besteht (Abbildung 2-4). Während die regulären Lager nur Ersatzteile für das eigene Unternehmen bereitstellen, ermöglichen die Zentrallager kooperationsinterne Ersatzteillieferungen. Dabei werden die benötigten Ersatzteile im Bedarfsfall zunächst aus dem regulären Lager des jeweiligen Unternehmens bezogen, eine Bereitstellung aus einem Zentrallager erfolgt bei einer Nichtverfügbarkeit im eigenen regulären Lager. Durch die Unterscheidung der Lagertypen können die Autoren in ihrem Modell die Spezialfälle eines vollständigen Poolings (nur Zentrallager) und keines Poolings (nur reguläre Lager) mit verschiedenen partiellen Poolingstrukturen vergleichen. Sie arbeiten heraus, dass kooperationsinterne Ersatzteiltransportzeiten, Lagerkosten und -verfügbarkeiten wesentliche Parameter für die Eignung eines Lagers als Zentrallager darstellen. *Kranenburg und van Houtum* beschreiben partielle Poolingstrukturen als praxisrelevante Möglichkeit, die einen Großteil der Kostenvorteile eines vollständigen Poolings ermöglicht. [Kra-2009, S. 909 ff]

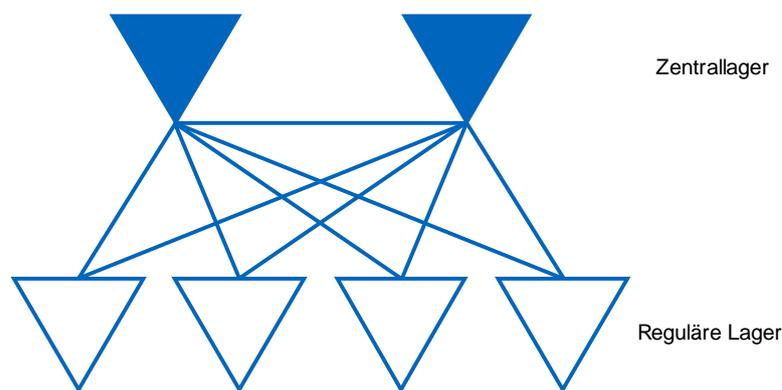


Abbildung 2-4: Grafische Darstellung der partiellen Ersatzteilmanagement- und Poolingstruktur (in Anlehnung an [Kra-2009, S. 911])

2.4.2 Ersatzteilmwirtschaftung

Die Ersatzteilmwirtschaftung und ersatzteilspezifische Bedarfsprognose von Kooperationen ist Forschungsgegenstand zahlreicher Publikationen. Die erforderlichen Er-

satzteilbedarfe und benötigten Bestandslevel können mit analytischen oder simulationsbasierten Modellen berechnet werden. Nachfolgend wird ein Überblick über Modellierungsansätze kooperativer Ersatzteilmanagementsysteme gegeben.

Wang et al. beschreiben ein Modell für die Bevorratung von Ersatzteilen funktionskritischer Systeme, die für mehrere Unternehmen vorgehalten werden. Sie betrachten dabei insbesondere selten benötigte Ersatzteile, die für teure Systeme in Stückzahl eins gelagert werden. Bei Bedarf wird das Ersatzteil von einem Kooperationspartner ausgebucht, für die Instandsetzung des Systems verwendet und automatisch ein neues Ersatzteil bestellt. Die Lieferzeiten für reguläre Bestellungen und für Notfallbestellungen sind konstant. Dabei können insbesondere aufgrund längerer regulärer Lieferzeiten bei einer hohen Anzahl an Kooperationspartnern kostenintensive Ausfallkosten entstehen, die den wirtschaftlichen Erfolg des beschriebenen Systems stark beeinflussen. In ihrem Beitrag identifizieren sie eine optimale Anzahl an Kooperationspartnern für die Bevorratung eines kritischen Ersatzteils in Stückzahl eins, eine mögliche Erhöhung der Bestände und Erweiterung der Kooperation um weitere Unternehmen werden nicht betrachtet. [Wan-2015, S. 34 ff]

Paterson et al. analysieren Veröffentlichungen von Lagerbestandsmodellen mit seitlichen Warentransporten, eine Bezeichnung, die in der Literatur synonym für den Begriff Pooling verwendet wird. Sie unterscheiden dabei verschiedene Hauptmerkmale zur Klassifikation der existierenden Modelle, zu denen Merkmale des betrachteten Systems, der Warenbestellungen und der Poolingstruktur zählen. Das System kann beispielsweise anhand der Anzahl der Artikel, Stufen und Lager unterschieden werden. Für die Wiederbeschaffung der Artikel wird beim Pooling zumeist lediglich ein zentraler Lieferant vorgesehen, weswegen häufig nur Unternehmen auf derselben Stufe der Lieferkette betrachtet werden (horizontale Kooperation). Die Warenbestellung differenziert unter anderem die eingesetzten Dispositionsverfahren zur Bestandssteuerung (Unterabschnitt 2.3.2), wobei insbesondere die Bestellpolitik Spezielles Optionalsystem vorteilhaft erscheint. Die Poolingstruktur wiederum gliedert sich beispielsweise in Typ (reaktiv beziehungsweise proaktiv) und partielles beziehungsweise vollständiges Pooling. Die Analyse und Klassifikation von *Paterson et al.* zeigt eine große Vielfalt möglicher kooperativer Ersatzteilmanagementsysteme und Bewirtschaftungsstrategien, die jeweils eine vielversprechende Methode zur Bestandsreduktion darstellen, jedoch zusätzliche Forschung zur Erweiterung der Modelle erfordern. [Pat-2009, S. 2 ff]

Für die Bestimmung des minimalen Ersatzteilbestands innerhalb einer Kooperation definieren *Kukreja et al.* ein analytisches Modell, welches eine Minimierung der Bevorratungskosten und Sicherstellung eines definierten Servicegrads anstrebt. Das Modell

beschreibt eine einstufige Kooperation von insgesamt n kooperierenden Unternehmen für kostenintensive und unternehmensübergreifend identische Ersatzteile mit geringer Bedarfsdynamik. Die Unternehmen weisen einen homogenen Ersatzteilbedarf auf, der mit einer Poisson-Verteilung modelliert wird. Die Ersatzteile werden auf h Lager verteilt, wobei Lieferzeiten innerhalb der Kooperation vernachlässigt werden. Im Bedarfsfall wird das benötigte Ersatzteil von dem Unternehmen bereitgestellt, welches einen Lagerbestand aufweist und bei dem die Transportkosten am geringsten sind. Mit Hilfe des auf Basis der Warteschlangentheorie entwickelten heuristischen Modells zeigen die Autoren, dass einzelne Unternehmen ihre Ersatzteilbestände signifikant reduzieren können. [Kuk-2001, S. 1371 ff]

In einem weiteren Ansatz verwenden *Wong et al.* ein analytisches Modell, um den Servicegrad, die zu erwartende Ausfallzeit und die Anzahl der erforderlichen unternehmensübergreifenden Transporte zu ermitteln. Das Modell berücksichtigt ein einstufiges kooperatives Ersatzteilmanagementsystem, welches aus mehreren Unternehmen besteht, die reparaturfähige Ersatzteile gemeinsam bevorraten. Die Ausfallwahrscheinlichkeit der in den einzelnen Unternehmen eingesetzten Ersatzteile wird durch eine Exponentialverteilung beschrieben. Während viele Autoren eine kooperationsinterne Bereitstellung ohne Lieferzeit voraussetzen, modellieren *Wong et al.* diese ebenso wie die Reparaturzeit ausgefallener Ersatzteile exponentialverteilt. Das Modell wird mit einem mehrdimensionalen Markov-Modell beschrieben und mit Hilfe einer Approximationsmethode gelöst. Sie zeigen, dass eine verzögerte kooperationsinterne Ersatzteilbereitstellung einen großen Einfluss auf die zu erwartende Anzahl an Auftragsrückständen hat und daher bei der Bestimmung der benötigten Ersatzteile je Lagerort berücksichtigt werden muss. [Won-2005, S. 207 ff]

Karsten und Basten untersuchen eine kooperative Ersatzteilbewirtschaftung und deren Einfluss auf die Kosten im Ersatzteilmanagement. Dabei bevorraten mehrere Unternehmen, die jeweils eine Poisson-verteilte Ersatzteilnachfrage aufweisen, hochpreisige Ersatzteile mit geringer Nachfragedynamik an einem einzigen gemeinsamen Standort. Die Autoren berechnen den optimalen erforderlichen kooperativen Lagerbestand in Abhängigkeit der Anzahl an Unternehmen n und berücksichtigen eine kontinuierliche Analyse des Lagerbestands und mögliche Auftragsrückstände. Mit Hilfe der kooperativen Spieltheorie leiten sie je eine Funktion für die zu erwartenden Lagerkosten und für die Aufteilung der Kosten auf die kooperierenden Unternehmen ab. So stellen sie sicher, dass jedes Unternehmen wirtschaftlich profitiert. [Kar-2014, S. 94 ff]

Ein weiteres Modell für die Analyse der Bevorratung eines spezifischen Ersatzteils in einem kooperativen Ersatzteilmanagementsystem mit einem $(s-1, S)$ -Dispositionsverfahren zur Bestandssteuerung präsentiert *Fritzsche*. Gegenüber statischen Ansätzen

wird in dem entwickelten Modell eine dynamische Ausfallrate berücksichtigt, die eine wartungsfreie Betriebszeit (Maintenance Free Operating Period – MFOP) zugrunde liegt. Eine MFOP-basierte Ausfallrate empfiehlt sich für Komponenten, die wegen ihres Alters verschleissen und ausfallen. Vorteilhaft ist insbesondere die aufgrund der MFOP-Methodik (Abbildung 2-5) dynamische Anpassung und Optimierung der Ausfallrate. Am Beispiel der Luftfahrtindustrie zeigt der Autor, dass die Modellierung einer solchen dynamischen Ausfallrate eine verbesserte Bestandsplanung ermöglicht und erforderliche Ersatzteilbestände signifikant reduziert werden können. Eine kontinuierliche Optimierung der dynamischen Ausfallrate auf Basis der tatsächlichen Ersatzteilbedarfe ermöglicht eine verbesserte Ersatzteilbereitstellung und eine damit einhergehende deutliche Kostenreduktion. [Fri-2012, S. 1065 ff]

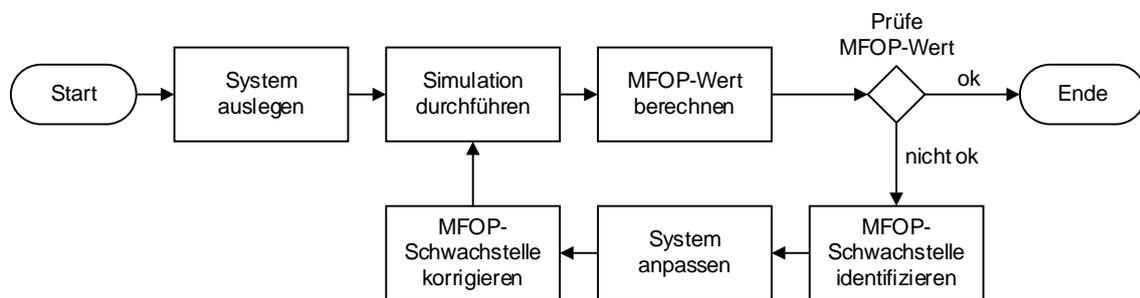


Abbildung 2-5: MFOP-Methodik (in Anlehnung an [Fri-2012, S. 1074])

In einem weiteren Ansatz stellt *Wang* eine Optimierung des erforderlichen Ersatzteilbestands auf Basis stochastischer dynamischer Programmierung zur Abbildung der zufälligen Ersatzteilbedarfe vor. Zusätzlich wird ein geeignetes Inspektionsintervall zur präventiven Wartung und Instandhaltung der technischen Systeme gesucht. Die Ersatzteile werden periodisch von einem zentralen Ersatzteillager bereitgestellt. Die relevanten Entscheidungsvariablen des Modells sind daher das Ersatzteilbestellintervall, das präventive Inspektionsintervall und die Ersatzteilbestellhöhe. Der Autor verwendet das für die Inspektionsmodellierung entwickelte Konzept der Verzögerungszeit, um benötigte Wahrscheinlichkeiten und die Anzahl der innerhalb eines Inspektionsintervalls benötigten Ersatzteile zu identifizieren. Obwohl der im Beitrag entwickelte Ansatz zunächst einzelne Unternehmen betrachtet, ist eine Anpassung und Übertragbarkeit auf kooperative Ersatzteilmanagementsysteme denkbar. [Wan-2012, S. 127 ff]

2.4.3 Wirtschaftliches Potenzial

Kooperative Ersatzteilmanagementsysteme sind eine vielversprechende Möglichkeit, um den Herausforderungen im Ersatzteilmanagement zu begegnen und erforderliche Kosten zu senken. Aufgrund der Bündelung individueller Ressourcen können Synergieeffekte realisiert und ersatzteilmanagementspezifische Kosten, insbesondere in den Funktionsbereichen Beschaffung und Lagerung, deutlich reduziert werden [Haa-32

2010, S. 264]. Nachfolgend werden ein Überblick über das zu realisierende wirtschaftliche Potenzial und notwendige Incentivierungsmaßnahmen für eine erfolgreiche Kooperation gegeben.

Guajardo et al. beschreiben am Beispiel eines internationalen Energiekonzerns eine unternehmensinterne standortübergreifende Verwaltung und Bevorratung erforderlicher Ersatzteile und die daraus resultierende Effizienzsteigerung im Ersatzteilmanagement. Das betrachtete Unternehmen besitzt eine Vielzahl verschiedener Produktionsstandorte, die die Ersatzteile im Bedarfsfall gemeinsam bereitstellen. Die einzelnen Unternehmensstandorte verwenden ein Optionalsystem zur Bestandssteuerung (Unterabschnitt 2.3.2) und vereinbaren eine zu erreichende Bedarfsdeckungsrate. Die Autoren untersuchen insgesamt circa 21.000 unterschiedliche Ersatzteile und geben an, dass die Kosten im Ersatzteilmanagement durch eine standortübergreifende Verwaltung und Bevorratung um bis zu 21 Prozent reduziert werden können. Weiterhin beschreiben sie die Energieindustrie mit hohen Verfügbarkeitsanforderungen und langen Ersatzteilbestellzeiten als vielversprechenden Anwendungsfall für eine Optimierung der Ersatzteillagerhaltung [Gua-2015b, S. 331 ff]. Ebenso argumentieren *Kukreja et al.*, die für einen amerikanischen Energiekonzern mit 29 Produktionsstandorten und einem speziellen Optionalsystem zur Bestandssteuerung ein Kosteneinsparungspotenzial von bis zu 70 Prozent ermitteln [Kuk-2001, S. 1371 ff].

Das von *Topan und van der Heijden* entwickelte Konzept berücksichtigt echtzeitbasierte Ersatzteillinformationen und ermöglicht reaktive sowie proaktive Maßnahmen zur Bereitstellung der Ersatzteile. Dabei werden sowohl kooperationsinterne Lieferungen im Bedarfsfall als auch Bestandsumlagerungen und Notfalllieferungen betrachtet. Die Autoren fokussieren in ihrem Beitrag eine angestrebte Reduzierung der Ausfallzeiten. Anhand realer Praxisdaten eines spezialisierten und führenden Anbieters komplexer technischer Systeme zeigen sie, dass ein vollständiges Ersatzteilpooling zwischen den verschiedenen Lagern und eine hohe Ersatzteilmachfrage die möglichen Kosteneinsparungen maximiert. [Top-2020, S. 164 ff]

In einem weiteren Beitrag analysieren *Kranenburg und van Houtum* ein kooperatives Ersatzteilmanagement für ein Halbleiterunternehmen, welches hochpreisige Ersatzteile bevorratet. Dabei ermitteln sie für einzelne Ersatzteile ein Kostenreduktionspotenzial von bis zu 50 Prozent. Zur Sicherstellung der Praxistauglichkeit erweitern sie ihren Ansatz um die Möglichkeit der parallelen Berücksichtigung verschiedener Ersatzteile. [Kra-2009, S. 908 ff]

Während die bisher vorgestellten Ansätze eine Ermittlung und Bewertung der potenziellen Kosten und Einsparungen für eine gegebene Konfiguration fokussieren, untersuchten *Wang et al.* die Auswirkungen der Anzahl der kooperierenden Unternehmen auf mögliche Effizienzsteigerungen. Sie betrachten verschiedene Netzwerkgrößen, um eine vorteilhafte Anzahl an Kooperationspartnern abzuleiten. Als weitere Hauptentscheidungsvariable definieren die Autoren einen Schwellwert, der die Erteilung einer Notfallbestellung beeinflusst und festlegt, in welchen Fällen eine reguläre kooperationsinterne Ersatzteilbereitstellung nicht ausreicht. Die Autoren betonen insbesondere den Einfluss der Lagerkosten auf die resultierenden kooperativen Kosteneinsparungen und erläutern, dass mit sinkenden Lagerkosten und steigenden kooperationsinternen Bereitstellungszeiten ein kooperatives Ersatzteilmanagement gegenüber einem individuellen Ersatzteilmanagement nachteilig sein kann. [Wan-2015, S. 34 ff]

Incentivierung

Der wesentliche Vorteil eines kooperativen Ersatzteilmanagementsystems ist das realisierbare Kosteneinsparungspotenzial. Die an der Kooperation beteiligten Unternehmen benötigen eine größtmögliche Sicherheit, dass die finanziellen Einsparungen und nicht-monetären Incentivierungen (beispielsweise eine Erhöhung der Systemverfügbarkeit) die Ausgaben und Anstrengungen, die sie in die Kooperation einbringen, übersteigen [Kar-2014, S. 95]. Dies erfordert eine faire Aufteilung der Kosten und des Aufwands auf die einzelnen Kooperationspartner. Ein zu definierendes Kostenverteilungssystem sollte daher sicherstellen, dass alle Kooperationspartner geringere Kosten haben als bei einem individuellen Ersatzteilmanagementsystem [Won-2007, S. 371]. Andernfalls gäbe es für diese Unternehmen keine monetäre Incentivierung, sich an der Kooperation zu beteiligen.

Wong et al. definieren vier unterschiedliche Ansätze zur Kostenverteilung (Tabelle 2-4). Die Ansätze berücksichtigen die Lager-, Transport- und Ausfallkosten für eine Kooperation ohne ein kooperationshinderliches Eigeninteresse der einzelnen Unternehmen (Szenario 1) und für eine angestrebte unternehmensindividuelle Gewinnmaximierung (Szenario 2). Die Autoren schlagen insbesondere eine Kostenverteilung auf Basis des Lagerbestands, des Ersatzteilbedarfs, der spezifischen Ausfallzeit oder als Aufschlag auf den Ersatzteilpreis vor. Weiterhin berücksichtigt der vierte Ansatz den unternehmensspezifischen Kooperationsbeitrag, der mit Hilfe des Shapley-Werts für die möglichen Kooperationen bemessen wird. Anhand spieltheoretischer Modelle zeigen die Autoren, dass die beschriebenen Ansätze zur Kostenverteilung die Teilnahme der Unternehmen an der Kooperation stark beeinflussen können. [Won-2007, S. 370 ff]

Tabelle 2-4: Ansätze zur Kostenverteilung (in Anlehnung an [Won-2007, S. 376 ff])

Kostenverteilungsansatz	Lagerkosten	Transportkosten	Ausfallkosten
Ansatz 1	Basierend auf Lagerbestand	Aufschlag auf Ersatzteilpreis	Basierend auf spezifischer Ausfallzeit
Ansatz 2	Basierend auf Ersatzteilbedarf	Basierend auf Ersatzteilbedarf	Basierend auf spezifischer Ausfallzeit
Ansatz 3	Basierend auf Ersatzteilbedarf		
Ansatz 4	Basierend auf spezifischem Kooperationsbeitrag (Shapley-Wert)		

Einen weiteren Ansatz entwickeln *Karsten und Basten*. Die Autoren analysieren die Auswirkungen einer proportionalen Kostenverteilung auf Basis des jeweiligen Ersatzteilbestands mit Hilfe spieltheoretischer Modelle. Ihre Ergebnisse zeigen, dass die beschriebene Kostenverteilungsregel fair und leicht verständlich ist und sicherstellt, dass kein kooperierendes Unternehmen höhere Kosten trägt als für ein individuelles Ersatzteilmanagementsystem anfallen. Weiter weist die Verteilungsregel eine leichte Berechenbarkeit auf und ist unempfindlich gegenüber einer potenziellen Manipulation der Kooperationspartner durch eine künstliche Aufteilung oder Zusammenlegung der Unternehmen. [Kar-2014, S. 94 ff]

In ihrem Beitrag definieren *Guajardo und Rönnqvist* insgesamt sieben Ansätze zur Kostenverteilung, die sie am Beispiel der Energiewirtschaft bewerten. Sie betrachten dabei sowohl proportionale als auch nicht-proportionale Verteilungsansätze. Zu den proportionalen Ansätzen zählt beispielsweise die egalitäre Methode, bei der die Gesamtkosten gleichmäßig auf alle kooperierenden Unternehmen aufgeteilt werden, die dadurch jedoch möglichst homogene Kooperationspartner erfordert. Weitere Ansätze gewichten den Ersatzteilbedarf, die Einzelkosten oder den unternehmensspezifischen Lagerbestand. Zu den nicht-proportionalen Ansätzen zählen die Autoren den Shapley-Wert, den Nucleolus und eine Gewinnleichheit (Equal Profit Method – EPM). Der Nucleolus garantiert dabei eine eindeutige und stabile Kostenverteilung, weist jedoch eine hohe Komplexität auf. Während die egalitäre Methode in der Analyse nachteilige Effekte erzeugt, erscheint insbesondere der EPM-Ansatz vorteilhaft in Bezug auf die Ergebnisse und den Berechnungsaufwand. [Gua-2015a, S. 220 ff]

2.5 Zwischenfazit und Detaillierung der Forschungslücke

In der Literatur werden kooperative Ersatzteilmanagementsysteme diskutiert und ihre Relevanz, Vorteile und Herausforderungen beschrieben. Zur Spezifizierung des übergeordneten Forschungsziels der vorliegenden Arbeit (Abschnitt 1.2)

– Entwicklung einer Methodik zur Implementierung eines kooperativen Ersatzteilmanagements –

werden nachfolgend die Forschungsschwerpunkte für die einzelnen Handlungsfelder kooperativer Ersatzteilmanagementsysteme zusammengefasst, das jeweilige Forschungsdefizit herausgearbeitet und ein entsprechendes Teilforschungsziel abgeleitet.

Lebenszyklus und Entwicklungsphasen

Der Stand der Wissenschaft und Technik zeigt zahlreiche Lebenszyklusmodelle und Entwicklungsphasen für Unternehmenskooperationen. In den einzelnen Modellen werden die entsprechenden Entwicklungsphasen und grundsätzliche phasenspezifische Aufgaben beschrieben. Die Modelle umfassen zwischen vier und sieben Phasen, die den Zuständen Prä-Kooperation, Kooperation oder Post-Kooperation zugeordnet werden. Insgesamt fehlt jedoch eine methodische Betrachtung und Einordnung kooperativer Ersatzteilmanagementsysteme in ihren charakteristischen Lebenszyklus. Es existiert keine Spezifizierung der Lebenszyklusphasen mit einer klaren Beschreibung der erforderlichen Aufgaben zur Implementierung eines kooperativen Ersatzteilmanagements, um die beschriebenen Nutzenpotenziale realisieren zu können.

Teilforschungsziel (Z-1): Definition erforderlicher Implementierungsphasen und jeweils relevanter Aufgaben

Strukturierung und Ausgestaltung

Im Handlungsfeld Strukturierung und Ausgestaltung werden in der Literatur insbesondere Abgrenzungsdimensionen und Merkmale zur Klassifikation von Unternehmenskooperationen diskutiert. So beschreibt *Killich* insgesamt sieben Kooperationsmerkmale und deren Ausprägung [Kil-2011, S. 18 ff]. Im Bereich der individuellen Ersatzteilmanagementsysteme werden ein Betreiber- und Fremdfirmen-Ersatzteilmanagement erläutert. Ein Fremdfirmen-Ersatzteilmanagement ermöglicht potenzielle Effizienzsteigerungen, resultiert jedoch in einer verstärkten Abhängigkeit von externen Dienstleistern. Kooperative Ersatzteilmanagementsysteme fokussieren insbesondere Formen des Ersatzteilpoolings, die unter anderem in zentrale und dezentrale sowie partielle und vollständige Ersatzteilmanagementsysteme untergliedert werden können.

Eine weitere Klassifizierung entwickeln *Kilpi et al.*, die am Beispiel der Luftfahrtindustrie kooperative Ersatzteilmanagementsysteme in eine Ad-hoc-Kooperation, ein kooperatives Pooling und ein Kommerzielles Pooling kategorisieren [Kil-2009, S. 362 ff]. Aufgrund fehlender systematischer Empfehlungen für die strukturelle Ausgestaltung kooperativer Ersatzteilmanagementsysteme können die potenziellen Vorteile jedoch nicht ausreichend genutzt werden. Ausgestaltungsempfehlungen wurden ausschließlich für spezifische Branchen untersucht (beispielsweise Luftfahrtindustrie), die jeweils individuellen Anforderungen unterliegen. Weiterhin sind bisher keine Kriterien beschrieben, die die Auswahl einer geeigneten Ausgestaltungsform für ein kooperatives Ersatzteilmanagement unterstützen.

Teilforschungsziel (Z-2): Identifikation und Definition grundlegender Ausgestaltungsformen und entsprechender Auswahlkriterien

Ersatzteilbewirtschaftung

In der Literatur wird die Ersatzteilbewirtschaftung sowohl für individuelle als auch für kooperative Ersatzteilmanagementsysteme vielfach diskutiert. Bei den Verfahren der Bedarfsprognose für Ersatzteile können qualitative, quantitative univariate und quantitative multivariate Verfahren unterschieden werden. In Abhängigkeit der einzelnen Randbedingungen empfehlen die Autoren verschiedene analytische und simulationsbasierte Methoden der ersatzteilspezifischen Bedarfsprognose. Für kooperative Ersatzteilmanagementsysteme erweitern *Karsten und Basten* ihr Modell auf Basis der kooperativen Spieltheorie um ein individuelles Verhalten der Kooperationspartner [Kar-2014, S. 94 ff]. Der Stand der Wissenschaft und Technik zeigt für einzelne analysierte Anwendungsfälle ein deutliches Potenzial zur Reduktion der erforderlichen Ersatzteilbestände. Die Modelle betrachten dabei eine Kooperation ohne bereits existierende Ersatzteilbestände und bewerten einen angestrebten Sollzustand. Insgesamt bleibt die Auswahl geeigneter Ersatzteile unklar, ein hierzu erforderliches Vorgehen wird nicht beschrieben. Die Auswahl der Ersatzteile hat jedoch einen maßgeblichen Einfluss auf das mögliche Bestandssenkungspotenzial. Weiterhin bestätigen die Analysen für einzelne Branchen die Vorteilhaftigkeit kooperativer Ersatzteilmanagementsysteme, die Effekte unterschiedlicher Kooperationsgrößen werden allerdings nur unzureichend betrachtet.

Teilforschungsziel (Z-3): Definition eines Vorgehens zur Auswahl geeigneter Ersatzteile und Entwicklung eines Modells zur Bestimmung und Analyse erforderlicher Ersatzteilbestände und Kooperationsgrößen

Wirtschaftlichkeitsbewertung

Das Handlungsfeld Wirtschaftlichkeitsbewertung wird in der einschlägigen Literatur für individuelle und kooperative Ersatzteilmanagementsysteme umfassend betrachtet. Es ist festzustellen, dass monetäre Optimierungen im Ersatzteilmanagement bisher unzureichend realisiert wurden. Die Publikationen fokussieren daher insbesondere die Ermittlung möglicher Effizienzsteigerungen durch eine Implementierung kooperativer Ersatzteilmanagementsysteme. Dabei werden spezifische Anwendungsfälle und vorteilhafte Branchen (beispielsweise die Energiewirtschaft) betrachtet und teilweise eine umfangreiche Datenverfügbarkeit vorausgesetzt. Für die untersuchten Szenarien ermitteln die Autoren ein Kostenreduktionspotenzial zwischen 20 Prozent und 70 Prozent. Weiterhin werden Methoden für die Bestimmung einer geeigneten Anzahl kooperierender Unternehmen definiert. Die Forschungsansätze konzentrieren sich jedoch auf spezifische Rahmenbedingungen und erfordern einen signifikanten Aufwand, um die Vorteilhaftigkeit von Ersatzteilkooperationen zu untersuchen. Es werden umfangreiche Datensätze benötigt und die Modelle können nur unzureichend angepasst werden, sodass interessierte Unternehmen keine geeignete Möglichkeit haben, kooperative Ersatzteilmanagementsysteme in ihrem Unternehmen und Marktumfeld aufwandsarm zu analysieren. Zusätzlich sind die monetären Auswirkungen auf einzelne Funktionsbereiche unklar.

Teilforschungsziel (Z-4): Entwicklung eines Modells zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit unter Berücksichtigung individueller Rahmenbedingungen und monetärer Auswirkungen je Funktionsbereich

Incentivierung

Für die Bereiche, in denen Unternehmen miteinander kooperieren, ist das Handlungsfeld Incentivierung von besonderem Interesse. Im Stand der Wissenschaft und Technik werden Funktionen von Incentivierungssystemen erläutert und kooperative Erfolgsfaktoren, die den Erfolg der Zusammenarbeit positiv beeinflussen, abgeleitet. Darauf aufbauend werden verschiedene Incentivierungssysteme entwickelt, die durch spezifische Incentivierungsmaßnahmen eine möglichst optimale Aufgabenerfüllung der Unternehmen innerhalb einer Kooperation sicherstellen sollen. Die Incentivierungsmaßnahmen werden dabei in monetäre und nicht-monetäre Maßnahmen untergliedert. Für den Forschungsbereich der kooperativen Ersatzteilmanagementsysteme werden insbesondere Konzepte zur Verteilung der erforderlichen Kosten und Aufwendungen auf die einzelnen Kooperationspartner beschrieben, die beispielsweise proportionale und nicht-proportionale Verteilungsansätze umfassen. Die dargestellten Konzepte berücksichtigen jedoch keine spezifische Kostenverteilung in Abhängigkeit der strukturellen

Kooperationsgestaltung. Weiterhin werden die Erkenntnisse über nicht-monetäre Erfolgsfaktoren unzureichend betrachtet.

Teilforschungsziel (Z-5): Entwicklung eines Incentivierungssystems, das monetäre und nicht-monetäre Aspekte einbezieht

3 Methodik zur Implementierung eines kooperativen Ersatzteilmanagements

Im Folgenden wird eine Methodik zur Implementierung eines kooperativen Ersatzteilmanagements vorgestellt. Dazu wird in Abschnitt 3.1 zunächst der Betrachtungsgegenstand spezifiziert und es werden grundsätzliche Anforderungen an die Methodik abgeleitet. Anschließend werden in Abschnitt 3.2 die Implementierungsphasen und die jeweils erforderlichen Module der Methodik erläutert. Teile der in diesem Kapitel vorgestellten vier Implementierungsphasen (Abschnitt 3.2) sind bereits in [Haf-2021b] und der Implementierungsphase *Dynamischer Betrieb* (Unterabschnitt 3.2.4) in [Urb-2019] veröffentlicht.

3.1 Spezifizierung des Betrachtungsgegenstands und grundsätzliche Anforderungen an die Methodik

Um die Anforderungen an die Methodik zur Implementierung eines kooperativen Ersatzteilmanagements definieren zu können (Unterabschnitt 3.1.2), wird in Unterabschnitt 3.1.1 zunächst der Betrachtungsgegenstand grundlegend beschrieben.

3.1.1 Betrachtungsgegenstand

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird eine unternehmensübergreifende Kooperation verschiedener Unternehmen (Kooperationspartner) im Ersatzteilmanagement betrachtet. Die dargestellten Ansätze und die entwickelte Methodik lassen sich auf standortübergreifende unternehmensinterne Kooperationen übertragen, welche jedoch nicht fokussiert werden. Die Kooperationspartner bevorraten aktuell eigenständig erforderliche Ersatzteile und wollen zukünftig in den relevanten Funktionsbereichen des Ersatzteilmanagements Beschaffung, Lagerung, Transport und Administration zusammenarbeiten, um die Verfügbarkeit geeigneter Ersatzteile gemeinschaftlich sicherzustellen [Bie-2008, S. 7]. In der Kooperation und für die Kooperationspartner können durch reduzierte Ersatzteilbestände und verbesserte Einkaufskonditionen Kosteneinsparungen bei mindestens gleichbleibender Ersatzteilverfügbarkeit erzielt werden. Die erforderlichen Ersatzteile werden auf Basis einer Einzelquellenbeschaffung (Single Sourcing) jeweils von einem definierten Lieferanten bezogen und abhängig von der Ausgestaltung der Kooperation zentral oder dezentral bei den einzelnen Kooperationspartnern gelagert. Bei einer fehlenden Verfügbarkeit von kooperativ bevorrateten Ersatzteilen wird eine Notfallbestellung beim Lieferanten ausgelöst, um das entsprechende Ersatzteil rechtzeitig zu erhalten. Die kooperationsinterne Bereitstellung der

Ersatzteile im Bedarfsfall erfolgt zwischen den Kooperationspartnern durch unternehmensübergreifende Ersatzteiltransporte. Abbildung 3-1 zeigt exemplarisch ein kooperatives Ersatzteilmanagement mit einem Ersatzteillieferanten, vier Kooperationspartnern und einer Steuerungsplattform. Diese verarbeitet die erforderlichen Informationsflüsse zur Steuerung der Kooperation und ist die Schnittstelle zwischen den Kooperationspartnern und dem Ersatzteillieferanten.

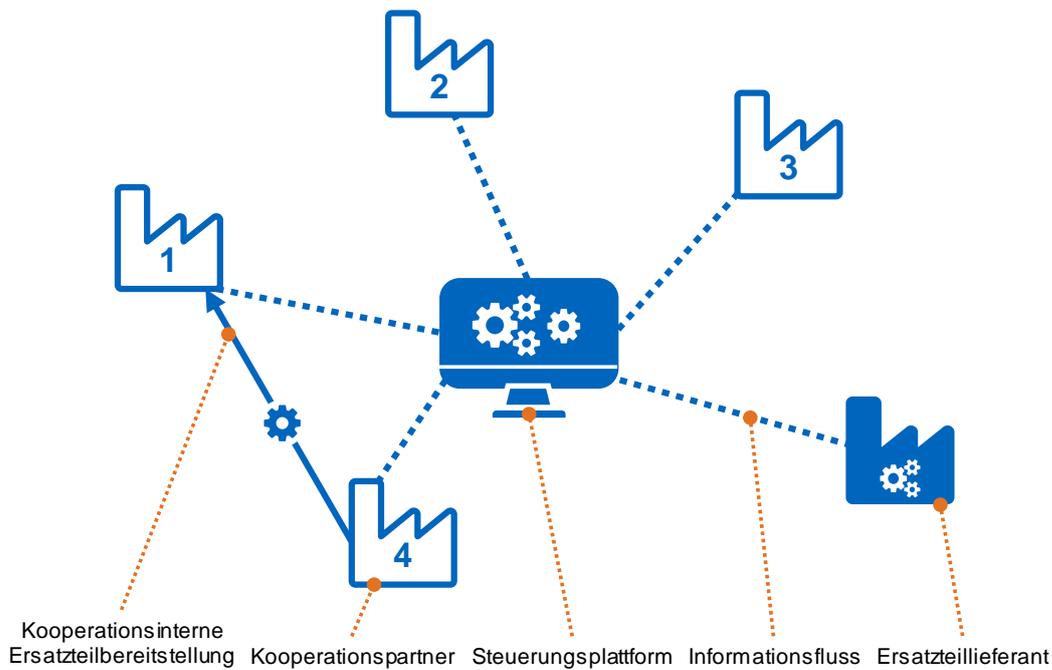


Abbildung 3-1: Exemplarische Darstellung eines kooperativen Ersatzteilmanagements

3.1.2 Anforderungen an die Methodik

Auf Basis des spezifizierten Betrachtungsgegenstands werden grundsätzliche Anforderungen an die Methodik abgeleitet, um eine Anwendbarkeit, Funktionalität und Zielorientierung sicherzustellen. Diese sind in Tabelle 3-1 zusammengefasst und werden nachfolgend erläutert.

Tabelle 3-1: Grundsätzliche Anforderungen an die Implementierungsmethodik

G-1	Skalierbarkeit des Betrachtungsgegenstands
G-2	Anpassbarkeit an anwendungsfallsspezifische Rahmenbedingungen
G-3	Einfache Anwendbarkeit und geringer Zeitaufwand
G-4	Datenschutz und Datensparsamkeit aufgrund sensibler Unternehmensdaten
G-5	Hohe Transparenz und Nachvollziehbarkeit

G-1 Skalierbarkeit des Betrachtungsgegenstands: Die Implementierungsmethodik muss unterschiedliche Kooperationsgrößen (beispielsweise Anzahl Lieferanten und Kooperationspartner), Ersatzteile und Rahmenbedingungen berücksichtigen können. Eine Größenveränderung – eine Skalierbarkeit – des Betrachtungsgegenstands ist daher erforderlich.

G-2 Anpassbarkeit an anwendungsfallsspezifische Rahmenbedingungen: Zusätzlich sollte die Methodik an anwendungsfallsspezifische Rahmenbedingungen angepasst werden können. Dies ermöglicht eine kooperationsindividuelle Anpassung der spezifischen Ersatzteil-, Bewertungs- und Zielparameter. Es muss sichergestellt sein, dass interessierte Unternehmen die Implementierung einer Kooperation im Ersatzteilmanagement auf Basis ihrer individuellen Rahmenbedingungen (beispielsweise spezifische Ziele und Ersatzteildaten) analysieren, bewerten und umsetzen können.

G-3 Einfache Anwendbarkeit und geringer Zeitaufwand: Die Methodik sollte eventuelle Hindernisse und Hemmnisse vor einer erstmaligen Anwendung minimieren. Darüber hinaus müssen bei einem stark veränderten Ersatzteilbedarf oder dem Beitritt zusätzlicher Unternehmen einzelne Implementierungsphasen erneut durchlaufen und entsprechende Module nochmals ausgeführt werden. Es ist daher erforderlich, dass die entwickelte Implementierungsmethodik einfach anwendbar ist und einen geringen Zeitaufwand für die Durchführung benötigt.

G-4 Datenschutz und Datensparsamkeit aufgrund sensibler Unternehmensdaten: Bei der Anwendung der Methodik müssen sensible unternehmensinterne Daten (beispielsweise Ersatzteilpreise) bereitgestellt und verarbeitet werden. Die Erfüllung dieser Anforderung stellt daher sicher, dass mögliche Unsicherheiten und Hemmnisse vor der Anwendung weiter reduziert werden. Es werden hohe Ansprüche an den Datenschutz gestellt, wobei insbesondere nur notwendige Daten zweckgebunden erfasst und verarbeitet werden.

G-5 Hohe Transparenz und Nachvollziehbarkeit: Die Methodik ermöglicht die Implementierung einer Kooperation im Ersatzteilmanagement. Der Erfolg von Unternehmenskooperationen ist in einem hohen Maß von einer vertrauensvollen Zusammenarbeit der einzelnen Mitglieder abhängig (Unterabschnitt 2.2.4). Es ist daher erforderlich, dass die jeweiligen Phasen und durchzuführenden Aufgaben der Methodik eine hohe Transparenz und Nachvollziehbarkeit für alle Kooperationspartner aufweisen.

3.2 Implementierungsphasen

Für die erfolgreiche Implementierung eines kooperativen Ersatzteilmanagements bedarf es einer Methodik, die die Vorgehensweise inklusive aller erforderlichen Aufgaben und dazu notwendiger Module zusammenfasst und strukturiert. Die Methodik fokussiert die Implementierung der Kooperation, daher werden alle relevanten Phasen bis zum angestrebten operativen Betrieb der Kooperation berücksichtigt. Die identifizierten Implementierungsphasen basieren auf dem Modell der Lebenszyklusphasen von *Höbig*, welches insbesondere mit seinen klar abgrenzbaren Phasen in den Zuständen Prä-Kooperation und Operative Kooperation eine Eignung für Kooperationen im Ersatzteilmanagement zeigt (Unterabschnitt 2.2.3). Die sequenziell zu durchlaufenden Implementierungsphasen umfassen die Phasen *Definition*, *Anbahnung*, *Aufbau* und *Dynamischer Betrieb* (Abbildung 3-2).

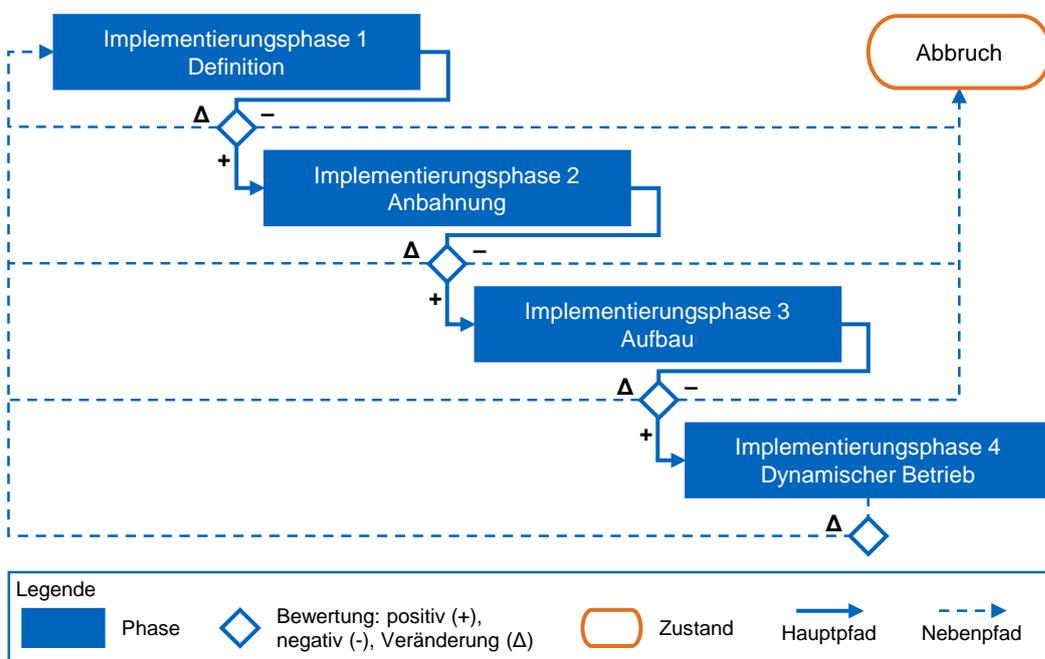


Abbildung 3-2: Implementierungsphasen (in Anlehnung an [Haf-2021b])

Die Methodik mit den einzelnen Implementierungsphasen wird jeweils von einem qualifizierten Mitarbeiter des entsprechenden Unternehmens, welcher gegebenenfalls Unterstützung von weiteren Fachabteilungen erfährt, durchgeführt. Nach jeder Phase wird eine Bewertung durchgeführt und mit der Implementierung fortgefahren (positive Bewertung) oder diese abgebrochen (negative Bewertung). Bei größeren strukturellen Veränderungen (beispielsweise der Beitritt zusätzlicher Unternehmen) müssen die einzelnen Phasen und Module gegebenenfalls erneut für die veränderten Rahmenbedingungen durchlaufen werden und es erfolgt ein Rücksprung in die Implementie-

rungsphase *Definition*. Module innerhalb der jeweiligen Implementierungsphase repräsentieren erforderliche Tools sowie Hilfsmittel für die Realisierung der phasenspezifischen Aufgaben und ihr Einsatz kann in verschiedenen Phasen erforderlich sein. Dementsprechend ermöglicht die vorgestellte Methodik die Entwicklung sowie Anwendung der einzelnen Module und befähigt letztendlich zur Implementierung eines kooperativen Ersatzteilmanagements. Nachfolgend werden die einzelnen Implementierungsphasen erläutert, bevor in Kapitel 4 die notwendigen Module dargestellt werden.

3.2.1 Implementierungsphase 1: Definition

In der ersten Implementierungsphase wird der Kooperationsumfang spezifiziert, um ein einheitliches Verständnis über die Kooperationsidee und die damit verbundenen Erwartungen der Kooperationspartner sicherzustellen. Das Ziel eines kooperativen Ersatzteilmanagements ist eine Erhöhung der Effizienz im unternehmensinternen Ersatzteilmanagement. Die Ersatzteilbestände der Unternehmen sollen auf ein erforderliches Mindestmaß reduziert werden. Gleichzeitig soll eine ausreichende Ersatzteilverfügbarkeit innerhalb der Kooperation und ein mindestens gleichbleibender Servicegrad gewährleistet werden. Aufgrund der geringeren Anzahl der zu bevorratenden Ersatzteile je Kooperationspartner und möglicher Beschaffungsvorteile verringern sich die erforderlichen Kosten im Ersatzteilmanagement.

In der Implementierungsphase *Definition* müssen grundsätzliche Voraussetzungen für die Kooperation identifiziert und definiert sowie eine grundlegende Eignungsprüfung durchgeführt werden. Dabei wird überprüft, ob durch die Kooperation die angestrebten Ziele erreicht werden können. Hierzu müssen sowohl die Voraussetzungen innerhalb des eigenen Unternehmens als auch im Marktumfeld geprüft werden. Grundlegende Voraussetzungen im eigenen Unternehmen umfassen beispielsweise die Bevorratung von Ersatzteilen mit sporadischem Bedarf. Eine Voraussetzung im Marktumfeld ist etwa die Verfügbarkeit von potenziellen zukünftigen Kooperationspartnern, die vergleichbare technische Systeme betreiben. Die Überprüfung dieser qualitativen Voraussetzungen ermöglicht das in Abschnitt 4.2 dargestellte Modul *Grundlegende Eignungsprüfung* anhand einer Checkliste. Falls die Überprüfung ein positives Ergebnis erzielt, ist die Implementierungsphase *Definition* abgeschlossen. Zur Erarbeitung des Moduls werden Experten befragt und eine Literaturrecherche durchgeführt. Tabelle 3-2 fasst die in der Phase *Definition* erforderlichen Aufgaben, die Module und Methoden zusammen.

Tabelle 3-2: Spezifikationen der Implementierungsphase Definition (in Anlehnung an [Haf-2021b])

Implementierungsphase 1: Definition	
Aufgaben	Spezifizierung des Kooperationsumfangs Grundlegende Prüfung der Eignung eines kooperativen Ersatzteilmanagements
Module	Grundlegende Eignungsprüfung
Methoden	Befragung von Experten Literaturrecherche

3.2.2 Implementierungsphase 2: Anbahnung

Die zweite Implementierungsphase fokussiert die Identifikation geeigneter Kooperationspartner und strukturiert den Anbahnungsprozess. Grundlage sind die definierten Kooperationsziele und die abgeleiteten funktionalen Anforderungen des Moduls *Grundlegende Eignungsprüfung*, welches bereits in der ersten Implementierungsphase durchlaufen wurde.

Zur Identifikation passender Kooperationspartner wird ein zweistufiges Bewertungsverfahren verwendet. In einem ersten Schritt wird geprüft, ob die potenziellen Kooperationspartner eine grundlegende Eignung für ein kooperatives Ersatzteilmanagement aufweisen. Hierzu zählen beispielsweise der Betrieb eines Betreiber-Ersatzteilmanagements und die Möglichkeit, Prozesse anpassen zu können, um somit neue Strukturen im Ersatzteilmanagement definieren zu können. Diese erste Eignungsprüfung erfordert erneut das Modul *Grundlegende Eignungsprüfung*, welches in dieser Phase für den potenziellen Kooperationspartner durchlaufen wird und kann mit geringem Aufwand und ohne die Bereitstellung detaillierter Unternehmens- und Ersatzteildaten auf Basis der Checkliste durchgeführt werden.

Sofern das Ergebnis dieser ersten Eignungsprüfung positiv ist, folgt der zweite Schritt des Bewertungsverfahrens, indem eine vertiefte Eignungsanalyse des potenziellen Kooperationspartners durchgeführt wird. Dabei soll überprüft werden, ob die Aufnahme des Unternehmens vorteilhaft für das beitriffsinteressierte Unternehmen und die aktuellen Kooperationspartner ist. Dazu sind detaillierte Daten und Angaben zum Unternehmen, zu den verwendeten Ersatzteilen (beispielsweise Ersatzteilpreise und Ersatzteilbedarfe) und zur Kooperation (beispielsweise Kooperationsgröße und Anzahl der Lager) sowie die Bereitstellung erforderlicher Prozess- und Kostenparameter notwendig. Als Ergebnis liegt eine Wirtschaftlichkeitsbewertung des kooperativen Ersatzteilmanagements inklusive des beitriffsinteressierten Unternehmens vor. Um dies zu ermöglichen, sind Module sowohl zur *Analyse der Ersatzteilbestände* als auch für die *Wirtschaftlichkeitsbewertung* erforderlich. Die *Analyse der Ersatzteilbestände* ermittelt

erforderliche Eingangsdaten und Grundlagen für die *Wirtschaftlichkeitsbewertung*, die letztendlich die Eignung des potenziellen Kooperationspartners aufzeigt. Für die Erstellung dieser beiden Module werden eine ereignisorientierte Simulation beziehungsweise eine statische Kostenvergleichsrechnung angewendet. Darüber hinaus sollte gegebenenfalls eine kartellrechtliche Begleitung und Überprüfung der Kooperation durchgeführt werden. Etwaige Probleme hieraus ergeben sich zumeist jedoch erst bei einer wettbewerbseinschränkenden Ausgestaltung, die kleinere und mittlere Unternehmen selten erreichen. Informationen hierzu finden sich beispielsweise in [Bun-2007] und [Han-2022]. Tabelle 3-3 fasst die durchzuführenden Aufgaben, die dazu erforderlichen Module und die Methoden zur Entwicklung der Module zusammen.

Tabelle 3-3: Spezifikationen der Implementierungsphase Anbahnung (in Anlehnung an [Haf-2021b])

Implementierungsphase 2: Anbahnung	
Aufgaben	Identifikation geeigneter Kooperationspartner
Module	Grundlegende Eignungsprüfung Analyse der Ersatzteilbestände Wirtschaftlichkeitsbewertung
Methoden	Befragung von Experten Literaturrecherche Ereignisorientierte Simulation Statische Kostenvergleichsrechnung

3.2.3 Implementierungsphase 3: Aufbau

Die dritte Implementierungsphase Aufbau beschreibt die Struktur- und Prozessgestaltung der Kooperation, in der eine *Strukturelle Kooperationsgestaltung*, ein *Prozessframework* und ein *Incentivierungssystem* entworfen werden. Zur Entwicklung der Module werden Experten befragt und eine umfangreiche Literaturrecherche durchgeführt. Die *Strukturelle Kooperationsgestaltung* spezifiziert die grundlegende Struktur und Ausgestaltung der Kooperation, definiert beispielsweise die Finanzierungsmethode der Ersatzteile und charakterisiert die Bindungsintensität der Kooperation. Auf Basis einer morphologischen Analyse werden im Modul *Strukturelle Kooperationsgestaltung* grundlegende Ausgestaltungsformen definiert, nach denen eine Implementierung der Kooperation möglich ist. Darüber hinaus müssen die jeweils eingebrachten Ressourcen der Kooperationspartner (beispielsweise Personal und IT-Systeme) mit den notwendigen kooperativen Prozessen verknüpft werden. Erforderliche Prozesse des *Prozessframeworks* umfassen beispielsweise die kooperationsinterne Bestellung und Bereitstellung von Ersatzteilen im Bedarfsfall und sind in [Fot-2019, S. 47 ff] dargestellt.

Zur Beschreibung der Prozesse wurde dabei auf ereignisgesteuerte Prozessketten zurückgegriffen. Zusätzlich wird aufbauend auf den Ergebnissen der vorherigen ersten und zweiten Implementierungsphase in der aktuellen Phase mit Hilfe einer strategischen Incentivierungssystemgestaltung ein spezifisches *Incentivierungssystem* entwickelt. In Tabelle 3-4 sind die Aufgaben, die benötigten Module und die Methoden für die dritte Phase zusammengefasst.

Tabelle 3-4: Spezifikationen der Implementierungsphase Aufbau (in Anlehnung an [Haf-2021b])

Implementierungsphase 3: Aufbau	
Aufgaben	Definition der strukturellen und prozessualen Kooperationsgestaltung
Module	Strukturelle Kooperationsgestaltung Prozessframework Incentivierungssystem
Methoden	Befragung von Experten Literaturrecherche Morphologische Analyse Ereignisorientierte Prozessketten Strategische Incentivierungssystemgestaltung

3.2.4 Implementierungsphase 4: Dynamischer Betrieb

Mit Abschluss der dritten Implementierungsphase erreicht die Kooperation die dynamische Betriebsphase. Nach den vorangegangenen drei Phasen befindet sich die Kooperation nun in einer operativen Phase, in der die definierten und prognostizierten Leistungen eines kooperativen Ersatzteilmanagements erbracht werden. Die angestrebte Erhöhung der Effizienz und Versorgungssicherheit im Ersatzteilmanagement der einzelnen Kooperationspartner wird aufgrund bereits existierender Ersatzteilbestände mit zeitlicher Verzögerung erreicht. Um auf die unterschiedlichen Zustände eingehen und den aktuellen Status der Kooperation erfassen zu können, wird die dynamische Betriebsphase in drei Sub-Phasen unterteilt.

Dynamische Betriebsphase I: Ersatzteilversorgung aus dem Initialbestand

In der ersten dynamischen Betriebsphase der Kooperation verfügen die Unternehmen in der Regel über einen eigenen Bestand an Ersatzteilen, die sie im Vorfeld zu unterschiedlichen Konditionen erworben haben. Die Bestände entsprechender Ersatzteile werden in einem gemeinsamen Ersatzteilbestand virtuell zusammengefasst, wobei jedes Ersatzteil einem spezifischen Unternehmen zugeordnet ist. In diesem Stadium sind die Eigentumsverhältnisse klar definiert: Die Ersatzteile sind Eigentum des Unternehmens, das sie zuvor erworben hat.

Abbildung 3-3 veranschaulicht exemplarisch die dargestellte Ausgangssituation mit drei beispielhaften Unternehmen, die zukünftig drei Ersatzteile (ET1, ET2 und ET3) kooperativ bevorraten werden. Für jedes Ersatzteil wurde mit dem Modul *Analyse der Ersatzteilstände* durch eine ereignisorientierte Simulation der optimale Lagerbestand für die Kooperation, der im aktuellen Stadium jedoch noch überschritten wird, berechnet. Die Unternehmen greifen im Ersatzteilbedarfsfall auf ihre eigenen Bestände zurück, wodurch sich der gemeinsame kooperative Bestand reduziert und langfristig die angestrebten optimierten Bestandslevel erreicht werden. Es finden im Allgemeinen nur wenige Transaktionen zwischen den Unternehmen statt, da die einzelnen Unternehmen auf ihren Initialbestand zurückgreifen können. Sobald ein Unternehmen nicht mehr in der Lage ist, seinen Ersatzteilbedarf aus dem eigenen Anfangsbestand zu decken, muss es ein Ersatzteil von einem Kooperationspartner erwerben.

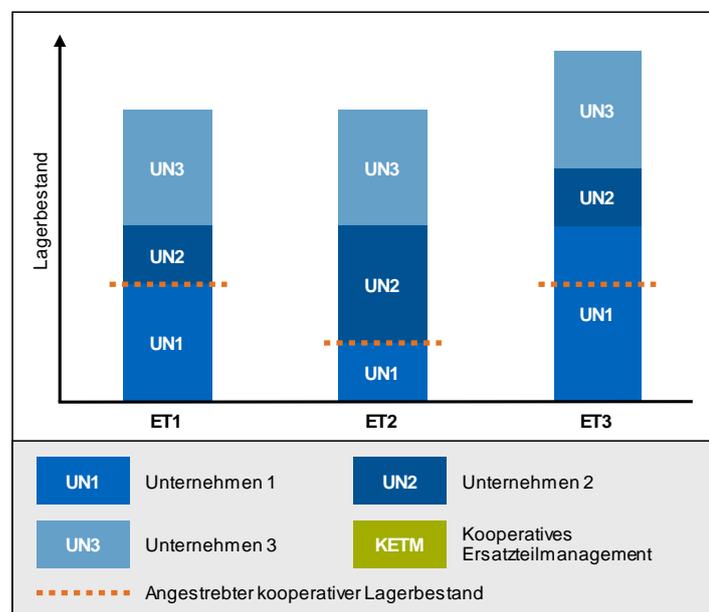


Abbildung 3-3: Bestandslevel beispielhafter Ersatzteile in der Dynamischen Betriebsphase I (in Anlehnung an [Haf-2021b])

In der *Dynamischen Betriebsphase I* ergibt sich für die Unternehmen bereits ein monetärer Vorteil durch den Beitritt zur Kooperation. Die Unternehmen können auf den kooperativen Ersatzteilbestand zurückgreifen und müssen in dieser Sub-Phase daher keine Ersatzteile nachkaufen. Möglicherweise von einem Kooperationspartner bezogene Ersatzteile werden basierend auf der im Modul *Strukturelle Kooperationsgestaltung* gemeinschaftlich festgelegten Ersatzteilpriorisierung zugewiesen. Obwohl der Ersatzteilbedarf innerhalb der Kooperation weiterhin größtenteils mit den bereits im Vorfeld angeschafften Ersatzteilen gedeckt wird, fallen bereits zusätzliche kooperationspezifische Kosten an (beispielsweise Servicekosten für die Infrastruktur und Personalkosten).

Dynamische Betriebsphase II: Gemischtes Ersatzteillager

Sobald der Lagerbestand eines kooperativ bevorrateten Ersatzteils das angestrebte optimierte Ersatzteillevel unterschreitet, muss ein neues entsprechendes Ersatzteil nachbestellt werden. Abhängig von der im Modul *Strukturelle Kooperationsgestaltung* festgelegten Finanzierungsmethode der Kooperation für neu zu beschaffende Ersatzteile wird das entsprechende Ersatzteil von mindestens einem Kooperationspartner finanziert. Mit diesem ersten Erwerb eines Ersatzteils für die Kooperation und dem Erreichen des optimalen Bestandslevels für dieses Ersatzteil beginnt die *Dynamische Betriebsphase II*. Diese Phase ist charakterisiert durch ein gemischtes Ersatzteillager, in dem mindestens ein Ersatzteil kooperativ nachbestellt wurde und sein optimiertes Bestandslevel erreicht hat, während andere Ersatzteilbedarfe weiterhin aus dem jeweiligen Initialbestand versorgt werden. Sie umfasst daher auch den Zustand, bei dem die Ersatzteilbestände ihren jeweiligen Bevorratungsempfehlungen entsprechen, jedoch weiterhin Ersatzteile aus dem Initialbestand bevorratet werden. Bereits in dieser Sub-Phase profitieren die Kooperationspartner intensiv von der vereinbarten Kooperation, gleichwohl hat diese noch nicht ihren optimalen Betriebspunkt erreicht.

Abbildung 3-4 zeigt die Bestandslevel für das exemplarische kooperative Ersatzteilmanagement.

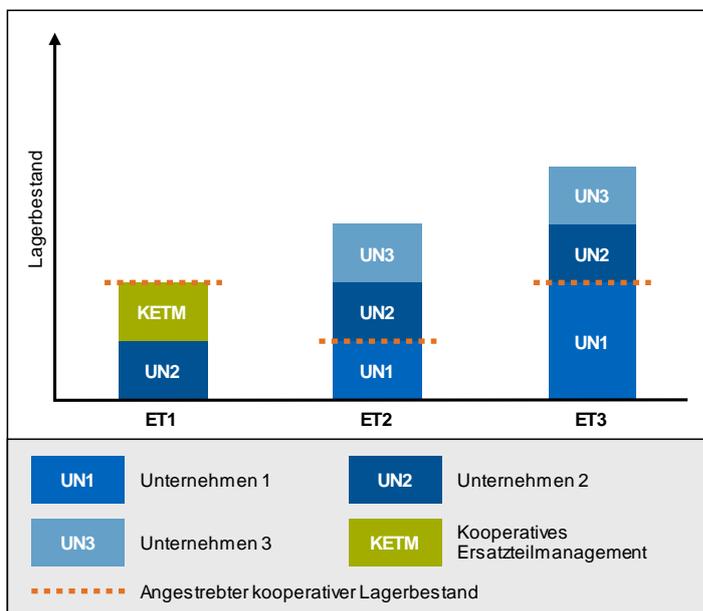


Abbildung 3-4: Bestandslevel beispielhafter Ersatzteile in der Dynamischen Betriebsphase II (in Anlehnung an [Haf-2021b])

Es ist ersichtlich, dass die Bestände aller Ersatzteile gegenüber der ersten dynamischen Betriebsphase reduziert werden konnten. Darüber hinaus wurde das Ersatzteil ET1 bereits kooperativ nachbestellt und hat sein optimiertes Bestandslevel erreicht, wobei weiterhin ein entsprechendes Ersatzteil bereits vor der Kooperation angeschafft

50

wurde. Das beim Lieferanten nachbestellte Ersatzteil zur kooperationsinternen Lagerung und das jeweils im Bedarfsfall vom Kooperationspartner zu beziehende Ersatzteil werden anhand von definierten Strategien zugeordnet. Je nachdem, welches Ersatzteil einem Kooperationspartner zugewiesen wird, sind unterschiedliche Arten von Zahlungen zwischen den einzelnen Kooperationspartnern erforderlich (Modul *Strukturelle Kooperationsgestaltung*). Diese Ersatzteilpriorisierung und der zu zahlende Ersatzteilpreis sind von entscheidender Bedeutung für eine faire Ausgestaltung der Kooperation, da die bevorrateten Ersatzteile mit hoher Wahrscheinlichkeit zu unterschiedlichen Konditionen beschafft wurden.

Dynamische Betriebsphase III: Optimiertes kooperatives Ersatzteillager

Sobald alle Ersatzteile aus dem jeweiligen Initialbestand der Kooperationspartner aufgebraucht sind, erreicht die Kooperation die *Dynamische Betriebsphase III*. Zu diesem Zeitpunkt sind die zu unternehmensindividuellen Konditionen erworbenen Ersatzteile bereits in Verwendung. In dieser Phase wurden dementsprechend alle erforderlichen Ersatzteile zu gemeinschaftlichen Einkaufskonditionen nachbestellt und die jeweiligen Bestandslevel der Ersatzteile entsprechen den angestrebten optimierten Bevorratungsempfehlungen (Abbildung 3-5).

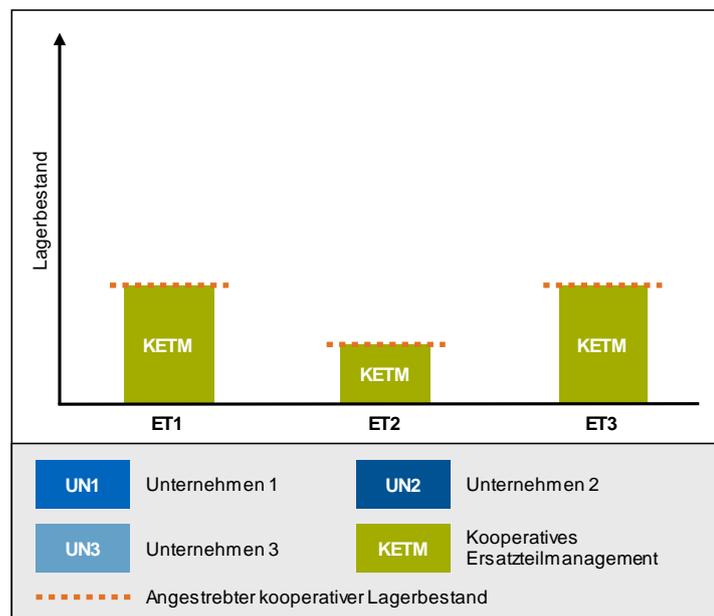


Abbildung 3-5: Bestandslevel beispielhafter Ersatzteile in der Dynamischen Betriebsphase III (in Anlehnung an [Haf-2021b])

In der *Dynamischen Betriebsphase III* ist die Implementierung des kooperativen Ersatzteilmanagements abgeschlossen. Die Kooperation hat ihren optimalen Betriebspunkt erreicht und auch die Finanzierungsmethode ist durch den kooperativen Erwerb

der Ersatzteile abschließend umgesetzt. Dadurch können die einzelnen Kooperationspartner in vollem Umfang von den Vorteilen der Kooperation profitieren. Die verringerten kooperativen Ersatzteilbestände führen zu einer deutlichen Reduktion der erforderlichen Kapitalbindung. Zusätzlich profitieren die Kooperationspartner von Beschaffungsvorteilen aufgrund einer erhöhten Abnahmemenge und eines gesteigerten Marktmachtfaktors durch den gemeinsamen Auftritt als Verhandlungspartner.

Während des Durchlaufens der drei Sub-Phasen und im gesamten operativen Betrieb der Kooperation besteht grundsätzlich weiterhin die Notwendigkeit einer regelmäßigen Wirtschaftlichkeitsbewertung auf Basis der statischen Kostenvergleichsrechnung und einer Analyse der kooperativen Ersatzteilbestände mittels ereignisorientierter Simulation. Tabelle 3-5 fasst die erforderlichen Aufgaben, Module und Methoden der vierten Phase zusammen.

Tabelle 3-5: Spezifikationen der Implementierungsphase Dynamischer Betrieb (in Anlehnung an [Haf-2021b])

Implementierungsphase 4: Dynamischer Betrieb	
Aufgaben	Finale Implementierung und Monitoring der Kooperation
Module	Analyse der Ersatzteilbestände Wirtschaftlichkeitsbewertung
Methoden	Ereignisorientierte Simulation Statische Kostenvergleichsrechnung

4 Module für ein kooperatives Ersatzteilmanagement

In diesem Kapitel werden in Abschnitt 4.1 ergänzend zu Abschnitt 3.2 zunächst die Implementierungsphasen, die in den jeweiligen Phasen benötigten Module und deren Zusammenhänge erläutert. Anschließend werden die einzelnen Module in den Abschnitten 4.2 bis 4.6 detailliert dargestellt. Dazu werden zu Beginn des jeweiligen Abschnitts die Module als Blackbox zur Erfüllung der eigentlichen Funktionen mit notwendigen Funktionseingängen und angestrebten Funktionsausgängen beschrieben.

4.1 Integration der Module in die Implementierungsmethodik

Nachdem in Kapitel 3 die Implementierungsphasen grundlegend erläutert wurden, ist es erforderlich, die Abläufe und Übergänge zwischen den einzelnen Modulen und Phasen herauszuarbeiten. Dazu sind in Abbildung 4-1 die vier Implementierungsphasen und die jeweils zugeordneten Module dargestellt.

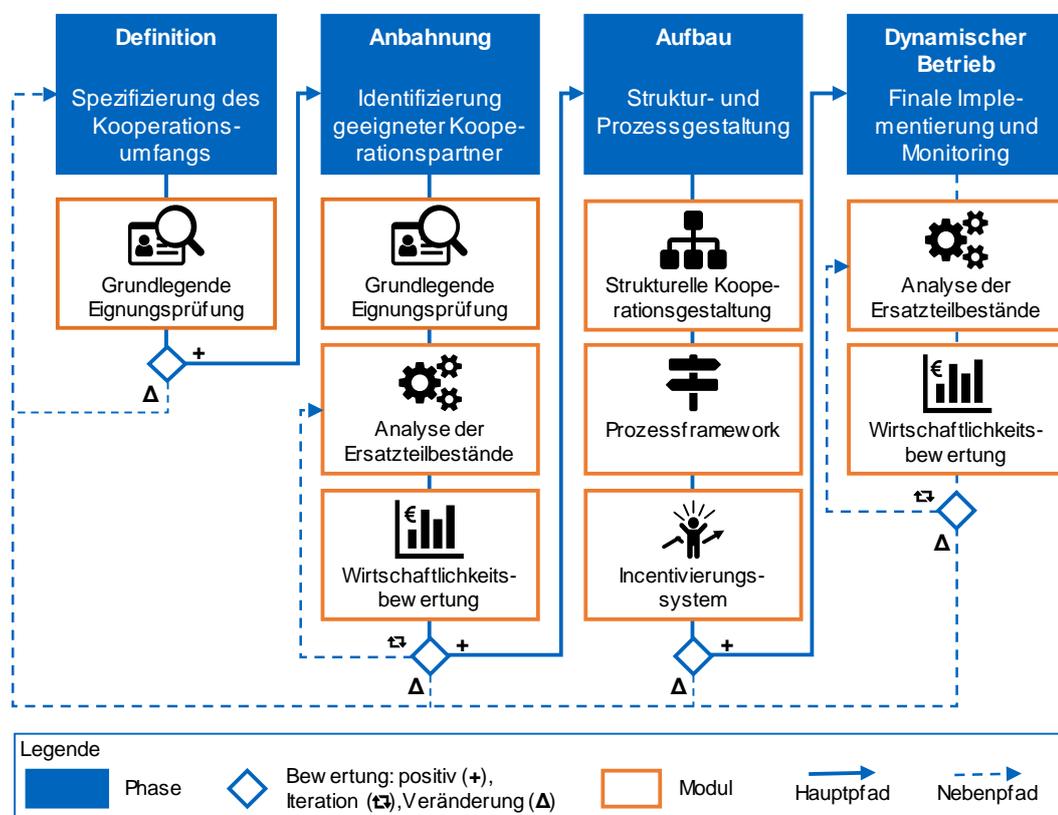


Abbildung 4-1: Implementierungsphasen und erforderliche Module

Die Definition der insgesamt sechs erforderlichen Module ergibt sich aus der thematischen Bündelung zur Erreichung der jeweiligen phasenspezifischen Aufgaben (Abschnitt 3.2) und einer möglichst eindeutigen funktionalen Abgrenzung zueinander. Zu Beginn wird in der Phase *Definition* das Modul *Grundlegende Eignungsprüfung* zur Prüfung des eigenen Unternehmens und des Marktumfelds (Abschnitt 4.2) ausgeführt. Erzielt die Durchführung ein positives Ergebnis, wird es in der Phase *Anbahnung* erneut durchlaufen, um geeignete Kooperationspartner zu identifizieren. Anschließend werden die Ersatzteilbestände analysiert (Abschnitt 4.3). Die Ergebnisse dieses Moduls bilden die Grundlage für die Wirtschaftlichkeitsbewertung des kooperativen Ersatzteilmanagements (Abschnitt 4.4). Insbesondere die Module zur *Analyse der Ersatzteilebestände* und zur *Wirtschaftlichkeitsbewertung* können im Bedarfsfall iterativ durchlaufen werden, um eine für die Kooperation bestmögliche Ersatzteilauswahl zu bestimmen. Bei einer positiven Bewertung der Ergebnisse wird in der Phase *Aufbau* im Modul *Strukturelle Kooperationsgestaltung* die Struktur der Kooperation festgelegt (Abschnitt 4.5). Anschließend muss ein *Prozessframework* definiert werden, in dem notwendige operative Prozesse festgelegt sind. Diese sind von *Fottner et al.* bereits ausführlich beschrieben und werden in der vorliegenden Arbeit daher nicht fokussiert [Fot-2019, S. 47ff]. Zusätzlich ist die Definition eines *Incentivierungssystems* erforderlich (Abschnitt 4.6), bevor bei einer positiven Bewertung die Phase *Dynamischer Betrieb* erreicht wird. In dieser Phase der finalen Implementierung und des operativen Betriebs der Kooperation werden die Module *Analyse der Ersatzteilbestände* und *Wirtschaftlichkeitsbewertung* kontinuierlich und iterativ verwendet, um den Status der Kooperation beurteilen und gegebenenfalls optimieren zu können. Für den Fall größerer Abweichungen, beispielsweise aufgrund eines stark veränderten Ersatzteilbedarfs oder dem Beitritt zusätzlicher Unternehmen, müssen die einzelnen Phasen und die jeweiligen Module erneut durchlaufen werden. Für die beschriebene Integration der Module in die Implementierungsmethodik zeigt die Abbildung 4-1 die Bewertungen positiv, Iteration und Veränderung. Daneben ist auch ein Abbruch der Implementierungsmethodik bei negativer Bewertung möglich (Abschnitt 3.2), der an dieser Stelle jedoch nicht fokussiert und dargestellt wird.

4.2 Grundlegende Eignungsprüfung

Im vorliegenden Abschnitt wird das Modul *Grundlegende Eignungsprüfung* beschrieben. Dieses Modul ist zu Beginn in den ersten beiden Implementierungsphasen erforderlich und ermöglicht eine Überprüfung, ob die angestrebten Ziele (Abschnitt 3.1 und 3.2) mit Hilfe eines kooperativen Ersatzteilmanagements erreicht werden können. Dazu wird geprüft, ob das eigene Unternehmen sowie potenzielle Kooperationspartner grundsätzlich für kooperatives Ersatzteilmanagement geeignet sind. Einzelne Inhalte

dieses Abschnitts sind bereits in [Haf-2021a] und [Kep-2020] veröffentlicht. Der nachfolgende Abschnitt detailliert das Vorgehen zur Entwicklung des Moduls, strukturiert es in funktionale Teilbereiche und erläutert dessen phasenspezifische Anwendung.

4.2.1 Modulanforderungen

Zur Entwicklung des Moduls werden nachfolgend zunächst die notwendigen Modulanforderungen ermittelt. Dazu stellt Abbildung 4-2 erforderliche Funktionseingänge und Funktionsausgänge dar. Die Funktionseingänge umfassen grundlegende unternehmens- und marktumfeldspezifische Informationen, die im Modul insbesondere mit Hilfe einer Checkliste eine Bewertung der Eignung für ein kooperatives Ersatzteilmanagement (KETM) ermöglichen. Die Bewertung umfasst dabei sowohl das eigene Unternehmen als auch das jeweilige Marktumfeld mit entsprechenden potenziellen Kooperationspartnern.



Abbildung 4-2: Modul Grundlegende Eignungsprüfung mit erforderlichen Funktionseingängen und Funktionsausgängen

Die Anforderungen an das Modul setzen sich aus den grundsätzlichen Anforderungen an die Implementierungsmethodik (Unterabschnitt 3.1.2) und den aus den Funktionseingängen und Funktionsausgängen abgeleiteten modulspezifischen funktionalen Anforderungen zusammen. Tabelle 4-1 fasst diese funktionalen Modulanforderungen zusammen.

Tabelle 4-1: Funktionale Anforderungen an das Modul Grundlegende Eignungsprüfung

F-1.1	Integrierte Eignungsprüfung der Kooperation, des Unternehmens und des Marktumfelds
F-1.2	Phasenspezifische Anwendbarkeit des Moduls
F-1.3	Durchführung der Eignungsprüfung auf Basis qualitativer Informationen

F-1.1 Integrierte Eignungsprüfung der Kooperation, des Unternehmens und des Marktumfelds: Mit Hilfe des Moduls sollen in einer integrierten Analyse sowohl die Kooperationsidee, das eigene Unternehmen als auch das Marktumfeld mit potenziellen Kooperationspartnern bewertet werden können. Diese integrierte Eignungsprüfung

ist erforderlich, um nicht einzelne isolierte Bereiche zu betrachten und um eine ganzheitliche Bewertung der Eignung für ein kooperatives Ersatzteilmanagement zu ermöglichen.

F-1.2 Phasenspezifische Anwendbarkeit des Moduls: Es ist erforderlich, dass das entwickelte Modul in den Implementierungsphasen *Definition* und *Anbahnung* angewendet werden kann (Abschnitt 3.2 und 4.1). In der ersten Implementierungsphase *Definition* sollte das Modul eine Prüfung des eigenen Unternehmens, welches eine Kooperation implementieren möchte, und des Marktumfelds ermöglichen. Demgegenüber werden in der Implementierungsphase *Anbahnung* potenzielle Kooperationspartner auf ihre grundsätzliche Eignung überprüft. In beiden Anwendungsfällen soll das vorliegende Modul verwendet werden können, um mögliche Überschneidungen mit anderen Modulen zu vermeiden und um die Komplexität zu reduzieren.

F-1.3 Durchführung der Eignungsprüfung auf Basis qualitativer Informationen: Zu Beginn der Implementierung der Kooperation soll mit Hilfe des Moduls überprüft werden, ob die für eine Implementierung notwendigen Voraussetzungen erfüllt sind, beziehungsweise ob ein potenziell interessiertes Unternehmen ein grundsätzlich geeigneter Kooperationspartner ist. Diese Überprüfungen sollten daher auf Basis qualitativer Informationen von Anwendern mit entsprechenden Kenntnissen durchgeführt werden, um mögliche Initiierungshemmnisse zu vermeiden und zusätzlich die initiale Entscheidung anhand eines sauber definierten Sets an Kriterien zu beurteilen.

Zur Erfüllung der grundsätzlichen und modulspezifischen funktionalen Anforderungen wird nachfolgend basierend auf einer vorangestellten detaillierten Literaturrecherche und Befragung von Experten eine Vorgehensweise zur Eignungsprüfung inklusive einer Checkliste zur Bewertung der grundsätzlichen Eignung erstellt. Eine solche Checkliste stellt ein Standardbewertungsinstrument dar und ermöglicht damit insbesondere eine aufwandsarme grundsätzliche Eignungsprüfung.

4.2.2 Vorgehen der Eignungsprüfung

Die für die Durchführung der grundlegenden Eignungsprüfung erforderlichen Bewertungsschritte sind in Abbildung 4-3 dargestellt.

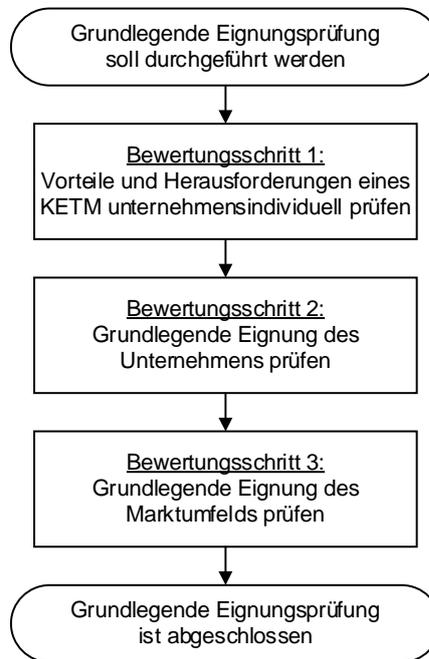


Abbildung 4-3: Vorgehen zur Durchführung der grundlegenden Eignungsprüfung (in Anlehnung an [Haf-2021a])

In einem ersten Schritt müssen die Vorteile und Herausforderungen eines kooperativen Ersatzteilmanagements unternehmensindividuell bewertet werden (Unterabschnitt 4.2.3). Es soll insbesondere sichergestellt werden, dass sich alle interessierten Unternehmen der zu erwartenden positiven Effekte sowie der damit einhergehenden Herausforderungen bewusst sind und diese mit Überzeugung annehmen. Anschließend wird in einem zweiten Bewertungsschritt die grundlegende Eignung des Unternehmens überprüft. Dadurch wird gewährleistet, dass weitere Überprüfungen nur durchgeführt werden, wenn eine Implementierung aus Unternehmensperspektive vorteilhaft erscheint. In einem abschließenden dritten Bewertungsschritt wird das Marktumfeld überprüft. Je nach Implementierungsphase werden dabei allgemein potenzielle Kooperationspartner (Implementierungsphase *Definition*) oder ein spezifisches Unternehmen (Implementierungsphase *Anbahnung*) überprüft. Die Bewertungsschritte 2 und 3 werden in einer Checkliste zusammengefasst (Unterabschnitt 4.2.4). Die Eignungsprüfung ist abgeschlossen und eine grundlegende Eignung vorhanden, wenn alle durchzuführenden Schritte positiv bewertet wurden.

4.2.3 Vorteile und Herausforderungen eines kooperativen Ersatzteilmanagements

Bewertungsschritt 1 des Vorgehens der Eignungsprüfung erfordert die Erarbeitung der Vorteile und Herausforderungen eines kooperativen Ersatzteilmanagements. Diese werden nachfolgend herausgearbeitet und deren Auswirkungen auf die Kooperation und das einzelne Unternehmen erläutert. Die Bewertung der Vorteile und Herausforderungen erhöht bereits in einer frühen Implementierungsphase das Verständnis des einzelnen Unternehmens für ein kooperatives Ersatzteilmanagement und ist grundlegend für dessen angestrebte Implementierung. Nachfolgend werden die Vorteile und Herausforderungen eines kooperativen Ersatzteilmanagements in Tabelle 4-2 zusammengefasst und erläutert.

Tabelle 4-2: Vorteile und Herausforderungen eines kooperativen Ersatzteilmanagements (in Anlehnung an [Haf-2021a])

Vorteile	Herausforderungen
Reduzierter Ersatzteilbestand	Erhöhter Administrationsaufwand
Verbesserte Verhandlungsposition	Unternehmensübergreifende Ersatzteiltransporte
Reduzierte Obsoleszenz von Ersatzteilen	Komplexe Kostenberechnung und -verteilung
Risikodiversifizierung und -minimierung	Reduzierte Autonomie und Eigenständigkeit

Ein Hauptvorteil der Implementierung eines kooperativen Ersatzteilmanagements besteht darin, dass der erforderliche Ersatzteilbestand gegenüber einem unternehmensindividuellen Ersatzteilmanagement reduziert wird. Innerhalb der Kooperation müssen insgesamt mehr Ersatzteile gelagert werden, der Bestand pro Unternehmen ist jedoch verringert, wodurch auch die Lagerkosten und die Kapitalbindung zurückgehen. Die erreichbare Bestandsreduktion ist abhängig von den spezifischen Rahmenbedingungen (Unterabschnitt 2.4.2). Darüber hinaus bietet der kooperative Ansatz Vorteile bei der Ersatzteilbeschaffung aufgrund eines erhöhten Einkaufsvolumens und einer damit einhergehenden größeren Marktmacht, wodurch die Beschaffungskosten gesenkt werden können. Zusätzlich reduziert die erhöhte Nachfragedynamik innerhalb der Kooperation die Lagerungsdauer einzelner Ersatzteile, womit insbesondere negative Alterungseffekten von Ersatzteilen mit geringer Bedarfscharakteristik (insbesondere Reserveteile) entgegengewirkt wird. Dadurch können die natürliche Obsoleszenz und das Risiko einer notwendigen Entsorgung bevorrateter Ersatzteile verringert werden. Schließlich minimiert ein kooperatives Ersatzteilmanagement die allgemeinen Risiken der Ersatzteilbevorratung durch eine positive Risikodiversifizierung auf alle kooperierenden Unternehmen, insbesondere indem der Nichtverfügbarkeit bestimmter Ersatzteile entgegengewirkt wird.

Eine besondere Herausforderung ist ein gegenüber einem individuellen Ersatzteilmanagement potenziell erhöhter erforderlicher Administrationsaufwand, der durch den Einsatz digitaler Technologien bestmöglich reduziert werden sollte. Dazu sollte beispielsweise ein zentrales IT-System bereitgestellt werden, das alle relevanten unternehmens- und ersatzteilspezifischen Daten verwaltet. Dennoch fällt im laufenden Betrieb ein verwaltungstechnischer Aufwand an, den die beteiligten Unternehmen gemeinsam bewältigen müssen. Darüber hinaus können für die Bereitstellung kooperativ gelagerter Ersatzteile zusätzliche unternehmensübergreifende Ersatzteiltransporte erforderlich sein, sofern das benötigte und zugewiesene Ersatzteil bei einem der Kooperationspartner gelagert ist. Hierfür fallen gesonderte Kosten an und die Bereitstellungszeit ist gegenüber einem individuellen Ersatzteilmanagement erhöht. Die gemeinsamen Anstrengungen und damit einhergehenden Kosteneinsparungen erfordern eine komplexe Kostenberechnung und -verteilung zwischen den beteiligten Unternehmen. Die Berechnungsmethodik muss transparent, fair und jederzeit nachvollziehbar sein, um das Vertrauen zu stärken und vermeintlichen Nachteilen entgegenzuwirken. Abschließend kann die reduzierte Autonomie und Eigenständigkeit im Ersatzteilmanagement herausfordernd und abhängig von dem einzelnen Unternehmen ein Implementierungshindernis sein.

4.2.4 Überprüfung unternehmens- und marktumfeldspezifischer Voraussetzungen

Für die Durchführung von Bewertungsschritt 2 und 3 wird eine Checkliste (Abbildung 4-4) erarbeitet. Die Checkliste gliedert sich in zwei Abschnitte und prüft zunächst unternehmensspezifische Voraussetzungen (Bewertungsschritt 2) und anschließend marktumfeldspezifische Voraussetzungen (Bewertungsschritt 3).

Der erste Abschnitt der Checkliste wird entweder für das die Kooperation initiiierende Unternehmen (Implementierungsphase *Definition*) oder einen potenziellen Kooperationspartner (Implementierungsphase *Anbahnung*) durchlaufen. Dabei muss zunächst überprüft werden, ob der Betrieb eines Betreiber-Ersatzteilmanagements möglich ist und ob neue Strukturen in den entsprechenden Bereichen implementiert werden können. Diese Voraussetzungen stellen sicher, dass ein kooperatives Ersatzteilmanagement eingeführt werden kann und nicht beispielsweise bestehende Serviceverträge oder starre Unternehmensstrukturen ein Hindernis darstellen. Weiterhin ist eine Bevorratung hochpreisiger Ersatzteile zur Sicherstellung des Betriebs der technischen Systeme erforderlich. Aufgrund der zu erwartenden zusätzlichen Kosten in einem kooperativen Ersatzteilmanagement können grundsätzlich nur hochpreisige Ersatzteile wirtschaftlich bevorratet werden. Bei diesen Ersatzteilen sollte es sich zusätzlich um Reserveteile oder Ersatzteile mit sporadischem Bedarf handeln, da für diese ein hohes

Lagerbestandssenkungspotenzial zu erwarten ist. Sowohl die Bewertung des Preiskriteriums als auch des Bedarfs werden in diesem Modul ausschließlich subjektiv durchgeführt. Eine genaue Quantifizierung der Vorteile erfolgt in den Modulen *Analyse der Ersatzteilbestände* (Abschnitt 4.3) und *Wirtschaftlichkeitsbewertung* (Abschnitt 4.4).

Sofern alle unternehmensspezifischen Punkte erfüllt sind, prüft der zweite Abschnitt der Checkliste das Marktumfeld der potenziellen Kooperation. Abhängig von der aktuellen Implementierungsphase wird die Überprüfung allgemein für das Marktumfeld (Implementierungsphase *Definition*) oder für das spezifisch zu überprüfende Unternehmen durchgeführt und in Bezug auf die bereits bestehende Kooperation bewertet (Implementierungsphase *Anbahnung*). Eine Voraussetzung ist, dass die Unternehmen vergleichbare technische Systeme betreiben, um eine Überschneidung der zu bevorzughenden Ersatzteile sicherzustellen. Darüber hinaus müssen die Unternehmen eine angemessene geografische Entfernung zueinander aufweisen, sodass notwendige unternehmensübergreifende Ersatzteillieferungen per Direkttransport in einer möglichst geringen und individuell festzulegenden Zeit bereitgestellt werden können. Wenn alle Voraussetzungen erfüllt sind, ist die grundlegende Eignungsprüfung erfolgreich abgeschlossen.

Checkliste „Grundlegende Eignungsprüfung“	
Unternehmen	
<input checked="" type="checkbox"/>	Möglichkeit des Betriebs eines Betreiber-Ersatzteilmanagements
<input checked="" type="checkbox"/>	Möglichkeit der Implementierung neuer Strukturen im Ersatzteilmanagement
<input checked="" type="checkbox"/>	Notwendigkeit der Bevorratung hochpreisiger Ersatzteile
<input checked="" type="checkbox"/>	Notwendigkeit der Bevorratung von Reserveteilen und Ersatzteilen mit sporadischem Bedarf
Marktumfeld	
<input checked="" type="checkbox"/>	Betrieb vergleichbarer technischer Systeme
<input checked="" type="checkbox"/>	Angemessene geografische Entfernung der Unternehmensstandorte

Abbildung 4-4: Checkliste für die Bewertung der unternehmens- und marktumfeldspezifischen Voraussetzungen (in Anlehnung an [Haf-2021a])

4.2.5 Zusammenfassung und kritische Modulreflexion

Das Modul *Grundlegende Eignungsprüfung* ermöglicht anhand eines dreistufigen Vorgehens die Bewertung unternehmens- und marktumfeldspezifischer Voraussetzungen. Zur Durchführung der erforderlichen Bewertungsschritte wurde eine Checkliste

definiert. Nach erfolgreicher Anwendung des Moduls ist eine grundlegende Eignung für ein kooperatives Ersatzteilmanagement sichergestellt.

Das entwickelte Modul erfüllt die grundsätzlichen und funktionalen Anforderungen. Es ermöglicht eine Skalierbarkeit des Betrachtungsgegenstands (G-1) und eine Anpassbarkeit der Methodik (G-2), indem die jeweilige Kooperation betrachtet und Bewertungsparameter individuell festgelegt werden können. Die Eignungsprüfung kann auf Basis einer qualitativen Überprüfung mit einem geringen Zeitaufwand (G-3) ohne die Bereitstellung detaillierter Datensätze (G-4) durchgeführt werden. Aufgrund des definierten Vorgehens und der Checkliste ist eine Transparenz und Nachvollziehbarkeit sichergestellt (G-5).

Je nach Implementierungsphase unterstützt das Modul sowohl die Bewertung der Kooperationsidee (Vorteile und Herausforderungen), der Eignung des eigenen Unternehmens und des Marktumfelds im Allgemeinen als auch eines potenziellen Kooperationspartners (F-1.1 und F-1.2). Die Eignungsprüfung kann dabei ohne zusätzliche Datensätze von einem Anwender mit dem entsprechenden Knowhow auf Basis qualitativer Informationen durchgeführt werden (F-1.3). Dabei ist jedoch anzumerken, dass die Bewertung auf Basis dieser qualitativen Informationen stark subjektiv geprägt und eine objektive sowie fundierte Bewertung erschwert sein kann.

4.3 Analyse der Ersatzteilbestände

Der nachfolgende Abschnitt beschreibt das Modul *Analyse der Ersatzteilbestände*. Dieses ist erforderlich, um die gewünschte Ersatzteilversorgung auch kooperativ sicherstellen zu können. Grundlegende Ansätze und Elemente dieses Moduls sind bereits in [Haf-2019b] und [Loo-2019] veröffentlicht, wobei in der vorliegenden Arbeit darüber hinausgehend insbesondere die Modulanforderungen, die Implementierung und die Evaluierung fokussiert werden. Zusätzlich wird ein Vorgehen zur Vorauswahl der Ersatzteile beschrieben und die Modellierung des Systems vertieft.

4.3.1 Modulanforderungen

Abbildung 4-5 stellt die erforderlichen Funktionseingänge und Funktionsausgänge dar. Die Funktionseingänge umfassen ersatzteilspezifische (beispielsweise Ersatzteilbedarf und Ersatzteilwiederbeschaffungszeit) und kooperationspezifische Informationen (beispielsweise Anzahl kooperierender Unternehmen). Diese Informationen werden im Modul mit Hilfe eines Simulationsmodells analysiert und daraus die notwendigen Da-

ten berechnet, die insbesondere den prognostizierten erforderlichen Bestand je Ersatzteil innerhalb der Kooperation und den resultierenden Servicegrad je Ersatzteil umfassen.



Abbildung 4-5: Modul Analyse der Ersatzteilbestände mit erforderlichen Funktionseingängen und Funktionsausgängen

Zunächst werden Anforderungen an das Modul definiert, die das angestrebte Modulverhalten sicherstellen und eine Umsetzung ermöglichen sollen. Die erforderlichen Anforderungen setzen sich aus den in Unterabschnitt 3.1.2 dargestellten grundsätzlichen Anforderungen an die Implementierungsmethodik und modulspezifischen funktionalen Anforderungen zusammen, wobei die funktionalen Anforderungen aus den dargestellten Funktionseingängen und Funktionsausgängen (Abbildung 4-5) abgeleitet werden. Nachfolgend werden die in Tabelle 4-3 zusammengefassten funktionalen Anforderungen an das Modul *Analyse der Ersatzteilbestände* erläutert.

Tabelle 4-3: Funktionale Anforderungen an das Modul Analyse der Ersatzteilbestände

F-2.1	Integrierte Analyse des erforderlichen Ersatzteilbestands und Servicegrads
F-2.2	Analyse auf Basis unternehmensindividueller Ersatzteildaten
F-2.3	Berücksichtigung definierter Prozesse eines KETM
F-2.4	Abbildung stochastischer Ersatzteilbedarfe
F-2.5	Erhöhung des Systemverständnisses für ein noch nicht existierendes System

F-2.1 Integrierte Analyse des erforderlichen Ersatzteilbestands und Servicegrads: Zur Sicherstellung einer kooperativen Ersatzteilversorgung muss das entwickelte Modul eine Bestimmung des erforderlichen Ersatzteilbestands und des daraus resultierenden Servicegrads je Unternehmen und Ersatzteil für ein individuelles Ersatzteilmanagement und für ein kooperatives Ersatzteilmanagement ermöglichen. Auf Basis dieser Informationen können die Lagerbestände und der Servicegrad bewertet und mögliche Potenziale aufgezeigt werden.

F-2.2 Analyse auf Basis unternehmensindividueller Ersatzteildaten: Für das zu implementierende kooperative Ersatzteilmanagement existieren je nach Implementie-

rungsphase keine vergangenheitsbasierten Daten. Dementsprechend muss die Analyse der Ersatzteilbestände basierend auf unternehmensindividuellen Ersatzteildaten durchgeführt werden.

F-2.3 Berücksichtigung definierter Prozesse eines kooperativen Ersatzteilmanagements: In einem kooperativen Ersatzteilmanagement müssen neue Prozesse implementiert werden, die sich von den bisherigen unternehmensindividuellen Prozessen unterscheiden. Das Modul muss daher die definierten Prozesse klar herausarbeiten und im Systemverhalten berücksichtigen, um die Ableitung passender und anforderungsgerechter Aussagen zu ermöglichen.

F-2.4 Abbildung stochastischer Ersatzteilbedarfe: Für die Berechnung des erforderlichen Ersatzteilbestands existieren verschiedene Verfahren und Ansätze. Aufgrund eines sporadischen Bedarfs geeigneter Ersatzteile müssen stochastische Ersatzteilbedarfe abgebildet und modelliert werden können.

F-2.5 Erhöhung des Systemverständnisses für ein noch nicht existierendes System: Es ist notwendig, dass die Analyse der Ersatzteilbestände eine Erhöhung des Systemverständnisses für ein noch nicht existierendes oder ein anzupassendes System mit zu implementierenden Prozessen ermöglicht. Je nach Implementierungsphase können dadurch auftretende Effekte und Auswirkungen unterschiedlicher kooperativer Lagerbestände auf den resultierenden Servicegrad innerhalb der Kooperation bereits vorab abgeschätzt und entsprechend berücksichtigt werden.

Zur Erfüllung der grundsätzlichen und funktionalen Modulanforderungen wird nach einer vorangestellten Vorauswahl geeigneter Ersatzteile eine Simulation verwendet und ein entsprechendes ereignisorientiertes Simulationsmodell entwickelt. Dieses ermöglicht die Modellierung und Untersuchung eines komplexen logistischen Systems sowie eine aufwandsarme und anforderungsgemäße Integration stochastischer Ersatzteilbedarfe. Dazu werden nachfolgend zunächst ein Vorgehen zur Vorauswahl geeigneter Ersatzteile sowie das zu simulierende System beschrieben, um anschließend die Modellierung und Implementierung im Simulationsmodell zu erläutern.

4.3.2 Vorauswahl geeigneter Ersatzteile

Für die Analyse der Ersatzteilbestände muss zunächst eine Vorauswahl geeigneter Ersatzteile getroffen werden. Diese wird auf Basis der in [Fot-2019, S. 24] definierten Haupteigenschaften poolinggeeigneter Ersatzteile durchgeführt. Geeignete Ersatzteile sind hochpreisig, weisen einen schwierig prognostizierbaren Bedarf und eine Über-

schneidung innerhalb der Kooperation auf. Während die Ersatzteilpreise und die Prognostizierbarkeit des Bedarfs individuell für jedes Unternehmen analysiert werden können, wird die Ersatzteilüberschneidung über einen direkten Abgleich mit Ersatzteildaten eines potenziellen Kooperationspartners überprüft. Daher müssen für diese Vorauswahl geeigneter Ersatzteile bereits grundlegende ersatzteilspezifische Informationen der einzelnen potenziellen Kooperationspartner vorliegen. Für die Vorauswahl sind für jedes interessierte Unternehmen folgende Ersatzteildaten bereitzustellen:

- Ersatzteilpreis je Ersatzteil
- Bedarfszeitpunkte je Ersatzteil im Betrachtungszeitraum
- spezifische Ersatzteilbezeichnung und -identifikationsnummer

Auf Basis dieser Daten kann die Vorauswahl geeigneter Ersatzteile getroffen werden. Das Vorgehen hierzu ist in Abbildung 4-6 dargestellt.

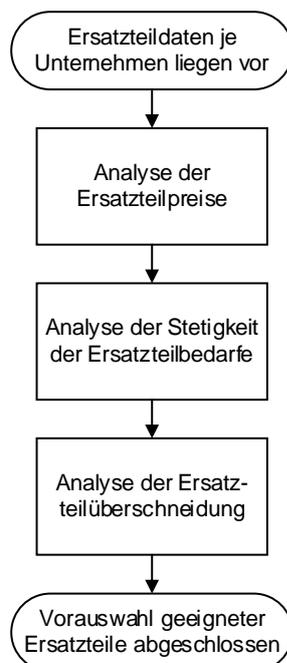


Abbildung 4-6: Vorgehen zur Vorauswahl geeigneter Ersatzteile

Nachdem die Daten vorliegen, werden diese zunächst hinsichtlich eines Preiskriteriums analysiert. Ersatzteile unterhalb eines definierten Ersatzteilpreises werden nicht berücksichtigt. Das Ersatzteilpreiskriterium soll sicherstellen, dass keine Ersatzteile betrachtet werden, die innerhalb der Kooperation nicht wirtschaftlich bevorratet werden können. Das Kriterium ist individuell festzulegen und hat einen starken Einfluss auf die Anzahl der potenziell geeigneten Ersatzteile. Anschließend wird die Stetigkeit der Ersatzteilbedarfe analysiert. Diese Analyse ist entscheidend, um die Ersatzteile auszu-

wählen, die einen unregelmäßigen und stochastischen Bedarf aufweisen. Hierzu eignet sich insbesondere die Durchführung einer XYZ-Analyse [Wan-2014, S. 43 ff]. Zusätzlich werden Ersatzteile berücksichtigt, die innerhalb des hinreichend langen Betrachtungszeitraums nicht verwendet wurden. Ersatzteile mit diesen Bedarfscharakteristika weisen ein hohes Potenzial zur Reduktion der erforderlichen Bestände auf. Der abschließende Analyseschritt zur Vorauswahl geeigneter Ersatzteile umfasst die Sicherstellung einer Ersatzteilüberschneidung innerhalb der Kooperation. Es können nur Ersatzteile sinnvoll bevorratet werden, die von mehreren Unternehmen verwendet werden. Hierzu ist die spezifische Ersatzteilbezeichnung und -identifikationsnummer mit einer einheitlichen Nomenklatur erforderlich, die diesen Abgleich ermöglicht. Dieser Analyseschritt wird als letztes für die bereits reduzierte Teilmenge potenziell geeigneter Ersatzteile durchgeführt, weil insbesondere die Ersatzteilüberschneidung in der industriellen Praxis häufig nur schwierig und mit zusätzlichem Aufwand eindeutig festzustellen ist. Als Ergebnis liegt eine Vorauswahl geeigneter Ersatzteile vor, die die drei Haupteigenschaften – hoher Ersatzteilpreis, schwierig prognostizierbarer Bedarf und Ersatzteilüberschneidung innerhalb der Kooperation – aufweist. Diese Ersatzteilverauswahl wird im weiteren Verlauf für die Analyse der Ersatzteilbestände berücksichtigt.

4.3.3 Systembeschreibung

Zur Analyse der Ersatzteilbestände wird eine Kooperation zwischen n unterschiedlichen Unternehmen, einem zentralen Ersatzteillieferanten und einer Steuerungsplattform als System zur Steuerung der Prozesse betrachtet. Es werden ausgewählte Ersatzteile mit stochastischer Bedarfscharakteristik analysiert. Die stochastische Bedarfscharakteristik der Ersatzteile wird mit Hilfe einer Weibull-Verteilung beschrieben (Unterabschnitt 2.3.2). Diese ist eine der meistgenutzten Verteilungen zur Modellierung der Lebensdauer eines technischen Produkts im Bereich der Zuverlässigkeitstechnik und berücksichtigt unterschiedliche Ausfallraten technischer Produkte. Im entwickelten Modul haben die Unternehmen einen bezogen auf die Anzahl der benötigten Ersatzteile homogenen oder heterogenen Ersatzteilbedarf, wobei nicht jedes Unternehmen in der Kooperation einen Bedarf für das jeweilige Ersatzteil aufweisen muss. Der über die Weibull-Verteilung definierte Ausfall eines Bauteils in dem technischen System beschreibt den Bedarfszeitpunkt des entsprechenden Unternehmens für das Ersatzteil. Dementsprechend sind die Ersatzteilbedarfe der Unternehmen unabhängig voneinander. Innerhalb der Kooperation werden die Ersatzteile entweder zentral bei einem Unternehmen oder dezentral bei n_L verschiedenen Unternehmen gelagert. Zur Reduzierung notwendiger Ersatzteiltransporte werden die Ersatzteile bei den Unternehmen mit den entsprechend höchsten Bedarfen gelagert. Es wird ein spezielles Op-

tionalssystem ($s-I, S$) als Dispositionsverfahren implementiert, bei dem defekte Ersatzteile nicht repariert, sondern aus dem System entfernt und durch ein neu beschafftes Ersatzteil ersetzt werden (Unterabschnitt 2.3.2).

Abbildung 4-7 zeigt die Steuerungslogik und den Prozess einer Bestellung von Ersatzteilen im Bedarfsfall, welche automatisiert systemgesteuert verarbeitet wird.

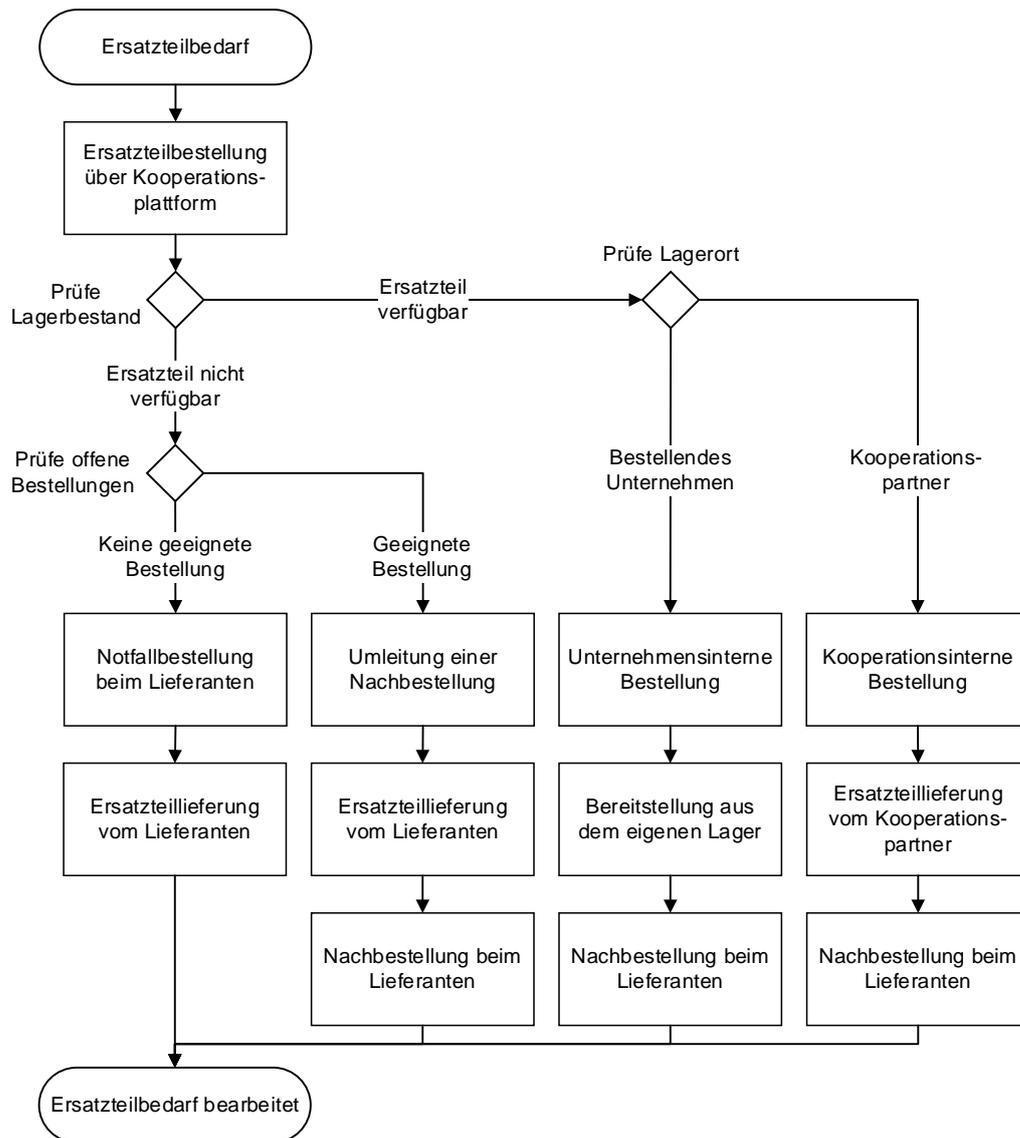


Abbildung 4-7: Steuerungslogik und Prozess der Ersatzteilbestellung (in Anlehnung an [Haf-2019b])

Bei einem auftretenden Ersatzteilbedarf wird über die Steuerungsplattform eine entsprechende Ersatzteilbestellung aufgegeben. Dies erfolgt im vorliegenden Modul automatisch durch das System, da die Analyse der Ersatzteilbestände und nicht die operativen Prozesse fokussiert werden. Das System verarbeitet die Bestellung und prüft,

welches Ersatzteil benötigt wird und ob die Bestellung aus dem kooperativen Ersatzteilbestand bedient werden kann. Zur Sicherstellung transparenter und nachvollziehbarer Prozesse wird die Zuweisung von Ersatzteilen auf Basis des „First come, first served-Prinzips“ (FCFS) ausgeführt, eine Integration weiterer Strategien ist jedoch möglich (Unterabschnitt 4.5.3). Falls das geforderte Ersatzteil verfügbar ist, wird der Lagerort überprüft. Befindet sich das Ersatzteil im Lager des bestellenden Unternehmens, kann dieses zugewiesen und dem Lager direkt entnommen werden. Anschließend wird vom System eine Nachbestellung ausgelöst, um den angestrebten Ziel-Servicegrad SG_Z sicherzustellen. Nach der Wiederbeschaffungszeit t_{WB} wird dieses neue Ersatzteil im zugeordneten Lagerort verbucht. Falls das Ersatzteil jedoch bei einem Kooperationspartner gelagert ist, wird ein kooperationsinterner Lieferauftrag aufgegeben, um das Ersatzteil am Bedarfsort bereitzustellen und anschließend ein neues Ersatzteil bestellt.

Sofern ein Auftrag nicht aus dem kooperativen Lagerbestand bedient werden kann, prüft das System, ob beim Lieferanten bereits zuvor ein entsprechendes Ersatzteil nachbestellt wurde und ob dieses in einer innerhalb der Kooperation vereinbarten und akzeptierten Bereitstellzeit t_B bereitgestellt wird. Ist dies der Fall, wird das Ersatzteil zu dem Unternehmen umgeleitet, das den aktuellen Auftrag aufgegeben hat und wiederum ein weiteres Ersatzteil beim Lieferanten nachbestellt. Die akzeptierte Bereitstellzeit t_B ist dabei kürzer als die normale Wiederbeschaffungszeit eines Ersatzteils beim Lieferanten ($t_B \ll t_{WB}$). Sollte kein Ersatzteil im kooperativen Lagerbestand verfügbar sein und es keine adäquate offene Bestellung geben, wird eine Notbestellung mit zusätzlichen Kosten bei einem externen Lieferanten aufgegeben, welcher das Ersatzteil innerhalb der akzeptierten Bereitstellzeit t_B liefern kann. In diesem Fall verringert sich jedoch der Servicegrad des Ersatzteils, da dieses nicht wie angestrebt durch die Kooperation bereitgestellt werden konnte.

4.3.4 Modellierung

Das entwickelte Modul zur Analyse der Ersatzteilbestände besteht aus den vier Funktionsbereichen Input, Simulationssteuerung, Kooperation und Output (Abbildung 4-8), deren Umsetzung in einem Simulationsmodell für die Durchführung von Simulationsexperimenten nachfolgend erläutert wird.

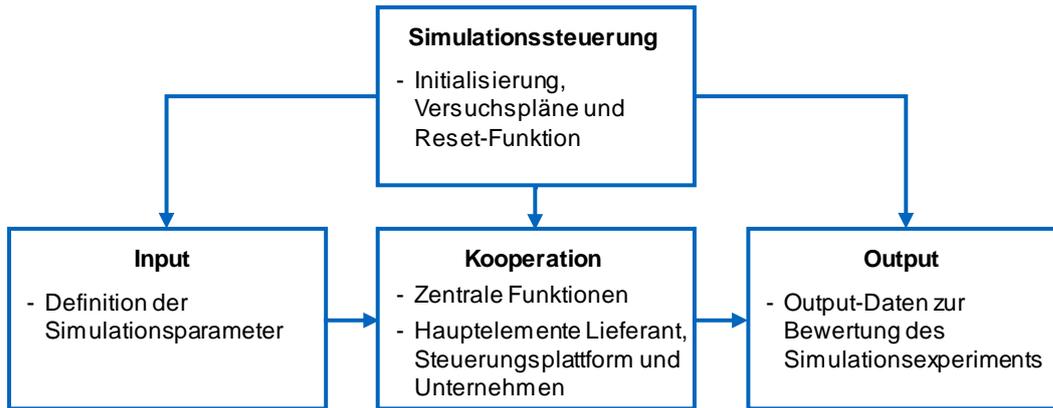


Abbildung 4-8: Funktionsbereiche des Simulationsmodells

Funktionsbereich Input

Im Funktionsbereich Input werden alle festzulegenden ersatzteil- und kooperations-spezifischen Simulationsparameter für die Simulationsexperimente zur Analyse der Ersatzteilbestände definiert.

Ersatzteilspezifische Simulationsparameter:

- Spezifische Ersatzteilbezeichnung (ET_i)
- Zu untersuchender Lagerbestand des KETM für das Ersatzteil ($n_{ET_i,LU,KETM}$)
- Weibull-Formparameter (β)
- Weibull-Skalenparameter (η)
- Lieferzeit einer kooperationsinternen Lieferung zwischen zwei Unternehmen ($t_{L,KETM}$)
- Wiederbeschaffungszeit eines nachbestellten Ersatzteils vom Ersatzteillieferanten (t_{WB})
- Lieferzeit einer Notfallbestellung beim Ersatzteillieferanten ($t_{L,NB}$)
- Anzahl der je Unternehmen des KETM eingesetzten Maschinenteile, für die das spezifische Ersatzteil vorgehalten wird (n_{ET_i})

Kooperationsspezifische Simulationsparameter:

- Anzahl Unternehmen des KETM (n_K)
- Anzahl Lager des KETM (n_L)
- Angestrebter Ziel-Servicegrad (SG_Z)
- Akzeptierte Bereitstellzeit (t_B)

Weitere erforderliche Simulationsparameter umfassen eine eindeutige Bezeichnung des Simulationsexperiments und die Simulationszeit. Diese muss hinreichend lang gewählt werden und ist abhängig von den ersatzteilspezifischen Simulationsparametern, insbesondere vom Weibull-Formparameter β und dem Weibull-Skalenparameter η , die die Ausfallcharakteristik der Bauteile definieren.

Funktionsbereich Simulationssteuerung

Die Simulationssteuerung stellt übergeordnete Funktionen für das Simulationsmodell bereit. Es sind erforderliche Abläufe für die Initialisierung und zum Zurücksetzen des Simulationsmodells enthalten. Die für die Initialisierung notwendigen Daten werden dem Funktionsbereich Input entnommen und darauf basierend die Kooperation im Funktionsbereich Kooperation des Simulationsmodells abgebildet. Dazu werden die Unternehmen erstellt und notwendige Listen und Tabellen inklusive entsprechender Einträge sowie Elemente angelegt.

Nach Durchführung der Simulationsexperimente werden die Funktionsbereiche Kooperation und Output über entsprechende Methoden zurückgesetzt und bereinigt, um anschließend weitere Experimente durchführen zu können.

Funktionsbereich Kooperation

Der Funktionsbereich Kooperation stellt zentrale Funktionen für die Simulation bereit und besteht aus den drei Hauptelementen Steuerungsplattform, Unternehmen und Lieferant, die miteinander in Relation stehen und zusammen die Kooperation abbilden. Die einzelnen Funktionen der Hauptelemente und ihre entsprechenden Relationen untereinander sind in Abbildung 4-9 dargestellt.

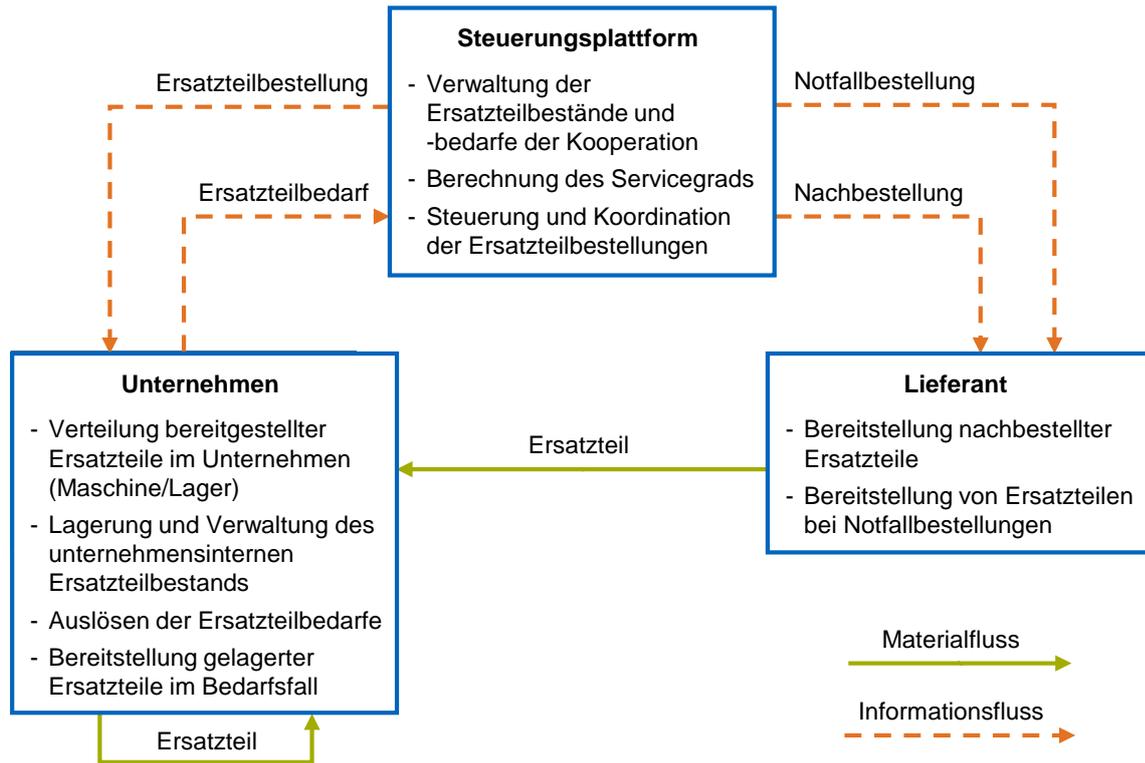


Abbildung 4-9: Funktionen und Relationen der Hauptelemente Steuerungsplattform, Unternehmen und Lieferant im Funktionsbereich Kooperation

Die Steuerungsplattform ist das zentrale Hauptelement innerhalb des Funktionsbereichs Kooperation. Sie steuert die anfallenden Ersatzteilbedarfe, die erforderlichen Ersatzteilbestellungen und den kooperationsinternen Ersatzteillagerbestand. Zusätzlich wird der Servicegrad der einzelnen Ersatzteile berechnet. Auf Basis der erfassten Bedarfe werden entsprechende Bestellungen zur Bereitstellung des benötigten Ersatzteils am Bedarfsort ausgelöst. Diese umfassen unternehmens- und kooperationsinterne Bestellungen sowie Notfallbestellungen, Umleitungen geeigneter Nachbestellungen und reguläre Nachbestellungen beim Lieferanten. Nach Bearbeitung der Bestellungen wird mit der Bereitstellung des Ersatzteils der Bestand innerhalb der Kooperation aktualisiert und erforderliche Informationen (beispielsweise Lagerort und Einlagerungszeit) für die Berechnung notwendiger Kennzahlen erfasst.

Das Hauptelement Unternehmen besteht aus einer Lager-Komponente, die Lagerplätze für die kooperativ bevorrateten Ersatzteile bereitstellt und einer Maschinen-Komponente, die den Einsatz der Maschinenteile darstellt. Die Lager-Komponente bietet immer ausreichend Lagerplatz für einzulagernde Ersatzteile, sodass ein stabiler Betrieb des Simulationsmodells gewährleistet werden kann. Der jeweils maximale Lagerplatzbedarf wird im Simulationsmodell erfasst, um eine spätere Prüfung dieser Annahme mit real verfügbaren Lagerkapazitäten zu ermöglichen. Von der Lager-Komponente können die Ersatzteile entweder der Maschinen-Komponente oder

einem anfordernden Unternehmen zugewiesen werden. Die Maschinen-Komponente kann je nach Unternehmen und Parametrisierung im Funktionsbereich Input ein oder mehrere Ersatzteile aufnehmen. Dabei wird zu Beginn des Einsatzes in der Maschine bei Bereitstellung des jeweiligen Ersatzteils auf Basis des Weibull-Formparameters β und des Weibull-Skalenparameters η eine Einsatzzeit berechnet, nach der das Ersatzteil ausfällt. Die mit Hilfe der Weibull-Verteilung berechnete Einsatzzeit entspricht der charakteristischen Lebensdauer des entsprechenden Ersatzteils und dem Zeitpunkt, an dem ein neuer Ersatzteilbedarf ausgelöst werden muss. Für die Berechnung der Einsatzzeit wird auf die Weibull-Verteilung zurückgegriffen, weil diese die gängige Verteilung zur Beschreibung der Ausfallrate technischer Komponenten in der Zuverlässigkeitstechnik darstellt (Unterabschnitt 2.3.2). Nach Ablauf der individuellen Einsatzzeit wird das entsprechende Ersatzteil vom System entfernt und ein neuer Ersatzteilbedarf des Unternehmens ausgelöst. Alternativ zum Einsatz in einer eigenen Maschine kann ein in der Lager-Komponente gelagertes Ersatzteil einem anderen Unternehmen bereitgestellt werden. Dazu wird das angeforderte Ersatzteil auf einen Warenausgang umgelagert und eine kooperationsinterne Lieferung ausgelöst. Zusätzlich wird der Wareneingang genutzt, um beim Unternehmen ankommende Ersatzteile entweder der Lager-Komponente zur Einlagerung zuzuweisen oder, falls das jeweilige Unternehmen einen entsprechenden Ersatzteilbedarf aufweist, in der Maschine zu verwenden und direkt einzusetzen. Der jeweilige Materialfluss der bereitgestellten und angeforderten Ersatzteile wird über entsprechende Methoden gesteuert.

Das Hauptelement Lieferant ist in zwei Teile untergliedert, um einerseits reguläre Nachbestellungen bearbeiten zu können und andererseits Notfallbestellungen im Falle einer Nichtverfügbarkeit von Ersatzteilen innerhalb der Kooperation durchführen zu können (Unterabschnitt 4.3.3). Dazu umfasst es die erforderlichen Methoden für die Auftragsbearbeitung und Bereitstellung der Ersatzteile. Reguläre Ersatzteilbestellungen beschreiben Nachbestellungen der Kooperation zu den definierten Kosten und der vereinbarten Lieferzeit der Ersatzteile, um den kooperationsinternen Bestand auf das gewünschte Bestandslevel aufzufüllen. Notfallbestellungen vom Lieferanten können durch eine erhöhte Priorisierung sofort bearbeitet und die Ersatzteile bereitgestellt werden. Die Nichtverfügbarkeit der Ersatzteile in der Kooperation sollte jedoch vermieden werden, weswegen entsprechende Lieferungen separat erfasst werden. Bei beiden Bestellarten werden keine weiteren Transportzeiten vom Lieferanten zum jeweiligen Unternehmen berücksichtigt, nachdem diese bereits Bestandteil der Wiederbeschaffungszeit sind.

Funktionsbereich Output

Der Funktionsbereich Output erfasst alle relevanten Output-Daten zur Bewertung des jeweiligen Simulationsexperiments. Auf Basis dieser Daten kann der optimale kooperationsinterne Lagerbestand für die entsprechenden ersatzteil- und kooperationspezifischen Parameter im Funktionsbereich Input ermittelt werden.

Output-Daten:

- Durchschnittlicher Servicegrad je Ersatzteil
- Einsatzzeit und Bedarfszeitpunkte je Ersatzteil
- Anzahl der Ersatzteilbedarfsmeldungen der Kooperation insgesamt und je Unternehmen
- Anzahl der kooperations- und unternehmensinternen Lieferungen sowie der Umleitungen vom Lieferanten insgesamt und je Unternehmen
- Anzahl der regulären Nachbestellungen und Notfallbestellungen beim Lieferanten

Weitere detaillierte Output-Daten (beispielsweise eine Bestellhistorie und der zeitliche Verlauf des Servicegrads) können für eine tiefere Analyse der Simulationsergebnisse im Bedarfsfall ausgegeben werden.

4.3.5 Implementierung

Das beschriebene System (Unterabschnitt 4.3.3) inklusive der Modellierung der vier Funktionsbausteine Input, Simulationssteuerung, Kooperation und Output (Unterabschnitt 4.3.4) wurde basierend auf dem in der VDI-3633 beschriebenen Vorgehen zur Durchführung einer Simulationsstudie in ein Simulationsmodell in der Simulationsumgebung „Tecnomatix Plant Simulation“ überführt [VDI-3633].

Die einzelnen Funktionsbereiche sind jeweils als eigenständige Netzwerke implementiert, die sich wiederum insbesondere aus Variablen, Tabellen, Methoden und Sub-Netzwerken zusammensetzen. Abbildung 4-10 zeigt die Platzierung der Netzwerke der Funktionsbereiche im Simulationsmodell beispielhaft für insgesamt fünf kooperierende Unternehmen.

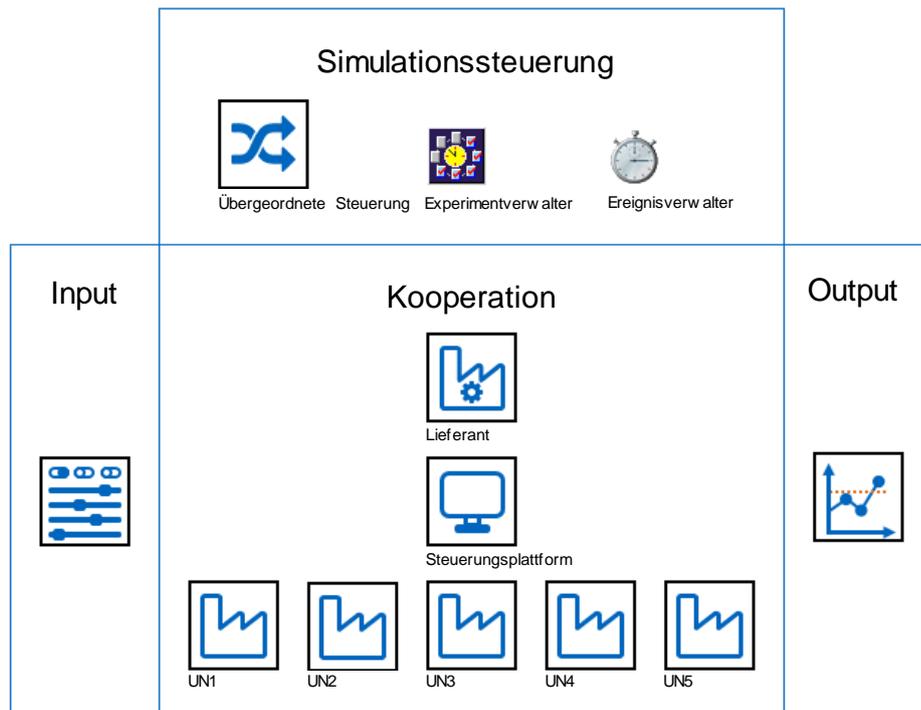


Abbildung 4-10: Simulationsmodell inklusive der vier Funktionsbereiche Input, Simulationssteuerung, Kooperation und Output

Das Netzwerk des Funktionsbereichs Input ist in Abbildung 4-11 dargestellt. Es besteht aus Tabellen und Variablen, in denen die definierten ersatzteil- und kooperationspezifischen Parameter erfasst werden. Die entsprechenden Tabelleneinträge und Variablen können im Bedarfsfall automatisiert mit Hilfe des Experimentverwalters der Simulationssteuerung gesetzt werden.

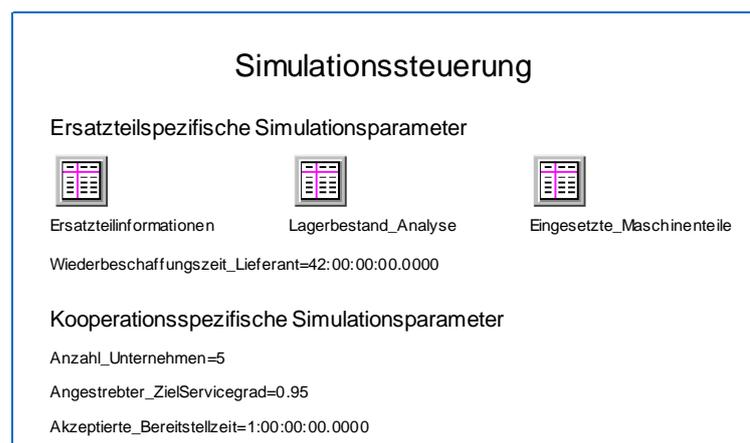


Abbildung 4-11: Implementierung des Funktionsbereichs Input

Die Simulationssteuerung enthält die erforderlichen Methodenaufrufe zur Initialisierung und zum Zurücksetzen des Simulationsmodells sowie zur Ausführung von Simulationsexperimenten. Dazu sind in einer Tabelle die Versuchsparameter und in einer

Liste die kooperierenden Unternehmen erfasst. Zusätzlich beinhaltet das Netzwerk den Ereignis- und Experimentverwalter zur Strukturierung der auftretenden Simulationsereignisse und zur Unterstützung bei der Durchführung von Simulationsstudien. Die Implementierung der übergeordneten Steuerung des Funktionsbereichs Simulationssteuerung ist in Abbildung 4-12 dargestellt.

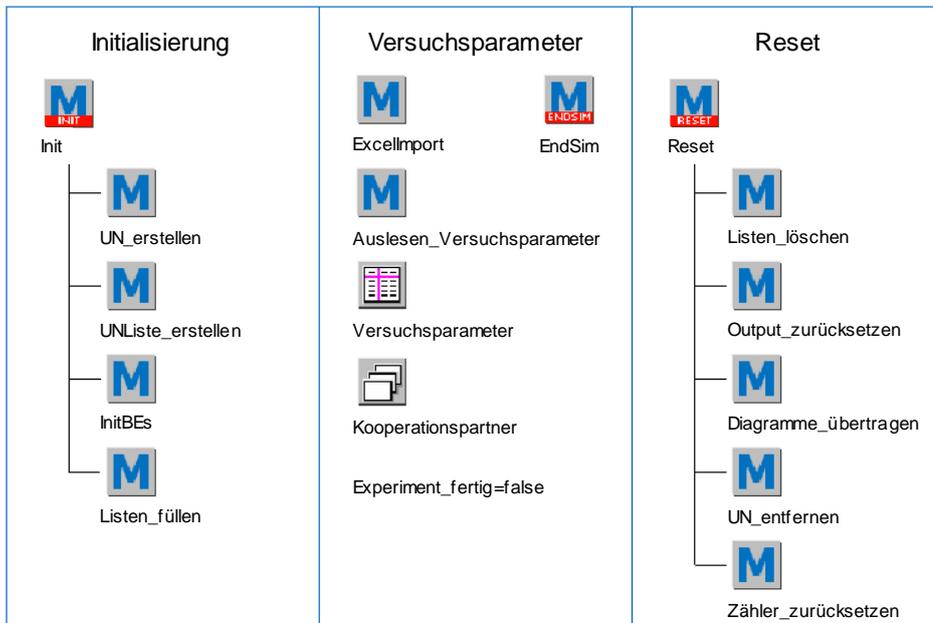


Abbildung 4-12: Implementierung der übergeordneten Steuerung des Funktionsbereichs Simulationssteuerung

Im Funktionsbereich Kooperation sind die drei Hauptelemente Lieferant, Steuerungsplattform und Unternehmen jeweils als eigenständige Sub-Netzwerke implementiert. Während die Sub-Netzwerke Lieferant und Steuerungsplattform mit Hilfe der Funktionsbereiche Input und Simulationssteuerung parametrisiert werden, werden die einzelnen Sub-Netzwerke für die abzubildenden Unternehmen jeweils zu Beginn der Simulation in der benötigten Anzahl erstellt.

Die Implementierung des Hauptelements Lieferant ist in Abbildung 4-13 dargestellt. Die zwei Bestellarten reguläre Nachbestellung und Notfallbestellung werden separat abgebildet, alle Aufträge jedoch mit den notwendigen Informationen (beispielsweise Ersatzteilbezeichnung) in einer gemeinsamen Auftragsstabelle erfasst. Im Falle einer Bestellung wird über Methoden zur Auftragsbearbeitung ein Ersatzteil auf dem jeweiligen Puffer-Element erzeugt, welches nach der festgelegten Lieferzeit an das jeweilige Unternehmen ausgeliefert wird.



Abbildung 4-13: Implementierung des Hauptelements Lieferant des Funktionsbereichs Kooperation

Das Hauptelement Steuerungsplattform untergliedert sich in die Bereiche Ersatzteilbedarfe und -bestellungen, kooperationsinterner Lagerbestand und Servicegrad. In einer Tabelle werden alle aktuellen Ersatzteilbedarfe erfasst, bis diese bearbeitet wurden. Dazu löst eine übergeordnete Methode Ersatzteilbestellung die entsprechenden Methoden der einzelnen Bestellarten aus. Der kooperationsinterne Lagerbestand wird in zwei Tabellen grundlegend und detailliert erfasst. Nach Abschluss der jeweiligen Bestellung wird der Eintrag in der Tabelle der Ersatzteilbedarfe gelöscht und der Lagerbestand in den Tabellen angepasst. Zusätzlich wird im Bereich Servicegrad der aktuelle Servicegrad mit Hilfe eines Generators in definierten Zeitabständen berechnet und im Funktionsbereich Output aktualisiert. Die beschriebene Implementierung des Hauptelements Steuerungsplattform zeigt Abbildung 4-14.



Abbildung 4-14: Implementierung des Hauptelements Steuerungsplattform des Funktionsbereichs Kooperation

Die kooperierenden Unternehmen sind im Simulationsmodell im Funktionsbereich Ko-
 operation als einzelne Sub-Netzwerke implementiert. Die Netzwerke umfassen Puffer-
 Elemente für den Wareneingang, die Einlagerung und den Warenausgang mit entspre-
 chenden Methoden zur Steuerung des Materialflusses. Der im Lager eingelagerte Er-
 satzteilbestand wird in einer Tabelle erfasst. Die Maschine für den Einsatz der Bauteile
 ist als eigenes Netzwerk modelliert, welches nach Ablauf der berechneten Bauteilein-
 satzzeit einen Ersatzteilbedarf auslöst. Der Ersatzteilbedarf wird tabellarisch erfasst
 und entsprechende Methoden zur Bestellung ausgelöst. Die beschriebene Implemen-
 tierung zeigt Abbildung 4-15.

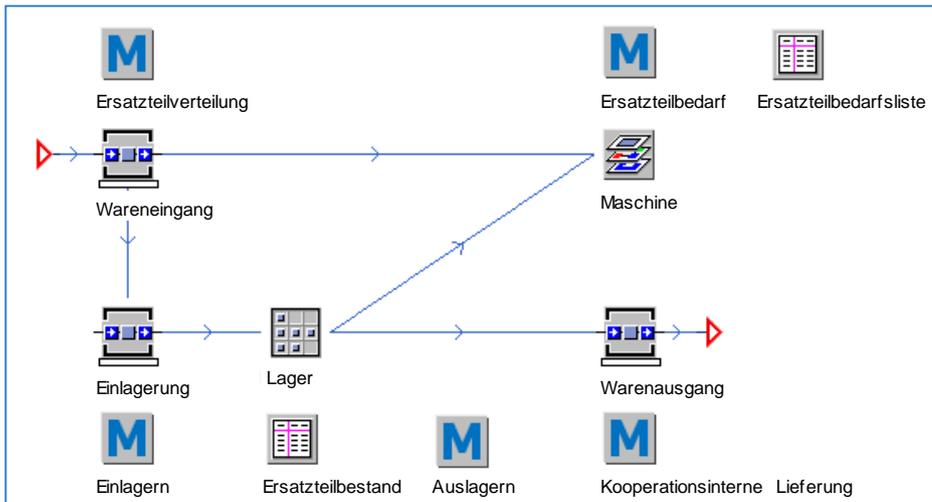


Abbildung 4-15: Implementierung des Hauptelements Unternehmen des Funktionsbereichs Kooperation

Der Funktionsbereich Output sammelt alle erforderlichen Simulationsdaten. Diese wer-
 den in entsprechenden Variablen und Tabellen laufend erfasst, aktualisiert und am
 Ende jedes Simulationsexperiments ausgegeben. Die entsprechende Implementie-
 rung zeigt Abbildung 4-16.



Abbildung 4-16: Implementierung des Funktionsbereichs Output

4.3.6 Zusammenfassung und kritische Modulreflexion

Im vorliegenden Abschnitt wurde ein Modul zur Analyse der Ersatzteilbestände für ein kooperatives Ersatzteilmanagement entwickelt. Das Modul ist ein Kernelement der Implementierungsmethodik und beschreibt ein zweistufiges Verfahren. Für den ersten Schritt wurde ein Vorgehen zur Vorauswahl geeigneter Ersatzteile definiert. Weiterhin wurde ein Modell für eine simulationsbasierte Analyse zur Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher kooperationsinterner Lagerbestände auf den jeweiligen Servicegrad je Ersatzteil entwickelt. Als Ergebnis liegen eine Liste geeigneter Ersatzteile für ein kooperatives Ersatzteilmanagement und Analysen ausgewählter Bestandslevel auf den jeweiligen Servicegrad vor, mit deren Hilfe die Unternehmen den entsprechenden Ersatzteilbestand für die zu implementierende Kooperation festlegen können.

Das beschriebene Modul erfüllt alle gestellten grundsätzlichen und funktionalen Modulanforderungen. Das Vorgehen zur Vorauswahl geeigneter Ersatzteile und das Simulationsmodell ermöglichen eine Skalierbarkeit des Betrachtungsgegenstands (G-1) und eine individuelle anwendungsfallspezifische Anpassbarkeit der Methodik (G-2). Die Bestimmung erforderlicher kooperativer Ersatzteilbestände ist komplex. Mit Hilfe des Moduls können Unternehmen entsprechende Auswirkungen verschiedener Bestandslevel mit einem angemessenen Aufwand analysieren, die Anwendung des Moduls und eine notwendige Datenbereitstellung erfordern jedoch ein gewisses Knowhow der durchführenden Personen (G-3). Es besteht die Möglichkeit, dass dieses Knowhow innerhalb der Kooperation nicht verfügbar ist, sodass es externer Unterstützung bedarf. Die beschriebenen Prozesse stellen eine hohe Transparenz sowie Nachvollziehbarkeit sicher (G-5) und verwenden darüber hinaus nur zwingend benötigte sensible Unternehmensinformationen (G-4).

Das Modul ermöglicht die Analysen auf Basis unternehmensindividueller Ersatzteildaten (F-2.2), mit deren Hilfe ein noch nicht existierendes System modelliert und simuliert wird. Die Verwendung einer ereignisorientierten Simulation trägt aufgrund einer hohen Nachvollziehbarkeit maßgeblich zu einem gesteigerten Systemverständnis bei, indem beispielsweise Ersatzteilbedarfe einzelner Unternehmen konkret prognostiziert, abgebildet und entsprechende Informationen ausgegeben werden (F-2.5). Auf dieser Grundlage kann eine Analyse des erforderlichen Ersatzteilbestands und Servicegrads durchgeführt werden (F-2.1). Zusätzlich ermöglicht die ereignisorientierte Simulation die Abbildung stochastischer Ersatzteilbedarfe (F-2.4), diese müssen jedoch den in der Simulationsumgebung vorgegebenen Verteilungsfunktionen entsprechen. Die Steuerung der Simulation basiert auf definierten Prozessen eines kooperativen Ersatzteilmanagements, die dadurch eindeutig, transparent und verständlich im Modul dargestellt sind (F-2.3). Eine Anpassung dieser Prozesse erfordert daher jedoch auch eine weitgehende Anpassung dieses Moduls.

4.4 Wirtschaftlichkeitsbewertung

Im folgenden Abschnitt wird das Modul *Wirtschaftlichkeitsbewertung* beschrieben. Mit Hilfe des Moduls können die Auswirkungen der Implementierung eines kooperativen Ersatzteilmanagements auf die entsprechenden Prozesse ermittelt und die Wirtschaftlichkeit der entsprechenden Funktionsbereiche für ein individuelles und kooperatives Ersatzteilmanagement bewertet werden. Kernelemente dieses Moduls sind bereits in [Haf-2021a] sowie einzelne Inhalte in [Boc-2018] und [Kep-2020] veröffentlicht. Nachfolgend werden darüberhinausgehend insbesondere die Anforderungen an das Modul erarbeitet und die Entwicklung des Modells zur Wirtschaftlichkeitsbewertung detailliert.

4.4.1 Modulanforderungen

Zunächst werden für das Modul funktionale Anforderungen ermittelt. Dazu stellt Abbildung 4-17 die entsprechenden Funktionseingänge und Funktionsausgänge zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit dar. Erforderlich sind insbesondere Prozess- und Kostenparameter der von einem kooperativen Ersatzteilmanagement betroffenen Prozesse. Diese umfassen beispielsweise individuelle Kostensätze für die Lagerung oder Beschaffung von Ersatzteilen. Darüber hinaus sind kooperationspezifische Informationen (beispielsweise Anzahl kooperierender Unternehmen und Lagerorte) und ersatzteilspezifische Informationen (beispielsweise Ersatzteilbestände und Ersatzteilpreise) erforderlich. Diese Informationen werden im Modul verarbeitet, um anschließend die anfallenden Kosten in den jeweiligen Funktionsbereichen sowie insgesamt sowohl für ein individuelles Ersatzteilmanagement als auch für ein kooperatives Ersatzteilmanagement zu berechnen. Auf Basis dieser Funktionsausgänge kann die Wirtschaftlichkeit des zu implementierenden kooperativen Ersatzteilmanagements prognostiziert und individuell bewertet werden.



Abbildung 4-17: Modul Wirtschaftlichkeitsbewertung mit erforderlichen Funktionseingängen und Funktionsausgängen

Aus den dargestellten Funktionseingängen und Funktionsausgängen werden funktionale Modulanforderungen abgeleitet. Diese sind für die Entwicklung des Moduls zusätzlich zu den grundsätzlichen Anforderungen an die Implementierungsmethodik (Un-

terabschnitt 3.1.2) zu berücksichtigen und stellen gemeinsam die erforderliche Funktionalität des Moduls sicher. Die funktionalen Modulanforderungen für das Modul *Wirtschaftlichkeitsbewertung* sind in Tabelle 4-4 zusammengefasst.

Tabelle 4-4: Funktionale Anforderungen an das Modul *Wirtschaftlichkeitsbewertung*

F-3.1	Betrachtung aller relevanten Funktionsbereiche
F-3.2	Prozessorientierung der Kostenvergleichsrechnung
F-3.3	Berücksichtigung individueller Ersatzteile und Ersatzteilbestandslevel
F-3.4	Bewertung unterschiedlicher Zustände des kooperativen Ersatzteilmanagements

F-3.1 Betrachtung aller relevanten Funktionsbereiche: Die Implementierung eines kooperativen Ersatzteilmanagements erfordert Anpassungen etablierter Unternehmensprozesse. Das Modul sollte daher eine integrierte Betrachtung aller betroffenen und veränderten Funktionsbereiche ermöglichen. Dadurch ist sichergestellt, dass ein kooperatives Ersatzteilmanagement gegenüber einem individuellen Ersatzteilmanagement systematisch und ganzheitlich bewertet werden kann und alle erforderlichen Kosten erfasst werden. Eine Beschreibung und Abgrenzung der betrachteten Funktionsbereiche und Prozesse ist in Unterabschnitt 4.4.3 dargestellt.

F-3.2 Prozessorientierung der Kostenvergleichsrechnung: Zur Berechnung der Gesamtkosten der Entscheidungsalternativen sollen die Unterschiede in den einzelnen individuellen und kooperativen Prozessen die Grundlage darstellen und darauf basierend eine Modellierung der monetären Zusammenhänge durchgeführt werden. Die statische Kostenvergleichsrechnung ist eine gängige und geeignete Methode zur Berechnung der Kosten unterschiedlicher Entscheidungsalternativen (Unterabschnitt 2.1.2). Dadurch eignet sie sich insbesondere zur Bewertung und Gegenüberstellung eines individuellen Ersatzteilmanagements mit einem kooperativen Ersatzteilmanagement und ermöglicht dabei eine spezifische Betrachtung einzelner Unternehmen innerhalb der Kooperation.

F-3.2 Berücksichtigung individueller Ersatzteile und Ersatzteilbestandslevel: Im vorliegenden Modul werden die analysierten Ersatzteilbestände als eine wesentliche Inputgröße mit einem starken Einfluss auf die anfallenden Kosten berücksichtigt. Mit Hilfe der Analysen im Modul *Analyse der Ersatzteilbestände* können dabei individuell ausgewählte Ersatzteile mit jeweils entsprechend festgelegten kooperativen Ersatzteilbeständen bewertet werden. Dabei müssen unterschiedliche Bestandssenkungen für die Ersatzteile innerhalb der Kooperation betrachtet werden können, um eine spezifische Bewertung zu ermöglichen. Für verschiedene Ersatzteile ist in Abhängigkeit

der Ersatzteilcharakteristika ein unterschiedliches Bestandssenkungspotenzial erreichbar, welches darüber hinaus von den Kooperationspartnern beispielsweise für besonders systemrelevante Ersatzteile individuell angepasst werden kann.

F-3.4 Bewertung unterschiedlicher Zustände des kooperativen Ersatzteilmanagements: Das Modul zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit wird in der Phase *Anbahnung* und *Dynamischer Betrieb* mit seinen Sub-Phasen benötigt. Es ist erforderlich, dass das Modul in den einzelnen Implementierungsphasen zur Bewertung des entsprechenden Zustands verwendet werden kann. Von besonderem Interesse ist dabei insbesondere die Bewertung des finalen und angestrebten Betriebspunkts des kooperativen Ersatzteilmanagements (*Dynamische Betriebsphase III: Optimiertes kooperatives Ersatzteillager*). Dadurch kann das Potenzial eines kooperativen Ersatzteilmanagements beurteilt werden. Für die Gestaltung der Übergänge zwischen den Sub-Phasen ist jedoch zusätzlich eine Betrachtung der zu durchlaufenden Zustände der *Dynamischen Betriebsphase II* und der *Dynamischen Betriebsphase III* erforderlich.

4.4.2 Annahmen und Abgrenzungen

Die grundsätzlichen Anforderungen und die funktionalen Modulanforderungen werden ergänzt durch spezifische Annahmen und Abgrenzungen des Bewertungsmodells, um eine anforderungsgerechte und klar abgegrenzte Modulentwicklung sicherzustellen. Folgende Annahmen und Abgrenzungen sind erforderlich:

- Idealisierte und fehlerfreie Prozesse
- Individuelle Ersatzteilbestandslevel ohne Prognoseunsicherheit
- Keine Betrachtung saisonaler Effekte
- Keine Netzwerkoptimierung der Kooperation

Im Modul *Wirtschaftlichkeitsbewertung* werden idealisierte und fehlerfreie Prozesse vorausgesetzt. Die in Unterabschnitt 4.4.3 dargestellten relevanten Prozesse laufen korrekt und ohne Prozessfehler und Prozessunsicherheiten ab, um eine Vergleichbarkeit der individuellen und kooperativen Prozesse sicherzustellen. Es werden im entwickelten Modell daher keine Fehlerkosten berücksichtigt.

Weiterhin werden die berechneten Ersatzteilbestandslevel der Kooperation ohne Prognoseunsicherheiten im Bewertungsmodell erfasst. Die empfohlenen Bestandslevel stellen also den gewünschten angestrebten Ziel-Servicegrad sicher. Darüberhinausgehende Ausfallkosten aufgrund eines unzureichenden Ersatzteilbestands werden nicht berechnet, da diese abhängig von verschiedenen Faktoren (beispielsweise Bran-

che, technisches System und potenzielle Umsatzeinbußen) stark unternehmensspezifisch sind und nicht einheitlich innerhalb der Kooperation abgebildet werden können. Unterstützt wird diese Annahme dadurch, dass bei einem angestrebten mindestens identischen Servicegrad des kooperativen Ersatzteilmanagements die unternehmensindividuellen Ausfallkosten gegenüber einem individuellen Ersatzteilmanagement verringert sind.

Im Modell zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit werden die anfallenden jährlichen Kosten eines individuellen sowie eines kooperativen Ersatzteilmanagements gegenübergestellt. Saisonale Effekte können Schwankungen bei der Auslastung der technischen Systeme verursachen und beispielsweise zu einer veränderten Ausfall- und Bedarfscharakteristik führen. Im Bewertungsmodell wird eine langfristige Kooperationsbeziehung betrachtet und es wird angenommen, dass sich diese Effekte für die bevorrateten Ersatzteile im Jahresverlauf ausgleichen. Saisonale Effekte und derartige Schwankungen werden daher nicht abgebildet.

Abschließend wird angenommen, dass keine Netzwerkoptimierung der Kooperation durchgeführt wird. Die anfallenden Kosten werden basierend auf den Inputgrößen des Bewertungsmodells berechnet. Diese definieren einen zentralen Ersatzteillieferanten sowie die Anzahl und Standorte der Ersatzteillager bei den einzelnen Unternehmen innerhalb der Kooperation. Dadurch wird die Komplexität des Modells reduziert, eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse sichergestellt und der Effekt des kooperativen Ersatzteilmanagements herausgearbeitet und isoliert. Darüber hinausgehend werden mögliche Auswirkungen einer unterschiedlichen Lageranzahl und Verteilung der Ersatzteile innerhalb der Kooperation auf die erforderlichen Ersatzteiltransporte und Transportkilometer beispielsweise in [Haf-2019a] und [Mül-2018] dargestellt.

4.4.3 Auswirkungen auf Prozesse und Kosten in den Funktionsbereichen

Ein kooperatives Ersatzteilmanagement hat Auswirkungen auf etablierte Unternehmensprozesse und beeinflusst die in diesen Funktionsbereichen anfallenden Kosten. Nachfolgend werden zunächst die betroffenen Funktionsbereiche dargestellt und kostenrelevante Veränderungen aufbauend auf den Vorteilen und Herausforderungen einer solchen Implementierung (Unterabschnitt 4.2.3) beschrieben. Dabei werden grundsätzlich bewertungsrelevante Anpassungen erläutert und anschließend modelliert, ohne dass die zur Steuerung der Kooperation im Ersatzteilmanagement zu definierenden operativen Prozesse (beispielsweise zur Bestellung von Ersatzteilen im Bedarfsfall) erarbeitet werden. Diese operativen Steuerungsprozesse sind bereits in [Fot-2019] dargelegt (Unterabschnitt 3.2.3 und Abschnitt 4.1). Tabelle 4-5 fasst die identifi-

zierten qualitativen Anpassungen und deren Zuordnung zu einzelnen Funktionsbereichen zusammen, bevor diese qualitativen Veränderungen in einem weiteren Schritt in einem quantitativen Bewertungsmodell modelliert werden.

Tabelle 4-5: Kostenrelevante qualitative Anpassungen und deren Zuordnung zu einzelnen Funktionsbereichen

Funktionsbereich	Kostenrelevante qualitative Anpassungen
Beschaffung	Angepasste Einkaufskonditionen der Ersatzteile Erhöhte Einkaufsvolumina der Kooperation Veränderte Beschaffungsnebenkosten Geringere natürliche Obsoleszenz von Ersatzteilen
Lager	Verringerter Ersatzteilbestand Veränderte Lagernebenkosten
Transport	Zusätzliche kooperationsinterne Lieferungen Veränderte Anzahl an Lagerorten
Administration	Erhöhter Personalbedarf Bereitstellung der technischen Infrastruktur Zusätzlicher Abstimmungsbedarf

Durch die Implementierung eines kooperativen Ersatzteilmanagements werden insbesondere in den Funktionsbereichen Beschaffung, Lager, Transport und Administration kostenrelevante Anpassungen vorgenommen. In der Beschaffung müssen angepasste Einkaufskonditionen der kooperativ bevorrateten Ersatzteile berücksichtigt werden. Aufgrund einer verbesserten Verhandlungsposition sowie gebündelter und damit erhöhter Einkaufsvolumina der Kooperation können Beschaffungskostenvorteile erzielt werden. Zusätzlich können sich die Beschaffungsnebenkosten verändern und eine geringere natürliche Obsoleszenz von Ersatzteilen aufgrund einer erhöhten Umschlagshäufigkeit erreicht werden.

Im Funktionsbereich Lager muss kooperativ gegenüber der Summe der jeweils erforderlichen unternehmensindividuellen Ersatzteilbestände ein insgesamt verringerter Ersatzteilbestand bevorratet werden. Des Weiteren kann es notwendig sein, veränderte Lagernebenkosten zu berücksichtigen.

Aufgrund der gemeinschaftlichen Bevorratung und Lagerung der Ersatzteile innerhalb eines kooperativen Ersatzteilmanagements ist es erforderlich, dass im Bedarfsfall Ersatzteile von einem beteiligten Unternehmen über eine kooperationsinterne Lieferung bereitgestellt werden müssen. Darüber hinaus ergibt sich eine veränderte Anzahl an

Lagerorten. Je nach Anzahl der Lagerorte und der entsprechenden Verteilung der Ersatzteile fallen unterschiedlich viele kooperationsinterne Lieferungen an, wobei die vorliegende Modellierung keine Netzwerkoptimierung durchführt (Unterabschnitt 4.4.2). Die zusätzlichen Transportkapazitäten werden für das kooperative Ersatzteilmanagement durch externe Dienstleister bereitgestellt, sodass hierfür kein erhöhter Personalaufwand anfällt.

Abschließend gibt es kostenrelevante Anpassungen im Bereich Administration. Ein kooperatives Ersatzteilmanagement erfordert einen zusätzlichen Koordinations- und Abstimmungsaufwand, um die gewünschte Leistung erbringen zu können. Es sind Absprachen zwischen den einzelnen beteiligten Unternehmen notwendig und anfallende Aufgaben müssen über Unternehmensgrenzen hinweg koordiniert werden. Entsprechende Prozesse zur Steuerung der Kooperation werden beispielsweise in [Fot-2019, S. 47 ff] betrachtet. Dies erhöht den Personalbedarf, den die Kooperationspartner bereitstellen müssen. Weiterhin muss eine technische Infrastruktur aufgebaut werden, die die Koordination vereinfacht und operative Prozesse möglichst standardisiert digital abbildet, sodass dieser administrative Aufwand möglichst reduziert wird.

Neben der Berücksichtigung der kostenrelevanten qualitativen Anpassungen in den einzelnen Funktionsbereichen müssen in einem Bewertungsmodell die anfallenden Kosten möglichst verursachungsgerecht auf die einzelnen Unternehmen umgelegt und verteilt werden. Kosten, die nicht verursachungsgerecht anfallen, können beispielsweise mit Hilfe eines Verrechnungsverhältnisses anteilig entsprechend der jeweiligen Nutzungsintensität berechnet werden. Auf diese Weise ist sichergestellt, dass alle Unternehmen gemäß der jeweiligen Nutzung gleichermaßen von der Kooperation profitieren.

4.4.4 Entwicklung eines Modells zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit

Auf Basis der identifizierten kostenrelevanten Anpassungen in den einzelnen Funktionsbereichen wird nachfolgend ein Modell zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit entwickelt. Dazu wird eine statische Kostenvergleichsrechnung in den jeweiligen Funktionsbereichen für einen jährlichen Betrachtungszeitraum durchgeführt. Diese berücksichtigt die kostenrelevanten Anpassungen, um ein individuelles Ersatzteilmanagement gegenüber einem kooperativen Ersatzteilmanagement bewerten zu können. Zunächst wird dazu in Tabelle 4-6 dargestellt, in welchen der identifizierten Funktionsbereichen vergleichsrelevante Kosten für ein individuelles und kooperatives Ersatzteilmanagement anfallen, sodass diese modelliert werden müssen.

Tabelle 4-6: Vergleichsrelevante Kostenarten für ein individuelles und kooperatives Ersatzteilmanagement

Kostenart	Individuelles Ersatzteilmanagement	Kooperatives Ersatzteilmanagement
Beschaffungskosten	✓	✓
Lagerkosten	✓	✓
Transportkosten		✓
Administrationskosten		✓

Im Bewertungsmodell werden für ein individuelles Ersatzteilmanagement die anfallenden Beschaffungs- und Lagerkosten modelliert. Transport- und Administrationskosten müssen nicht berücksichtigt werden, da für diese keine zusätzlichen vergleichsrelevanten Aufwendungen anfallen und ausschließlich der Mehraufwand für ein kooperatives Ersatzteilmanagement modelliert wird. Für ein kooperatives Ersatzteilmanagement müssen sowohl Beschaffungs- und Lagerkosten als auch Transport- und Administrationskosten berücksichtigt werden.

Beschaffungskosten

Die Beschaffungskosten umfassen alle Kosten, die in Zusammenhang mit dem Einkauf der erforderlichen Ersatzteile stehen. Für ein Unternehmen j mit einem individuellen Ersatzteilmanagement berechnen sich die Beschaffungskosten C_{B,E_j} zu

$$C_{B,E_j} = \sum_i P_{ET_i} \cdot n_{ET_i,B,E_j} \cdot (1 + f_{B,NK,E_j} + f_{B,O,E_j}) \quad (4-1)$$

mit

- P_{ET_i} Preis des Ersatzteils
- n_{ET_i,B,E_j} Bedarf des individuellen ETM für das Ersatzteil
- f_{B,NK,E_j} Parameter der Beschaffungsnebenkosten für ein individuelles ETM
- f_{B,O,E_j} Parameter der Obsoleszenzkosten für ein individuelles ETM

Demgegenüber berechnen sich die Beschaffungskosten C_{B,K_j} für ein Unternehmen des kooperativen Ersatzteilmanagements zu

$$C_{B,K_j} = f_{B,V} \cdot f_{B,M} \cdot \sum_i P_{ET_i} \cdot n_{ET_i,B,KETM} \cdot (1 + f_{B,NK,KETM} + f_{B,O,KETM}) \cdot W_{B,K_j} \quad (4-2)$$

mit

- $f_{B,V}$ Parameter für ein erhöhtes Einkaufsvolumen
- $f_{B,M}$ Parameter verbesserter Marktmacht

- P_{ET_i} Preis des Ersatzteils
- $n_{ET_i,B,KETM}$ Bedarf des KETM für das Ersatzteil
- $f_{B,NK,KETM}$ Parameter der Beschaffungsnebenkosten des KETM
- $f_{B,O,KETM}$ Parameter der Obsoleszenzkosten des KETM
- w_{B,K_j} Bedarfsverhältnis

Das Bedarfsverhältnis w_{B,K_j} ermöglicht eine verursachungsgerechte Verrechnung der Beschaffungskosten auf die einzelnen kooperierenden Unternehmen abhängig von ihrem spezifischen prognostizierten jährlichen Ersatzteilbedarf.

$$w_{B,K_j} = \frac{\sum_i n_{ET_i,B,K_j}}{\sum_i n_{ET_i,B,KETM}} \quad (4-3)$$

mit

- n_{ET_i,B,K_j} Bedarf des Unternehmens des KETM für das Ersatzteil
- $n_{ET_i,B,KETM}$ Bedarf des KETM für das Ersatzteil

Die Beschaffungskosten ergeben sich sowohl für das individuelle Ersatzteilmanagement als auch für ein kooperatives Ersatzteilmanagement insbesondere aus dem Preis des jeweiligen Ersatzteils und dem entsprechenden Ersatzteilbedarf. Dieser Wert der beschafften Ersatzteile ist darüber hinaus Bezugsbasis für die parameterbasierten Aufschläge der Beschaffungsnebenkosten und Obsoleszenzkosten. Für ein kooperatives Ersatzteilmanagement können Beschaffungskostenvorteile generiert werden, welche nach (4-2) als Parameter für erhöhte Einkaufsvolumina der Kooperation und für angepasste Einkaufskonditionen aufgrund einer verbesserten Marktmacht berücksichtigt werden. Aufgrund der Relevanz einzelner Input-Parameter für das Bewertungsmodell werden in Anhang A Möglichkeiten für deren Bestimmung aufgezeigt.

Lagerkosten

Für die Bewertung der Lagerkosten müssen die Auswirkungen unterschiedlicher Ersatzteilbestände modelliert werden. Für ein individuelles Ersatzteilmanagement werden die Lagerkosten C_{L,E_j} definiert durch

$$C_{L,E_j} = \sum_i P_{ET_i} \cdot n_{ET_i,L,E_j} \cdot f_{L,E_j} \quad (4-4)$$

mit

- P_{ET_i} Preis des Ersatzteils
- n_{ET_i,L,E_j} Lagerbestand des individuellen ETM für das Ersatzteil
- f_{L,E_j} Parameter der Lagerkosten

Der Parameter der Lagerkosten f_{L,E_j} ergibt sich aus der Summe einzelner Lagerparameter durch

$$f_{L,E_j} = (f_{L,Z,E_j} + f_{L,V,E_j} + f_{L,O,E_j} + f_{L,A,E_j} + f_{L,NK,E_j}) \quad (4-5)$$

mit

- f_{L,Z,E_j} Parameter der Zinskosten für ein individuelles ETM
- f_{L,V,E_j} Parameter der Versicherungskosten für ein individuelles ETM
- f_{L,O,E_j} Parameter der Opportunitätskosten für ein individuelles ETM
- f_{L,A,E_j} Parameter der alterungsbedingten Wertminderungskosten für ein individuelles ETM
- f_{L,NK,E_j} Parameter der Lagernebenkosten für ein individuelles ETM

Die Lagerkosten für ein Unternehmen eines kooperativen Ersatzteilmanagements C_{L,K_j} sind definiert durch

$$C_{L,K_j} = f_{B,V} \cdot f_{B,M} \cdot \sum_i P_{ET_i} \cdot n_{ET_i,L,KETM} \cdot f_{L,KETM} \cdot w_{B,K_j} \quad (4-6)$$

mit

- $f_{B,V}$ Parameter für ein erhöhtes Einkaufsvolumen
- $f_{B,M}$ Parameter verbesserter Marktmacht
- P_{ET_i} Preis des Ersatzteils
- $n_{ET_i,L,KETM}$ Lagerbestand des KETM für das Ersatzteil
- $f_{L,KETM}$ Parameter der Lagerkosten
- w_{B,K_j} Bedarfsverhältnis

Der Parameter der Lagerkosten $f_{L,KETM}$ berechnet sich für ein kooperatives Ersatzteilmanagement nach (4-5) mit entsprechend angepassten Werten.

Die Lagerkosten werden im Bewertungsmodell für ein individuelles und kooperatives Ersatzteilmanagement wertmäßig bezogen auf den Bestandwert der gelagerten Ersatzteile ermittelt. Der Parameter der Lagerkosten setzt sich dabei aus einzelnen Lagerparametern (beispielsweise Parameter für Zins- und Versicherungskosten) zusammen. Für ein kooperatives Ersatzteilmanagement müssen zur Berechnung des Bestandswerts sowohl die angepassten Einkaufskonditionen durch den Parameter für ein erhöhtes Einkaufsvolumen $f_{B,V}$ und den Parameter verbesserter Marktmacht $f_{B,M}$ als auch der angepasste Lagerbestand $n_{ET_i,L,KETM}$ berücksichtigt werden. Um eine verursachungsgerechte Verteilung der Lagerkosten zu ermöglichen, werden diese für ein kooperatives Ersatzteilmanagement basierend auf dem Bedarfsverhältnis w_{B,K_j} aufgeteilt.

Transportkosten

Für die Bereitstellung der Ersatzteile können bei einem kooperativen Ersatzteilmanagement zusätzliche Transportkosten anfallen. Transportkosten für die erstmalige Belieferung vom Ersatzteillieferanten sind jedoch nicht vergleichsrelevant, da sich diese aufgrund des unveränderten Ersatzteilbedarfs je Unternehmen nicht verändern. Die Ersatzteile werden innerhalb der Kooperation auf eine unterschiedliche Anzahl an Lagern verteilt und im Bedarfsfall wird nach einer definierten Zuweisungslogik (Abschnitt 4.5) ein Ersatzteil für die Bereitstellung ausgewählt. Liegt dieses nicht im eigenen Lager, muss ein Ersatzteiltransport erfolgen, für den entsprechende Aufwände anfallen. Die Transportkosten für ein kooperierendes Unternehmen C_{T,K_j} ergeben sich mit konstanten kooperationsinternen Transportkosten je Lieferung $C_{Transport}$ zu

$$C_{T,K_j} = n_{Transport,K_j} \cdot C_{Transport} \quad (4-7)$$

mit

- $n_{Transport,K_j}$ Anzahl notwendiger Transporte für ein Unternehmen des KETM
- $C_{Transport}$ Transportkosten je Lieferung

Je nachdem, in welcher Implementierungsphase die Wirtschaftlichkeitsbewertung durchgeführt werden soll (Abschnitt 4.1), stehen unterschiedliche Informationen zur Verfügung. So ist in der Implementierungsphase *Anbahnung* die Anzahl notwendiger Transporte $n_{Transport,K_i}$ je kooperierendem Unternehmen unbekannt. Diese kann entweder über das Modul *Analyse der Ersatzteilbestände* in einem Simulationsmodell prognostiziert (Abschnitt 4.3) oder, falls dies nicht möglich ist, alternativ für eine Kooperation mit mehr kooperierenden Unternehmen als Lagerorten innerhalb der Kooperation vereinfacht abgeschätzt werden durch

$$n_{Transport,K_j} = \left(1 - \frac{n_L}{n_K}\right) \cdot \sum_i n_{ET_i,B,KETM} \quad , \text{für } n_K > n_L \quad (4-8)$$

mit

- n_L Anzahl Lager des KETM
- n_K Anzahl Unternehmen des KETM
- $n_{ET_i,B,KETM}$ Bedarf des KETM für das Ersatzteil

Im Bewertungsmodell werden Transportkosten für zusätzlich erforderliche kooperationsinterne Lieferungen zwischen den beteiligten Unternehmen modelliert. Die Transportkosten ergeben sich dabei aus einem konstanten Transportkostensatz je Lieferung und der Anzahl notwendiger Transporte, die vereinfacht im Bewertungsmodell oder über das Simulationsmodell abgeschätzt werden können.

Administrationskosten

Durch die Implementierung eines kooperativen Ersatzteilmanagements entstehen zusätzliche Administrationskosten. Die Administrationskosten je Unternehmen C_{A,K_j} umfassen dabei alle Aufwendungen für das benötigte Personal und die erforderliche Infrastruktur und können berechnet werden nach

$$C_{A,K_j} = n_{Personal} \cdot C_{Personal} \cdot w_{B,K_j} + f_{IT} \cdot C_{B,K_j} \quad (4-9)$$

mit

- $n_{Personal}$ Anzahl notwendiger Mitarbeiter
- $C_{Personal}$ Personalkosten je Mitarbeiter
- w_{B,K_j} Bedarfsverhältnis
- f_{IT} Parameter der IT-Kosten
- C_{B,K_j} Beschaffungskosten für ein Unternehmen des KETM

Die Administrationskosten berechnen sich basierend auf dem benötigten Mitarbeiter-einsatz und den Beschaffungskosten eines Unternehmens des kooperativen Ersatzteilmanagements. Berücksichtigt werden die Personalkosten je Mitarbeiter, die auf Grundlage des Bedarfsverhältnisses aufgeteilt werden. Die Kosten für die technische IT-Infrastruktur werden in Abhängigkeit der jeweiligen Beschaffungskosten berechnet.

4.4.5 Gesamtkosten und Kosteneinsparungspotenzial

Die modellierten Teilkosten zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit werden nachfolgend zusammengefasst und die Gesamtkosten für ein individuelles Ersatzteilmanagement sowie für ein einzelnes Unternehmen in einem kooperativen Ersatzteilemanagement ermittelt. Anschließend wird das mögliche Kosteneinsparungspotenzial berechnet.

Gesamtkosten

Die für den Kostenvergleich relevanten Gesamtkosten eines individuellen Ersatzteilmanagements C_{Ges,E_j} ergeben sich nach

$$C_{Ges,E_j} = C_{B,E_j} + C_{L,E_j} \quad (4-10)$$

mit

- C_{B,E_j} Beschaffungskosten für ein individuelles ETM
- C_{L,E_j} Lagerkosten für ein individuelles ETM

Demgegenüber berechnen sich die Gesamtkosten für ein einzelnes Unternehmen in einem kooperativen Ersatzteilmanagement C_{Ges,K_j} nach

$$C_{Ges,K_j} = C_{B,K_j} + C_{L,K_j} + C_{T,K_j} + C_{A,K_j} \quad (4-11)$$

mit

- C_{B,K_j} Beschaffungskosten für ein Unternehmen des KETM
- C_{L,K_j} Lagerkosten für ein Unternehmen des KETM
- C_{T,K_j} Transportkosten für ein Unternehmen des KETM
- C_{A,K_j} Administrationskosten für ein Unternehmen des KETM

Kosteneinsparungspotenzial

Aus (4-10) und (4-11) lassen sich die potenziellen Einsparungen für ein Unternehmen innerhalb eines kooperativen Ersatzteilmanagements S_{K_j} berechnen zu

$$S_{K_j} = C_{Ges,E_j} - C_{Ges,K_j} = (C_{B,E_j} + C_{L,E_j}) - (C_{B,K_j} + C_{L,K_j} + C_{T,K_j} + C_{A,K_j}) \quad (4-12)$$

Das Potenzial möglicher Kosteneinsparungen ergibt sich aus den Aufwendungen in Beschaffung und Lager für ein individuelles Ersatzteilmanagement abzüglich der Kosten für Beschaffung und Lager sowie der zusätzlichen Aufwendungen für Transport und Administration für ein kooperatives Ersatzteilmanagement.

Die Gesamteinsparungen des kooperativen Ersatzteilmanagements S_{KETM} unterstützen bei der finalen Bewertung der Kooperation und ergeben sich als Summe der Einsparungen der Unternehmen innerhalb des kooperativen Ersatzteilmanagements S_{K_j} zu

$$S_{KETM} = \sum_j S_{K_j} \quad (4-13)$$

4.4.6 Sensitivität des Bewertungsmodells

Das entwickelte Modell zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit erfordert die Bereitstellung von Input-Parametern. Die Ermittlung dieser Parameter ist essenziell für die Berechnung des Kosteneinsparungspotenzials und hat damit einen großen Einfluss auf die Entscheidung über das Eingehen der Kooperation. In Anhang A sind daher Möglichkeiten und Methoden für die Bestimmung der Parameter dargestellt.

Weiterhin ist es erforderlich, die Sensitivität des Bewertungsmodells und relevanter Input-Parameter zu betrachten, um auf Basis der Ergebnisse eine valide Entscheidung treffen zu können. Hierzu sollte für Input-Parameter, die einen starken Einfluss auf die Ergebnisse haben oder für die eine inhärent große Unsicherheit bei der Ermittlung besteht, eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt werden. Im Modul wird die Durchführung einer multiplen Sensitivitätsanalyse, angelehnt an die „Drei-Punkt-Methode“, empfohlen [Bit-2018, S. 185 ff]. Durch die Definition eines Minimalfalls (pessimistisches Szenario), Planfalls (wahrscheinlichstes Szenario) und Maximalfalls (optimistisches Szenario) wird dabei die Sensitivität des Bewertungsmodells ermittelt. Kritische Input-Parameter des Bewertungsmodells sind der Parameter für ein erhöhtes Einkaufsvolumen $f_{B,V}$, der Parameter verbesserter Marktmacht $f_{B,M}$ und der Lagerbestand des gesamten kooperativen Ersatzteilmanagements für das Ersatzteil $n_{ET_i,L,KETM}$. Die Ausprägung dieser Input-Parameter für die definierten Fälle der Sensitivitätsanalyse zeigt Tabelle 4-7, sodass bei Anwendung des Moduls eine fundierte Entscheidung über das Eingehen der Kooperation getroffen werden kann.

Tabelle 4-7: Kritische Input-Parameter und deren Ausprägung im Minimal-, Plan- und Maximalfall

Input-Parameter	Minimalfall	Planfall	Maximalfall
$f_{B,V}$	1 (keine Verbesserung ggü. Individuellem ETM)	Parameterbestimmung (Anhang A)	Reduktion um zusätzlich 25 % ggü. Planfall
$f_{B,M}$	1 (keine Verbesserung ggü. Individuellem ETM)	Parameterbestimmung (Anhang A)	Reduktion um zusätzlich 25 % ggü. Planfall
$n_{ET_i,L,KETM}$	Erhöhung um zusätzlich 25 % ggü. Planfall	Modul-Ergebnis (Abschnitt 4.3)	Reduktion um zusätzlich 25 % ggü. Planfall

4.4.7 Zusammenfassung und kritische Modulreflexion

Im aktuellen Abschnitt wurde ein Modul zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit eines kooperativen Ersatzteilmanagements und damit ein Kernelement der Implementierungsmethodik entwickelt. Es modelliert die Kosten in den Funktionsbereichen Beschaffung, Lager, Transport und Administration für ein individuelles und kooperatives Ersatzteilmanagement. Das Ergebnis des vorliegenden Moduls umfasst die Quantifizierung möglicher Kosteneinsparungen, die durch die Implementierung eines kooperativen Ersatzteilmanagements erreicht werden können. Um eine valide Entscheidungsgrundlage sicherzustellen, wurden ein Minimal-, Plan- und Maximalfall zur Durchführung einer multiplen Sensitivitätsanalyse definiert. Das Modul kann dabei sowohl in der Implementierungsphase *Anbahnung* als auch in der Implementierungsphase *Dynamischer Betrieb* angewendet werden.

Das entwickelte Modul erfüllt die grundsätzlichen und funktionalen Modulanforderungen. Es ermöglicht eine Skalierbarkeit (G-1) sowie eine individuelle und anwendungsfallsspezifische Anpassbarkeit (G-2). Diese anwendungsfallsspezifische Bewertung erfordert jedoch einen gewissen Aufwand, da insbesondere erforderliche Input-Parameter der Unternehmen bereitgestellt werden müssen. Dabei stellt die Erhebung dieser Input-Parameter die größte Herausforderung dar. Um dennoch eine einfache Anwendbarkeit zu ermöglichen, wurden die benötigten Input-Parameter möglichst stark aggregiert und auf ein notwendiges Minimum beschränkt (G-3). Dennoch werden teilweise sensible Unternehmensdaten verarbeitet, jedoch nur insoweit, als dass diese zwingend erforderlich sind (G-4). Eine unternehmensindividuelle Bereitstellung und automatisierte Verarbeitung der Daten auf Basis des entwickelten Moduls kann der expliziten Einsicht interner Daten durch etwaige Kooperationspartner vorbeugen und ist daher, auch unter kartellrechtlichen Gesichtspunkten (Unterabschnitt 3.2.2), empfehlenswert. Weiterhin sind alle kostenrelevanten Auswirkungen transparent und nachvollziehbar beschrieben und modelliert (G-5).

Bei den funktionalen Anforderungen ist durch die Ableitung des Kostenmodells auf Basis der betroffenen Unternehmensprozesse sichergestellt, dass alle relevanten Funktionsbereiche betrachtet wurden (F-3.1). Die Grundlage für die Modellierung der monetären Zusammenhänge der statischen Kostenvergleichsrechnung sind die individuellen und kooperativen Prozesse (F-3.2). Weiterhin können im Modell individuelle unternehmens- und kooperationspezifische Ersatzteile und erforderliche Bestandslevel verarbeitet werden (F-3.3). Abschließend ist eine Anwendung des Moduls in verschiedenen Implementierungsphasen und für unterschiedliche Zustände möglich (F-3.4). So kann das Modul in der Implementierungsphase *Anbahnung* und *Dynamischer Betrieb* eingesetzt werden. Beim Moduleinsatz in der finalen Implementierungsphase *Dynamischer Betrieb* können sowohl die Sub-Phasen mit einem variablen Ersatzteillagerbestand als auch der angestrebte Zielzustand in der Sub-Phase *Dynamische Betriebsphase III: Optimiertes kooperatives Ersatzteillager* betrachtet werden. Obwohl die einzelnen Sub-Phasen zu ihrem jeweiligen Zeitpunkt bewertet werden können, sind die Übergänge und die zeitliche Entwicklung der Kooperation im Modul nicht modelliert. Es kann daher insbesondere nicht abgeschätzt werden, wann die nächste Sub-Phase erreicht wird, sodass hier ein gewisses Informationsdefizit der Kooperationspartner bestehen bleibt.

4.5 Strukturelle Kooperationsgestaltung

Der folgende Abschnitt beschreibt das Modul *Strukturelle Kooperationsgestaltung* und ermöglicht eine strukturelle Ausgestaltung der Kooperation. Hierzu werden zunächst

grundlegende Ausgestaltungsformen für Kooperationen im Ersatzteilmanagement beschrieben. Anschließend werden für die Ausgestaltungsformen Auswahlkriterien identifiziert und der Aufbauprozess der Kooperation unterstützt. Wesentliche Inhalte dieses Abschnitts sind bereits in [Haf-2018], [Haf-2021c] und teilweise in [Die-2021] veröffentlicht. Im vorliegenden Abschnitt werden zusätzlich erforderliche Annahmen und Abgrenzungen beschrieben sowie die Ausgestaltungsformen und Auswahlkriterien detailliert.

4.5.1 Modulanforderungen

Für die Entwicklung des Moduls werden zunächst die Modulanforderungen ermittelt. Dazu stellt Abbildung 4-18 die erforderlichen Funktionseingänge und Funktionsausgänge dar. Die Funktionseingänge umfassen unternehmens-, kooperations- und ersatzteilspezifische Informationen und ermöglichen anhand einer morphologischen Analyse die Erarbeitung und Auswahl einer strukturellen Ausgestaltungsform. Dabei unterstützen entsprechende Auswahlkriterien die Definition der strukturellen Ausgestaltung und dadurch letztendlich den Kooperationsaufbau (Implementierungsphase *Aufbau*).



Abbildung 4-18: Modul Strukturelle Kooperationsgestaltung mit erforderlichen Funktionseingängen und Funktionsausgängen

Zur Sicherstellung des angestrebten Modulverhaltens werden Anforderungen definiert. Die Anforderungen umfassen die grundsätzlichen Anforderungen an die Implementierungsmethodik (Unterabschnitt 3.1.2) und zusätzlich spezifische funktionale Modulanforderungen, die auf Basis der erforderlichen Funktionseingänge und Funktionsausgänge ermittelt werden. Die funktionalen Modulanforderungen sind in Tabelle 4-8 zusammengefasst und werden nachfolgend erläutert.

Tabelle 4-8: Funktionale Anforderungen an das Modul Strukturelle Kooperationsgestaltung

F-4.1	Strukturelle Kooperationsgestaltung auf Basis qualitativer Informationen
F-4.2	Berücksichtigung unternehmens- und kooperationsindividueller Freiheitsgrade

F-4.1 Strukturelle Kooperationsgestaltung auf Basis qualitativer Informationen:

Für die strukturelle Ausgestaltung der Kooperation ist es erforderlich, dass diese ohne

die Bereitstellung umfassender Datensätze auf Basis qualitativer Informationen durchgeführt werden kann. Im Modul werden grundlegende strukturelle Ausgestaltungsformen definiert, die jedoch explizit Freiheitsgrade für die detaillierte Umsetzung und Implementierung ermöglichen. Im Modul sollen qualitative Abschätzungen und Empfehlungen auf Basis genereller Strukturierungsmerkmale der Kooperation erarbeitet werden.

F-4.2 Berücksichtigung unternehmens- und kooperationsindividueller Freiheitsgrade: Das Modul verarbeitet die unternehmens-, kooperations- und ersatzteilspezifischen Informationen. Es werden strukturelle Ausgestaltungsformen entwickelt und Kriterien für die Auswahl einer Ausgestaltungsform definiert. Für die einzelnen Unternehmen und die Kooperation ist es erforderlich, sich den entwickelten Ausgestaltungsformen zuordnen zu können, weiterhin jedoch ausreichend Handlungsspielraum für eine individuelle Anpassung zu haben, sodass eine erfolgreiche Implementierung begünstigt wird.

Die grundsätzlichen und funktionalen Modulanforderungen werden nachfolgend auf Basis einer detaillierten Literaturrecherche durch die Entwicklung eines morphologischen Kastens zur Definition struktureller Ausgestaltungsformen und entsprechender qualitativer Auswahlkriterien sichergestellt. Der morphologische Kasten wurde erstmalig von *Zwicky* diskutiert und ist eine intuitive und häufig genutzte Kreativitätstechnik, die insbesondere die Erarbeitung und Strukturierung eines Lösungsraums für eine spezifische Problemstellung ermöglicht [Kau-2021, S. 163 ff; Zwi-1966, S. 114 ff].

4.5.2 Annahmen und Abgrenzungen

Nachfolgend werden zusätzlich zu den definierten grundsätzlichen und funktionalen Modulanforderungen spezifische Annahmen und Abgrenzungen erläutert, um ein einheitliches Modulverständnis zu gewährleisten. Diese können wie folgt zusammengefasst werden:

- Strukturelle Kooperationsgestaltung, jedoch keine vertragliche und rechtliche Ausgestaltung
- Betrachtung struktureller Prozessunterschiede der Ausgestaltungsformen ohne Berücksichtigung operativer Prozesse

Das vorliegende Modul ermöglicht eine strukturelle Ausgestaltung der Kooperation. Hierzu werden Ausgestaltungsformen definiert und Auswahlkriterien erarbeitet. Nach erfolgreichem Durchlaufen der im Modul anfallenden Aufgaben ist die Struktur der Kooperation grundlegend definiert. Es wird jedoch keine Vertragsgestaltung betrachtet,

da diese auf Basis der Modulergebnisse Gegenstand individueller Präferenzen, Verhandlungen und Wünsche ist. Ebenso wird aus diesem Grund keine rechtliche Gestaltung der Kooperation durchgeführt. Existierende Rechtsformen werden nicht auf ihre jeweilige Eignung für ein kooperatives Ersatzteilmanagement überprüft und es wird dementsprechend keine rechtliche Ausgestaltungsempfehlung gegeben. Dies sollte individuell und ausgestaltungsspezifisch durch eine geeignete Beratung erfolgen.

Im Modul werden strukturelle Prozessunterschiede der einzelnen Ausgestaltungsformen beschrieben. Es werden jedoch explizit keine operativen Prozesse definiert. Diese sind nicht Bestandteil der strukturellen Kooperationsgestaltung, sondern werden im *Prozessframework* (Unterabschnitt 3.2.3 und Abschnitt 4.1) erläutert. Entsprechende Ausführungen hierzu finden sich beispielsweise in [Fot-2019, S. 47 ff].

4.5.3 Kooperationsmerkmale und Ausgestaltungskriterien

Die betrachtete Kooperation eines kooperativen Ersatzteilmanagements wird basierend auf den allgemeinen Merkmalen von Unternehmenskooperationen von *Killich* (Unterabschnitt 2.2.2) charakterisiert und beschrieben [Kil-2011, S. 18 ff]. Die entsprechenden Kooperationsmerkmale und deren Ausprägungen für ein kooperatives Ersatzteilmanagement sind in Tabelle 4-9 zusammengefasst und werden nachfolgend erläutert.

Tabelle 4-9: Kooperationsmerkmale und deren Ausprägungen für ein kooperatives Ersatzteilmanagement (in Anlehnung an [Haf-2021c])

Kooperationsmerkmal	Ausprägung		
Richtung	Horizontal	Vertikal	Diagonal
Ausdehnung	Lokal	Regional	National
Zeitdauer	Unbegrenzt		
Zielidentität	Redistributiv		
Kooperierende Abteilungen	Ersatzteilmanagement		
Bindungsintensität	Gering	Moderat	Hoch
Verbindlichkeit	Vertrag		Kapitalbeteiligung

Zunächst kann die **Richtung** eines kooperativen Ersatzteilmanagements sowohl horizontal als auch vertikal oder diagonal sein. Es können dementsprechend Unternehmen identischer oder verschiedener Branchen und Wertschöpfungsstufen in einer Kooperation zusammenarbeiten. Entscheidend ist, dass die kooperierenden Unternehmen vergleichbare technische Systeme verwenden, um so eine möglichst hohe Ersatzteilü-

berschneidung sicherzustellen. Die **Ausdehnung** eines kooperativen Ersatzteilmanagements kann entweder lokal, regional oder national sein. Eine globale Ausdehnung ist aufgrund zu erwartender verlängerter Bereitstellungszeiten der Ersatzteile nicht empfohlen. Die individuelle Ausdehnung der Kooperation sollte in Abhängigkeit der angestrebten Bereitstellungszeit und der spezifischen Transportmodalitäten gewählt werden. Die Kooperation sollte auf eine unbegrenzte **Zeitdauer** und damit langfristig ausgerichtet sein. Dies ist erforderlich, da sich die Vorteile eines kooperativen Ersatzteilmanagements erst langfristig einstellen. Zunächst müssen gegebenenfalls existierende und erhöhte Ersatzteilbestände aufgebraucht und Ressourcen für den Aufbau der Kooperation bereitgestellt werden. Durch eine unbegrenzte Kooperationsdauer ist einerseits sichergestellt, dass der Implementierungsaufwand kompensiert wird und die Unternehmen von der Kooperation profitieren. Andererseits wird einem opportunistischen Verhalten am Ende einer temporären Kooperation entgegengewirkt [Kil-2011, S. 20]. Alle kooperierenden Unternehmen verfolgen ein identisches Ziel, indem Kompetenzen, Kapazitäten und Bedarfe im Ersatzteilmanagement zusammengefasst und erforderliche Aufgaben gemeinsam erbracht werden. Die Kooperation hat daher eine redistributive **Zielidentität**. In der Kooperation müssen unterschiedliche **Abteilungen** des Ersatzteilmanagements zusammenarbeiten, die jeweils eine Querschnittsfunktion mit verschiedenen Funktionsbereichen innerhalb des einzelnen Unternehmens ausführen (Unterabschnitt 3.1.1). Die **Bindungsintensität** der Kooperation kann variieren und entweder gering, moderat oder hoch sein. Dieses Kooperationscharakteristikum ergibt sich auf Basis der jeweiligen strukturellen Ausgestaltungsempfehlung und wird im vorliegenden Modul für die jeweiligen grundlegenden Ausgestaltungsformen spezifiziert. Ebenso ist die **Verbindlichkeit** der Kooperationsbeziehung abhängig von der strukturellen Ausgestaltung. Ein kooperatives Ersatzteilmanagement übernimmt eine herausfordernde und kritische Unternehmensaufgabe. Es wird daher empfohlen, dass alle Rechte, Pflichten und Aufgaben der beteiligten Unternehmen schriftlich vertraglich fixiert sind und nicht auf mündlichen Absprachen basieren. Je nach Ausgestaltung ist darüberhinausgehend auch eine Kapitalbeteiligung der einzelnen Unternehmen möglich.

Nach der Beschreibung des kooperativen Ersatzteilmanagements mithilfe der allgemeinen Kooperationsmerkmale werden im Folgenden kooperationspezifische Ausgestaltungskriterien und mögliche Ausprägungen erläutert. Diese sind in die Bereiche Ersatzteilbeschaffung, Ersatzteilmanagement und Ersatzteillogistik gegliedert. Abbildung 4-19 fasst die Ergebnisse der morphologischen Analyse mit Experten in Form eines morphologischen Kastens zusammen, der Grundlage für die Definition der Ausgestaltungsformen ist.

Ausgestaltungs-kriterium		Ausprägung		
Ersatzteil- beschaffung	Ersatzteilbeschaffung	Einzelnes Unternehmen		Zentral
	Ersatzteilpreis	Preis des zugewiesenen Ersatzteils		Durchschnittlicher Ersatzteilpreis
	Finanzierungsmethode	Einzelnes Unternehmen	Kooperativ (Bedarf)	Kooperativ (Unternehmen)
	Kostenausgleich	Reduzierte Servicekosten		Kein Ausgleich
Ersatzteil- management	Ersatzteilpriorisierung	FCFS	Transportdistanzen	Priorisiertes FCFS
	Ausfallkosten	Kooperativ	Versicherung	Kein Ausgleich
	Servicekosten	Ersatzteilbedarf	Kooperationspartner	Preisaufschlag
Ersatzteil- logistik	Ersatzteillagerung	Dezentral		Zentral
	Ersatzteillieferung	Unabhängige Spedition		Kooperationspartner
	Lagerkosten	Kein Ausgleich	Preisaufschlag	Reduzierte Servicekosten

Abbildung 4-19: Ausgestaltungs-kriterien und mögliche Ausprägungen eines kooperativen Ersatzteil-managements (in Anlehnung an [Haf-2018; Haf-2021b; Haf-2021c])

Ersatzteilbeschaffung

Im Bereich Ersatzteilbeschaffung gilt es zunächst festzulegen, ob die Kooperation zentral oder ein einzelnes Unternehmen die benötigten Ersatzteile einkauft. Falls ein einzelnes Unternehmen diese beschafft, muss definiert werden, welches Unternehmen diese Aufgabe übernimmt. Weiterhin gilt es die Finanzierungsmethode für die Ersatzteile zu bestimmen. Die anfallenden Beschaffungskosten können entweder rollierend jeweils durch ein einzelnes Unternehmen oder alternativ auf Basis des Bedarfs für das entsprechende Ersatzteil beziehungsweise der Anzahl der Kooperationspartner kooperativ bezahlt werden. Innerhalb der Kooperation werden die benötigten Ersatzteile gegebenenfalls zu unterschiedlichen Preiskonditionen eingekauft, da sich diese im Zeitverlauf durch angepasste Preise beim Ersatzteillieferanten verändern können. Für das im Bedarfsfall benötigte Ersatzteil muss daher bestimmt werden, welchen Preis das jeweilige Unternehmen für dieses zahlt. Es ist möglich, dass der Preis des zugewiesenen Ersatzteils oder ein durchschnittlicher Ersatzteilpreis des spezifischen Ersatzteils zu zahlen ist. Falls der innerhalb der Kooperation zu zahlende Ersatzteilpreis im Bedarfsfall vom Einkaufspreis abweicht, kann je nach Finanzierungsmethode ein Differenzbetrag entstehen. Hier gilt es zu klären, ob diese Kosten durch reduzierte Servicekosten ausgeglichen oder nicht kompensiert werden.

Ersatzteilmanagement

In direktem Zusammenhang mit dem Ersatzteilpreis steht die Priorisierung der Ersatzteile. Dieses Ausgestaltungs-kriterium bestimmt, welches Ersatzteil im Bedarfsfall zugewiesen wird. Eine Möglichkeit ist die Zuweisung der Ersatzteile nach dem FCFS-Prinzip. Dies verhindert ein Überaltern der Ersatzteile, kann aber zu zusätzlichen unternehmensübergreifenden Ersatzteiltransporten führen. Eine andere Option ist die Minimierung der notwendigen Transportwege. In diesem Fall wird das Ersatzteil primär

aus dem eigenen Bestand entnommen, ansonsten wird es vom geografisch nächstgelegenen Unternehmen bereitgestellt. Alternativ kann auch ein priorisiertes FCFS vereinbart werden, sodass die Ersatzteile vorrangig aus dem eigenen Bestand entnommen werden. Ist dies nicht möglich, wird das FCFS-Prinzip angewendet. Zusätzlich können für einzelne Ersatzteile Altersschwellen definiert werden, die zuerst berücksichtigt werden müssen und die einer potenziellen Ersatzteilüberalterung vorbeugen. Darüber hinaus ist es denkbar, dass mögliche Ausfallkosten aufgrund einer Nichtverfügbarkeit gemeinschaftlich bevorrateter Ersatzteile kooperativ oder durch eine gemeinsam abzuschließende Versicherung ausgeglichen werden. Die anfallenden Servicekosten für die Kooperation können periodisch auf Basis des unternehmensindividuellen Ersatzteilbedarfs oder gemittelt über die Anzahl der kooperierenden Unternehmen berechnet werden. Außerdem ist es möglich, die Servicekosten als Aufschlag auf den Ersatzteilpreis zu zahlen. Hier zahlt ein Unternehmen den Preis für das Ersatzteil und die anteiligen Servicekosten an das oder die finanzierenden Unternehmen. Diese Methode unterscheidet sich von den anderen Varianten, da die Servicekosten direkt bei der Bestellung des benötigten Ersatzteils und nicht im Voraus oder im Nachhinein gezahlt werden.

Ersatzteillogistik

Ein grundlegendes Ausgestaltungs-kriterium ist die Lagerung der Ersatzteile. Die kooperativ bevorrateten Ersatzteile können entweder dezentral bei den einzelnen Unternehmen gelagert werden oder zentral bei einem Unternehmen mit entsprechender Lagerkapazität. Die Auslieferung der Ersatzteile im Bedarfsfall kann jeweils durch eine unabhängige Spedition oder einen einzelnen Kooperationspartner, der in diesem Fall die dafür notwendige Kompetenz vorweisen muss, durchgeführt werden. Abschließend muss ein möglicher Ausgleich der Lagerkosten vereinbart werden. Abhängig von Finanzierungsmethode und Lagerort der Ersatzteile variieren diese Kosten von Unternehmen zu Unternehmen. Die Lagerkosten können durch eine reduzierte Servicegebühr oder eine Verrechnung beim Verkauf des Ersatzteils ausgeglichen werden. Wenn die Ersatzteile gleichmäßig auf die einzelnen Unternehmen verteilt sind, erscheint es zur Reduktion der Komplexität sinnvoll, anfallende Lagerkosten nicht auszugleichen.

4.5.4 Definition grundlegender Ausgestaltungsformen

Ziel dieses Abschnitts ist die Definition grundlegender Ausgestaltungsformen für ein kooperatives Ersatzteilmanagement, um eine strukturierte Implementierung und Kooperationsgestaltung zu ermöglichen. Die Ausgestaltungsformen werden auf Basis der unterschiedlich ausgeprägten und bewusst festzulegenden Kooperationsmerkmale Bindungsintensität und Verbindlichkeit sowie den Ausgestaltungs-kriterien des morpho-

logischen Kastens entwickelt. Insgesamt werden basierend auf der Diskussion mit Experten drei unterscheidbare repräsentative Ausgestaltungsformen definiert, die in Abbildung 4-20 mit Hilfe entsprechender Linienzüge grafisch dargestellt sind und nachfolgend erläutert werden.

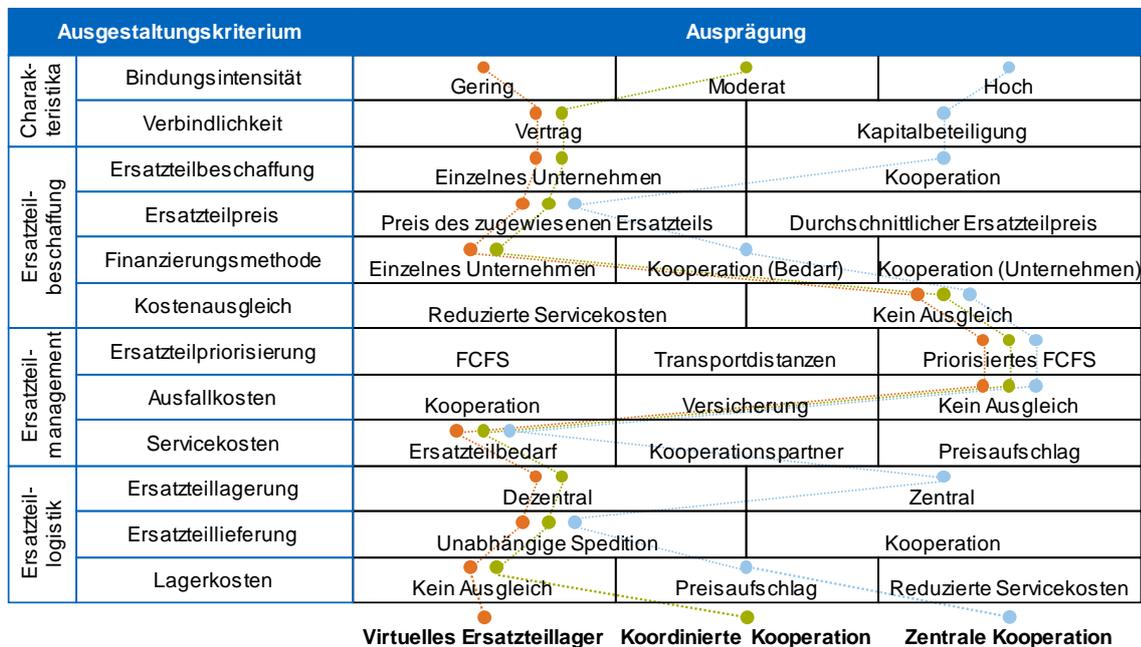


Abbildung 4-20: Ableitung grundlegender struktureller Ausgestaltungsformen für ein kooperatives Ersatzteilmanagement (in Anlehnung an [Haf-2018; Haf-2021b; Haf-2021c])

Virtuelles Ersatzteillager

Die Bindungsintensität des Virtuellen Ersatzteillagers ist gering und zeichnet sich sowohl durch den Austausch von Informationen und Erfahrungen als auch durch Empfehlungen zu erforderlichen Lagerbeständen aus. Die Zusammenarbeit wird in einem schriftlichen Vertrag fixiert, um ein gemeinsames Verständnis zu gewährleisten und die Regeln der Zusammenarbeit festzulegen. Es werden empfohlene Bestandslevel für die Ersatzteile festgelegt und die Ersatzteilbeschaffung durch einzelne Kooperationspartner vereinbart. Die Ersatzteile werden von einem Unternehmen nachbestellt und finanziert, sobald ein Teil aus dem entsprechenden Bestand entnommen wird. Innerhalb der Kooperation werden die Ersatzteile zum Preis des zugeordneten Teils verrechnet, da dies den Prozess vereinfacht und eine erhöhte Transparenz und Nachvollziehbarkeit ermöglicht. Weiterhin müssen dadurch keine erhöhten Ersatzteilkosten oder Mindereinnahmen ausgeglichen werden. Dabei ist es jedoch möglich, dass ein Unternehmen ein Ersatzteil zugewiesen bekommt, welches teurer als die übrigen Ersatzteile ist. Um das Risiko erhöhter kooperationsinterner Zahlungen zu verringern, wird ein priorisiertes FCFS empfohlen. Dieses stellt sicher, dass unter Berücksichtigung bestimmter Altersgrenzen Ersatzteile aus dem unternehmensinternen Ersatzteillager priorisiert zugewiesen und etwaige zusätzliche Transportkosten vermieden

werden. Mögliche Ausfallkosten werden durch die Vereinbarung eines Ziel-Servicegrads innerhalb der Kooperation nicht ausgeglichen und die Servicekosten basierend auf dem spezifischen Ersatzteilbedarf verursachungsgerecht verrechnet. Die Lagerung der Ersatzteile erfolgt in diesem Kooperationsmodell dezentral. Es werden Empfehlungen gegeben, wo die entsprechenden Ersatzteile zu lagern sind, um diese innerhalb der Kooperation auf die Unternehmen mit den höchsten Bedarfen zu verteilen. Die Auslieferung der Ersatzteile im Bedarfsfall erfolgt durch eine unabhängige Spedition, um die erforderliche Kompetenz und den anfallenden Aufwand weitestgehend auszulagern und dadurch reduzieren zu können. Zusätzlich werden anfallende Lagerkosten nicht ausgeglichen, da die gelagerten Ersatzteile innerhalb der Kooperation dem Bedarf entsprechend verteilt werden.

Koordinierte Kooperation

Nachfolgend werden die strukturellen Merkmale der Ausgestaltungsform Koordinierte Kooperation erläutert, die sich vom Virtuellen Ersatzteillager unterscheiden. Dieses Kooperationsmodell kennzeichnet eine intensivere Zusammenarbeit, die zu einer moderaten Bindungsintensität mit koordinierten kooperationsrelevanten Aktivitäten zwischen den Unternehmen führt. In einem Kooperationsvertrag wird ein verbindliches Regelwerk festgeschrieben, welches sicherstellt, dass die relevanten Aufgaben und Funktionen über einen reinen Informationsaustausch hinausgehend aufeinander abgestimmt sind. Ein geeignetes Unternehmen innerhalb der Kooperation ist als Kooperationsleitung für die Steuerung der Kooperation zuständig und verantwortet die wesentlichen Aktivitäten der Kooperation. Es verwaltet den kooperativen Lagerbestand sowie die Ersatzteilbeschaffung und ist der zentrale Ansprechpartner für die Lieferanten. Dennoch ist es empfehlenswert, dass die Ersatzteile von den einzelnen Unternehmen basierend auf dem jeweiligen Bedarf finanziert werden, um anfallende Aufwendungen auf alle Unternehmen zu verteilen. Obwohl diese Art der Kooperation Elemente einer zentralen Ausgestaltung aufweist, werden die Ersatzteile dezentral bei den beteiligten Unternehmen gelagert.

Zentrale Kooperation

Die Zentrale Kooperation ist eine Ausgestaltungsform, die eine hohe Bindungsintensität aufweist, da alle kooperationsrelevanten Aufgaben und Funktionen (beispielsweise Ersatzteilbeschaffung und Bestandsverwaltung) zentral bereitgestellt werden. Dadurch entstehen eine Verbindlichkeit und Abhängigkeit, die eine Kapitalbeteiligung erfordern. Die kooperierenden Unternehmen verpflichten sich, die Verantwortung für das Ersatzteilmanagement auf eine zentrale Stelle zu übertragen. Im Ergebnis werden die kooperativ bevorrateten Ersatzteile gemeinschaftlich basierend auf dem jeweiligen Bedarf finanziert, sodass eine verursachungsgerechte Kostenverteilung gewährleistet

ist. Im Vergleich zu den anderen Kooperationsmodellen werden bei der Zentralen Kooperation die Ersatzteile zentral gelagert und anfallende Lagerkosten mit dem Verkauf des jeweiligen Ersatzteils kompensiert. Dieser Ausgleich der Lagerkosten ist erforderlich, da durch die zentrale Lagerhaltung bei einem Unternehmen entsprechende Kosten ansonsten nicht ausgeglichen würden.

4.5.5 Strukturelle Prozessverantwortlichkeiten

Zusammenfassend werden in Abbildung 4-21 für die entwickelten Ausgestaltungsformen Prozessverantwortlichkeiten der kooperativen Prozesse dargestellt. Hierzu werden die in der Prozesslandkarte von *Fottner et al.* definierten Prozesse betrachtet und für diese entsprechend empfohlene Verantwortlichkeiten beschrieben und erläutert [Fot-2019, S. 49 ff].

		Virtuelles Ersatzteillager	Koordinierte Kooperation	Zentrale Kooperation
Strategische Kooperationsplanung	<i>Alle Prozesse</i>	P	L, P	L
Ersatzteilversorgung	Bestellung von Ersatzteilen im Bedarfsfall	P (s)	P (s)	P (s)
	Nachbestellung von Ersatzteilen beim Lieferanten	P (s)	L (s)	L (s)
	Überprüfung der Eignung der Ersatzteile	P (s)	L (s)	L (s)
	Berechnung der optimalen Bestandshöhen	P (s)	L (s)	L (s)
	Verteilung der Ersatzteile im Netzwerk	P (s)	L (s)	L (s)
Unterstützungsprozesse	Administration der Steuerungsplattform	P (e)	L (e)	L (e)
	Inhaltliche Betreuung der Steuerungsplattform	P	L	L

L: Kooperations-Leitung | P: Kooperations-Partner | (s): systemgestützt | (e): externe Unterstützung

Abbildung 4-21: Prozessverantwortlichkeiten der kooperativen Prozesse in Abhängigkeit der Ausgestaltungsform

Die erforderlichen Prozesse für ein kooperatives Ersatzteilmanagement sind in der Prozesslandkarte in Kernprozesse (Strategische Kooperationsplanung), Managementprozesse (Ersatzteilversorgung) und zusätzliche Unterstützungsprozesse gegliedert. Für die Ausgestaltungsform Virtuelles Ersatzteillager werden alle Prozesse durch die teilnehmenden Unternehmen eigenständig oder in Abstimmung ausgeführt. Insbesondere die Prozesse der Ersatzteilversorgung werden durch ein IT-System unterstützt. Es handelt sich um eine Kooperation geringer Bindungsintensität, bei der alle Unternehmen gleichberechtigt zusammenarbeiten. Demgegenüber übernimmt bei der Koordinierten Kooperation ein Unternehmen die Kooperationsleitung. Dieses koordiniert die strategische Kooperationsplanung, trifft notwendige Entscheidungen jedoch

gemeinsam mit den Kooperationspartnern. Weiterhin ist es für nahezu alle Prozesse der Ersatzteilversorgung verantwortlich. Die Kooperationspartner müssen lediglich ihre Ersatzteile im Bedarfsfall eigenständig bestellen. Die Kooperationsleitung übernimmt darüber hinaus die inhaltliche Betreuung und koordiniert die Administration der Steuerungsplattform. Bei der Zentralen Kooperation ist eine Kooperationsleitung alleinverantwortlich für die strategische Kooperationsplanung. Die weiteren Ersatzteilversorgungs- und Unterstützungsprozesse werden vergleichbar mit der Koordinierten Kooperation hauptsächlich durch die Kooperationsleitung verantwortet und ausgeführt.

4.5.6 Kriterien für die Auswahl einer Ausgestaltungsform

Nach der Definition von drei repräsentativen Ausgestaltungsformen werden Empfehlungen erarbeitet, die die Unternehmen bei der Auswahl einer geeigneten Ausgestaltungsform unterstützen. Tabelle 4-10 zeigt daher entsprechende qualitative Auswahlkriterien, die nachfolgend erläutert werden.

Tabelle 4-10: Kriterien für die Auswahl einer geeigneten strukturellen Ausgestaltungsform eines kooperativen Ersatzteilmanagements (in Anlehnung an [Haf-2021c])

Auswahlkriterium	Virtuelles Ersatzteillager	Koordinierte Kooperation	Zentrale Kooperation
Implementierungsaufwand	Niedrig	Moderat	Hoch
Zusätzliche Kosten	Niedrig	Niedrig	Hoch
Anzahl bevorrateter Ersatzteile	Moderat-hoch	Moderat-hoch	Hoch
Ersatzteilpreise	Minimum-hoch	Minimum-hoch	Hoch
Nachfragedynamik der Ersatzteile	Moderat	Moderat	Hoch
Kooperationsgröße	Moderat	Moderat-groß	Groß
Autonomie im Ersatzteilmanagement	Hoch	Moderat	Niedrig

Wesentliche Auswahlkriterien sind der erforderliche Implementierungsaufwand und die durch die Kooperation entstehenden zusätzlichen Kosten. Für das Virtuelle Ersatzteillager sind sowohl der Implementierungsaufwand als auch die zusätzlichen Kosten niedrig. Es muss eine Steuerungsplattform aufgebaut werden, komplexe Strukturen beim Aufbau der Kooperation sind jedoch nicht zu implementieren. Bei der Koordinierten Kooperation ergibt sich ein moderater Implementierungsaufwand, der sich durch die Einrichtung der Steuerungsplattform und einem etwas komplexeren Vertragswerk ergibt. Dennoch sind die zusätzlichen Kosten gering, die hauptsächlich durch den Transport von Ersatzteilen im Bedarfsfall und durch das IT-System entstehen. Die

Zentrale Kooperation erfordert einen hohen Implementierungsaufwand und hohe zusätzliche Kosten, da aufgrund der Kapitalbeteiligung eine rechtlich selbstständige Einheit mit eigener Infrastruktur notwendig ist. Mit der Anzahl der in der Kooperation zu bevorratenden hochpreisigen Ersatzteile steigen die zu erwartenden Kosteneinsparungen, da sich die Bestandsreduktions- und Beschaffungskostenvorteile für diese Ersatzteile besonders vorteilhaft auswirken. Aufgrund niedriger zusätzlicher Kosten können für das Virtuelle Ersatzteillager und die Koordinierte Kooperation bereits eine moderate Anzahl an Ersatzteilen mit moderater Nachfragedynamik bevorratet werden, wohingegen die Zentrale Kooperation viele hochpreisige Ersatzteile und eine hohe Dynamik erfordert. Ebenso verhält es sich für die Ersatzteilpreise, die für das Virtuelle Ersatzteillager und die Koordinierte Kooperation mindestens den kooperationsindividuell vereinbarten Minimalpreis erfüllen sollten und für die Zentrale Kooperation hoch sein müssen. Zusätzlich sollte die Kooperationsgröße für das Virtuelle Ersatzteillager höchstens moderat sein. Dies ist notwendig, da der Koordinationsaufwand mit der Anzahl der kooperierenden Unternehmen steigt und aufgrund einer geringen Bindungsintensität sowie individuellen Prozessverantwortlichkeiten problematisch sein kann, insbesondere, weil die Prozesse der strategischen Kooperationsplanung eigenständig oder in Abstimmung durch die Kooperationspartner ausgeführt werden. Die Koordinierte Kooperation ist auch für eine größere Kooperation geeignet, da ein Kooperationsleiter für relevante Funktionen und Aufgaben verantwortlich ist. Demgegenüber erfordert die Zentrale Kooperation eine große Anzahl an Kooperationspartnern, um den Aufwand und die Kosten pro Unternehmen zu reduzieren. Darüber hinaus ist die gewünschte Autonomie im Ersatzteilmanagement ein wichtiges Auswahlkriterium. Dieses Kriterium ist bei der Zentralen Kooperation niedrig, da die meisten Funktionen zentral bereitgestellt werden und die Entscheidungsfreiheit dadurch eingeschränkt ist. Die Autonomie steigt jedoch für die Koordinierte Kooperation und das Virtuelle Ersatzteillager, bei denen sich durch einen Informationsaustausch und Empfehlungen zu erforderlichen Lagerbeständen nur eine moderate beziehungsweise geringe Bindungsintensität ergibt.

4.5.7 Zusammenfassung und kritische Modulreflexion

Im vorliegenden Abschnitt wurden drei repräsentative Ausgestaltungsformen mit entsprechenden Ausgestaltungs-kriterien für ein kooperatives Ersatzteilmanagement definiert. Es wurden Auswirkungen auf die Prozessverantwortlichkeiten für die kooperativen Prozesse erläutert und qualitative Kriterien für die Auswahl einer Ausgestaltungsform identifiziert. Das Modul ist ein wichtiger Baustein in der Implementierungsphase *Aufbau* und ermöglicht den Unternehmen die Struktur ihres kooperativen Ersatzteilmanagements grundlegend festzulegen.

Das Modul *Strukturelle Kooperationsgestaltung* erfüllt die grundsätzlichen Anforderungen Skalierbarkeit (G-1), anwendungsfallspezifische Anpassbarkeit (G-2) und einfache Anwendbarkeit (G-3). Weiterhin werden keine sensiblen Unternehmensdaten benötigt (G-4) und eine Nachvollziehbarkeit ist aufgrund der detaillierten Darstellung und Entwicklung der Modulergebnisse sichergestellt (G-5).

Die Auswahl einer geeigneten Ausgestaltungsform erfolgt auf Basis von Auswahlkriterien, für deren Beurteilung qualitative Informationen ausreichend sind (F-4.1). Damit geht jedoch einher, dass sich diese qualitativen Auswahlkriterien nicht komplett eindeutig voneinander abgrenzen lassen. Die Kooperationspartner haben dadurch die Möglichkeit einer individuellen Auslegung, sie müssen die hierzu erforderliche Bewertungskompetenz allerdings auch besitzen. Ergänzend lassen die entwickelten Ausgestaltungsformen den Unternehmen gewisse Freiheitsgrade, sodass darauf aufbauend eine geeignete individuelle Kooperationsstruktur definiert werden kann (F-4.2). Diese Freiheitsgrade sind für die vereinbarten Ausgestaltungs-kriterien jedoch begrenzt und deren Auswirkungen können im Einzelfall nachteilig für ein Unternehmen sein. Beispielsweise ist es möglich, dass einem Unternehmen ein Ersatzteil zugewiesen wird, welches im Vergleich zu den übrigen Ersatzteilen der Kooperation teurer ist.

4.6 Incentivierungssystem

Im nachfolgenden Abschnitt wird das Modul *Incentivierungssystem* für ein kooperatives Ersatzteilmanagement erläutert. Dieses beinhaltet Aspekte monetärer (Unterabschnitt 4.6.3) und nicht-monetärer (Unterabschnitt 4.6.4) Incentivierung. Mit Hilfe des Moduls sollen die Unternehmen zur langfristigen Teilnahme an der Kooperation motiviert werden. Mögliche Nachteile und erhöhte Ressourcenaufwendungen einzelner Unternehmen sollen ausgeglichen und die resultierenden Vorteile der Kooperation fair aufgeteilt werden. Das im Folgenden vorgestellte Incentivierungssystem erarbeitet Handlungsempfehlungen und Ansätze für eine konkrete und vertraglich fixierte Ausgestaltung abhängig von der jeweiligen strukturellen Kooperationsgestaltung und unterstützt den Implementierungsprozess. Einzelne Ergebnisse dieses Abschnitts sind bereits in [Haf-2021c] und Auszüge in [Die-2021] veröffentlicht.

4.6.1 Modulanforderungen

In einem ersten Schritt werden die für das Modul erforderlichen funktionalen Anforderungen ermittelt und beschrieben. Dazu sind in Abbildung 4-22 die Funktionseingänge und Funktionsausgänge zur Gestaltung des Incentivierungssystems dargestellt. Benötigt werden insbesondere kooperations-spezifische Informationen, die beispielsweise

die Anzahl kooperierender Unternehmen, mögliche Einsparungen im Ersatzteilmanagement (Abschnitt 4.4) und die grundlegende Ausgestaltung der Kooperation (Abschnitt 4.5) umfassen. Auf Basis dieser Informationen und einer strategischen Incentivierungssystemgestaltung können Handlungsempfehlungen und Ansätze für eine langfristig stabile Kooperation erarbeitet werden.



Abbildung 4-22: Modul Incentivierungssystem mit erforderlichen Funktionseingängen und Funktionsausgängen

Das Modulverhalten und die erforderlichen Funktionseingänge und Funktionsausgänge werden durch die grundsätzlichen Anforderungen an die Implementierungsmethodik (Unterabschnitt 3.1.2) und spezifische funktionale Anforderungen sichergestellt. Die funktionalen Anforderungen leiten sich aus ausgewählten relevanten Anforderungen an strategische Incentivierungssysteme [Gut-1995, S. 36 ff] ab. Diese Anforderungen sind in Tabelle 4-11 zusammengefasst und werden nachfolgend erläutert.

Tabelle 4-11: Funktionale Anforderungen an das Modul Incentivierungssystem

F-5.1	Leistungsorientierung und Gerechtigkeit
F-5.2	Flexibilität und Entwicklungsfähigkeit

F-5.1 Leistungsorientierung und Gerechtigkeit: Das Modul muss eine Leistungsorientierung sicherstellen, indem der individuelle Beitrag und die jeweiligen Aufwendungen jedes Kooperationspartners berücksichtigt und entsprechend honoriert werden. Die Leistungsorientierung fördert eine gerechte Ausgestaltung des Incentivierungssystems. Diese Form von Gerechtigkeit ist zwingend erforderlich, um eine starke Bindung und Identifikation der Kooperationspartner mit dem gemeinsamen Ziel der Kooperation im Ersatzteilmanagement sicherzustellen.

F-5.2 Flexibilität und Entwicklungsfähigkeit: Das Incentivierungssystem erfordert eine hohe Flexibilität, um auf neue Entwicklungen reagieren zu können. Strukturelle Veränderungen der Kooperation (beispielsweise der Beitritt neuer Unternehmen) müssen kurzfristig berücksichtigt werden können, um weiterhin zielorientierte Verhaltensweisen zu fördern. Dementsprechend ist es notwendig, dass das Incentivierungssystem dynamisch weiterentwickelt werden kann.

4.6.2 Annahmen und Abgrenzungen

Zusätzlich zu den grundsätzlichen und funktionalen Anforderungen werden Annahmen und Abgrenzungen des Moduls definiert:

- Ansätze und Handlungsempfehlungen für ein Incentivierungssystem, jedoch keine konkrete Ausgestaltung eines Geschäftsmodells
- Keine Modellierung spieltheoretischer Entscheidungssituationen

Im vorliegenden Modul wird die Definition eines Incentivierungssystems ermöglicht, indem Ansätze und Handlungsempfehlungen für die jeweilige strukturelle Kooperationsgestaltung erarbeitet werden. Es wird jedoch explizit kein Geschäftsmodell mit Hilfe bekannter Methoden entwickelt. Die konkrete Ausgestaltung eines Geschäftsmodells kann auf Basis der vorgestellten Ansätze individuell für jede Kooperation durchgeführt werden. Sie ist Gegenstand spezifischer Abstimmungen der Kooperationspartner, wofür die vorliegende Arbeit den strukturellen Rahmen bietet, den Lösungsraum jedoch nicht auf ein mögliches Geschäftsmodell beschränkt.

Kooperationen bedingen die Interaktion der verschiedenen Kooperationspartner. Das gemeinsame Ziel der Kooperation ist allen beteiligten Kooperationspartnern bekannt und wird von diesen gemeinschaftlich angestrebt. Dennoch können einzelne Kooperationspartner in Entscheidungssituationen ein am Individualnutzen orientiertes Verhalten aufweisen. Im aktuellen Modul werden jedoch keine spieltheoretischen Entscheidungssituationen modelliert, um das jeweilige Entscheidungsverhalten der Kooperationspartner zu ermitteln. Spieltheoretische Überlegungen stellen im Kontext kooperativer Ersatzteilmanagementsysteme ein weiteres Handlungsfeld dar, welches mannigfaltige Ausprägungen ermöglicht und somit tiefergehende Analysen sowie Modellierungen erfordert.

4.6.3 Monetäre Incentivierung

Die monetäre Incentivierung fokussiert einerseits die finanziellen Einsparungen, die durch ein kooperatives Ersatzteilmanagement erzielt werden können und andererseits die dafür benötigten Aufwendungen und Kosten, die es fair unter den Kooperationspartnern aufzuteilen gilt.

Einsparungen

Ein kooperatives Ersatzteilmanagement erhöht die Effizienz im Ersatzteilmanagement, indem mögliche Einsparungen die zusätzlichen Aufwendungen übersteigen. Eine Wirtschaftlichkeitsbewertung des kooperativen Ersatzteilmanagements kann auf Basis des

Bewertungsmodells in Abschnitt 4.4 durchgeführt werden. Das Ergebnis ist eine Abschätzung der Gesamtkosten und des daraus resultierenden Kosteneinsparungspotenzials je Unternehmen. Mit Hilfe dieser Bewertungsergebnisse kann die Vorteilhaftigkeit des kooperativen Ersatzteilmanagements im Implementierungsprozess belegt und verdeutlicht werden. Dieses Aufzeigen des Kosteneinsparungspotenzials ist ein zentrales Element der monetären Incentivierung. Hierzu sollte eine entsprechende Kennzahl im gesamten Verlauf der Kooperationsbeziehung durchgehend aktualisiert und hervorgehoben werden.

Die tatsächlichen Einsparungen je Kooperationspartner können sich unterscheiden und sind in ihrer absoluten und prozentualen Höhe abhängig von der vorherigen Ausgestaltung des unternehmensinternen Ersatzteilmanagements und dem jeweiligen Ersatzteilbedarf. Dementsprechend sind die zu erwartenden Einsparungen für Unternehmen, deren Ersatzteilmanagement zuvor besonders ineffizient ausgestaltet war, höher, als für Unternehmen, die beispielsweise bereits individuell günstige Beschaffungskonditionen mit dem Ersatzteillieferanten vereinbart hatten. Die Einsparungen sind somit unternehmensindividuell und müssen nicht gesondert aufgeteilt werden. Sie ergeben sich implizit aus der gemeinsam definierten Kooperationsbeziehung, weswegen es keiner komplexen Verteilungsmechanismen bedarf.

Kosten

Für ein kooperatives Ersatzteilmanagement ergibt sich eine veränderte Kostenstruktur. In einzelnen Funktionsbereichen sind zusätzliche individuelle oder kooperative Aufwendungen erforderlich. Diese Aufwendungen fallen zu unterschiedlichen Zeitpunkten an und werden von verschiedenen Kooperationspartnern erbracht. Um ein leistungsorientiertes und gerechtes Incentivierungssystem zu gestalten, ist es daher notwendig, Ansätze zur Verteilung der Kosten bereitzustellen. Die nachfolgenden Erläuterungen der Ansätze zur Kostenverteilung basieren auf den strukturellen Ausgestaltungsformen und deren Ausprägungen (Unterabschnitt 4.5.4).

Tabelle 4-12 fasst die entsprechenden Ansätze für die einzelnen strukturellen Ausgestaltungsformen zusammen.

Tabelle 4-12: Ansätze zur Verteilung der Kosten für die strukturellen Ausgestaltungsformen eines kooperativen Ersatzteilmanagements (in Anlehnung an [Haf-2021c])

Kostenart	Virtuelles Ersatzteillager	Koordinierte Kooperation	Zentrale Kooperation
Beschaffungskosten	Ersatzteilpreis		
Lagerkosten	Kein Ausgleich		Basierend auf Ersatzteilbedarf
Transportkosten	Aufschlag auf Ersatzteilpreis		
Administrationskosten	Kein Ausgleich	Basierend auf Ersatzteilbedarf	

Die erforderlichen Ersatzteile werden für alle Ausgestaltungsformen durch ein einzelnes Unternehmen (Kooperationspartner oder Kooperationsleitung) oder gemeinschaftlich durch die Kooperation finanziert. Bei der kooperationsinternen Bereitstellung der Ersatzteile im Bedarfsfall wird der Ersatzteilpreis des zugewiesenen Ersatzteils vom bestellenden Unternehmen direkt ausgeglichen, weitere Ausgleichszahlungen sind nicht erforderlich. Dieser Ausgleich des Preises des zugewiesenen Ersatzteils vereinfacht den Prozess und erhöht die Transparenz sowie Nachvollziehbarkeit. Dabei ist es jedoch möglich, dass ein einzelnes Unternehmen ein Ersatzteil zugewiesen bekommt, welches im Vergleich zu den übrigen Ersatzteilen teurer ist. Ein solches Risiko besteht insbesondere in den Sub-Phasen eins und zwei der Phase *Dynamischer Betrieb*. Bei der Ausgestaltungsform Zentrale Kooperation ist für die gemeinschaftlich finanzierten Ersatzteile keine Ausgleichszahlung erforderlich, nachdem der Ersatzteilpreis bereits verursachungsgerecht aufgeteilt ist.

Für das Virtuelle Ersatzteillager und die Koordinierte Kooperation werden die Ersatzteile dem jeweiligen Ersatzteilbedarf entsprechend auf die Lagerorte innerhalb der Kooperation verteilt. Die anfallenden Lagerkosten je Unternehmen sind aufgrund der reduzierten kooperativen Ersatzteilbestände verringert. Aufgrund der Ersatzteilverteilung ist ein Ausgleich der Lagerkosten nicht notwendig. Demgegenüber sind bei der Zentralen Kooperation alle Ersatzteile zentral gelagert. Entsprechende Kosten fallen daher nur für die Kooperationsleitung an und sollten jährlich basierend auf dem Ersatzteilbedarf ausgeglichen werden.

Bei einer Nachbestellung von Ersatzteilen beim Lieferanten fallen Transportkosten vom Lieferanten zum Lagerort an, bei einer kooperationsinternen Bestellung von Ersatzteilen im Bedarfsfall vom Lagerort zum anfordernden Unternehmen. In beiden Fällen wird für alle strukturellen Ausgestaltungsformen ein Aufschlag auf den Ersatzteilpreis empfohlen. Dies reduziert den finanziellen Transaktionsaufwand auf ein Minimum und gewährleistet eine leistungsorientierte und gerechte Kostenverteilung.

Administrationskosten entstehen durch den erforderlichen Personaleinsatz, notwendige Dienstreisen sowie die Büro- und IT-Infrastruktur. Diese Kosten ergeben sich im Laufe des Jahres unabhängig vom konkreten Ersatzteilbedarf. Abhängig von der strukturellen Ausgestaltung der Kooperation werden unterschiedliche Prozessverantwortlichkeiten empfohlen (Unterabschnitt 4.5.5). Die Aufwendungen der einzelnen Kooperationspartner und der Kooperationsleitung unterscheiden sich für die Koordinierte Kooperation und die Zentrale Kooperation, weswegen diese jährlich basierend auf dem Ersatzteilbedarf ausgeglichen werden sollten. Zusätzlich sollte der erhöhte personelle Aufwand der Kooperationsleitung zur Gewährleistung einer langfristigen und gewissenhaften Durchführung erforderlicher Aufgaben durch einen entsprechenden Aufschlag monetär honoriert werden. Demgegenüber ist für das Virtuelle Ersatzteillager aufgrund eines vergleichbaren Ressourceneinsatzes kein Ausgleich notwendig.

4.6.4 Nicht-monetäre Incentivierung

Die nicht-monetäre Incentivierung ist ein Kernelement, um eine stabile Kooperationsbeziehung zu ermöglichen. Abgeleitet aus dem Stand der Wissenschaft und Technik (Unterabschnitt 2.2.4) werden die nicht-monetär bewertbaren Incentivierungen für ein kooperatives Ersatzteilmanagement in die Bereiche Vertrauensbildung und Beziehungsmanagement sowie Monitoring und Transparenz kategorisiert (Abbildung 4-23).

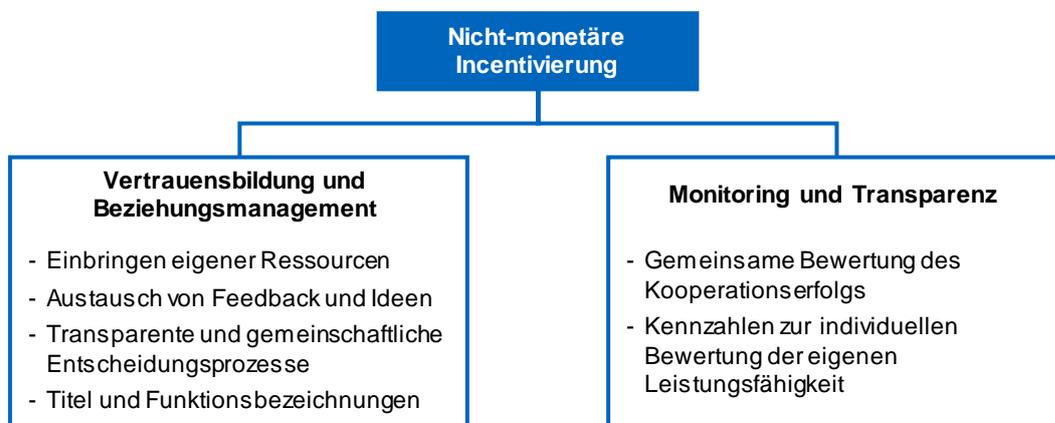


Abbildung 4-23: Nicht-monetär bewertbare Incentivierungen für ein kooperatives Ersatzteilmanagement

Maßnahmen der Vertrauensbildung und des Beziehungsmanagements sind das Einbringen eigener Ressourcen sowie der Austausch von Feedback und Ideen. Dadurch wird die Identifikation mit der Kooperation gefördert und die Kooperationspartner entwickeln ein stärkeres Eigeninteresse am Kooperationserfolg. Zusätzlich wird die Kooperation weiterentwickelt und kontinuierlich verbessert, indem bisherige Erfahrungen diskutiert und berücksichtigt werden. Durch transparente Entscheidungsprozesse, in die alle Kooperationspartner einbezogen werden, wird die Zusammenarbeit intensiviert. Ergänzend stärken Titel und Funktionsbezeichnungen einzelner Mitarbeiter innerhalb der Kooperation die individuelle Bereitschaft, notwendige Ressourcen einzubringen.

Der Kooperationserfolg wird durch etablierte Monitoring- und Transparenzmechanismen gestärkt. Alle Kooperationspartner sollten die definierten Ziele und die tatsächliche Leistung der Kooperation jederzeit überprüfen können. Dadurch wird sowohl eine individuelle als auch eine gemeinschaftliche Kontrolle und Bewertung der Kooperation ermöglicht. Transparente und leistungsorientierte Kennzahlen reduzieren die Unsicherheit der Kooperationspartner über den Zustand der Kooperation. Weiterhin werden eingebrachte Ressourcen aufgezeigt, das Gemeinschaftsgefühl gefördert und potenzielle Verbesserungen angeregt. Ansätze zur Gestaltung eines spezifischen Frameworks für Kennzahlen kooperativer Ersatzteilmanagementsysteme sind beispielsweise in [Geg-2019] dargestellt.

4.6.5 Zusammenfassung und kritische Modulreflexion

Im vorliegenden Abschnitt wurden Ansätze und Empfehlungen zur Gestaltung eines strategischen Incentivierungssystems erarbeitet. Das Incentivierungssystem umfasst Elemente der monetären (Kosteneinsparungspotenzial und faire Kostenverteilung zusätzlicher kooperativer Aufwendungen) und nicht-monetären (Vertrauensbildung und Beziehungsmanagement sowie Monitoring und Transparenz) Incentivierung, um eine langfristig stabile Kooperation zu ermöglichen.

Die grundsätzlichen Anforderungen Skalierbarkeit (G-1), anwendungsfallspezifische Anpassbarkeit (G-2) und einfache Anwendbarkeit (G-3) werden vom Modul *Incentivierungssystem* erfüllt. Auf Basis der erarbeiteten Ansätze und Empfehlungen kann das Incentivierungssystem aufwandsarm kooperationspezifisch ausgestaltet werden. Das Modul verarbeitet keine über die vorherigen Module hinausgehenden sensiblen Unternehmensdaten (G-4). Eine hohe Transparenz (G-5) ist ein wichtiger Bestandteil der nicht-monetären Incentivierung, weswegen das vorliegende Modul auch dieser Anforderung gerecht wird.

Darüber hinaus wurden an das Modul zwei zu erfüllende funktionale Anforderungen gestellt. Im Modul werden leistungsorientierte Ansätze zur Verteilung der zusätzlichen Aufwendungen und Kosten definiert (F-5.1), indem sich diese beispielsweise am Personaleinsatz für die einzelnen Prozessverantwortlichkeiten orientieren. Es wird empfohlen, entsprechende Aufwendungen zugleich zu honorieren. Die für die Kooperation gültigen Kostenverteilungsansätze werden gemeinschaftlich festgelegt, gleichwohl kann deren Anwendung in einzelnen Fällen von den Kooperationspartnern als nicht gerecht empfunden werden. So ist beispielsweise ein zu zahlender erhöhter Ersatzteilpreis eines zugewiesenen Ersatzteils gegenüber einem möglicherweise günstigeren durchschnittlichen Ersatzteilpreis individuell schwer nachvollziehbar. Dieses Risiko besteht insbesondere in den ersten beiden Sub-Phasen der Phase *Dynamischer Betrieb*. Des Weiteren kann das im Modul definierte Incentivierungssystem für den Fall größerer struktureller Veränderungen der Kooperation flexibel angepasst und aktualisiert werden (F-5.2). Auf diese Weise kann auch langfristig eine Zielorientierung der Kooperation und der einzelnen Kooperationspartner sichergestellt werden.

5 Fallstudienbasierte Evaluation der Implementierungsmethodik

Im aktuellen Kapitel wird die entwickelte Methodik für die Implementierung eines kooperativen Ersatzteilmanagements eingesetzt und erprobt. Anhand dieser exemplarischen Umsetzung soll die Anwendbarkeit, Funktionalität und Zielorientierung der Methodik untersucht und sichergestellt werden. Die Methodik wird hierzu im Rahmen einer Fallstudie angelehnt an *Yin* mit den übergeordneten Schritten Design, Datenerhebung, Analyse und Komposition in einer realen Umgebung evaluiert [Yin-2018]. Dabei wurden alle Informationen, Zahlen, Daten und Fakten angepasst und anonymisiert, um Rückschlüsse auf einzelne Unternehmen und etwaige Unternehmensdetails auszuschließen. Zunächst werden im ersten Schritt das Fallstudiendesign und die Ausgangssituation dargestellt (Abschnitt 5.1), bevor im zweiten Schritt relevante Datenquellen identifiziert werden und ein Vorgehen für die Erhebung der notwendigen Daten beschrieben wird (Abschnitt 5.2). Als dritter Schritt erfolgt die Anwendung und Analyse der in den Implementierungsphasen erforderlichen Module (Abschnitt 5.3). Im vierten Schritt wird in der Komposition der Fallstudie die Erfüllung der grundsätzlichen Anforderungen an die Implementierungsmethodik geprüft (Abschnitt 5.4). Das Kapitel schließt mit einer Bewertung der Zielerfüllung sowie einer kritischen Diskussion der Forschungsergebnisse (Abschnitt 5.5).

5.1 Fallstudiendesign und Ausgangssituation

Für das Design von Fallstudien existieren verschiedene Varianten. *Yin* differenziert Einzelfallstudien und Multiple Fallstudien, wobei beide sowohl eine einzelne Analyseeinheit (holistisch) als auch mehrere Analyseeinheiten (integriert) untersuchen können [Yin-2018, S. 47 ff]. Die vorliegende Fallstudie stellt eine integrierte Einzelfallstudie mit verschiedenen Analyseeinheiten dar. Diese Analyseeinheiten umfassen die vier Implementierungsphasen sowie die entwickelten funktionalen Module. Ein solches Fallstudiendesign ist insbesondere dazu geeignet, um neue Erkenntnisse für die Methodik zu generieren und um Möglichkeiten zur Erweiterung der Methodik aufzuzeigen [Yin-2018, S. 49 f]. Darüber hinaus ist es für gewöhnliche und übliche Rahmenbedingungen vorteilhaft [Yin-2018, S. 50], es erscheint daher für die in vielen Unternehmen gleichermaßen vorherrschenden Herausforderungen im Ersatzteilmanagement (Abschnitt 2.3) als besonders passend.

In der Fallstudie wird ein Unternehmen im Bereich der Verkehrstechnik betrachtet. Dieses ist Betreiber und Anbieter unterschiedlicher Mobilitätslösungen für den öffentlichen Personennahverkehr. Die dazu erforderlichen technischen Systeme umfassen insbesondere verschiedene Busse, Straßen- und Stadtbahnen. Im Unternehmen werden zur Gewährleistung eines möglichst reibungslosen Betriebs hohe Anforderungen an die Verfügbarkeit dieser Systeme gestellt. Um die geforderte Verfügbarkeit sicherstellen zu können, betreibt das Unternehmen ein individuelles Ersatzteilmanagement mit dezentralen Werkstätten zur Durchführung der Instandhaltungs-, Wartungs- und Reparaturaufgaben. Die benötigten Ersatzteile werden an den Lagerorten selbstständig vorrätig gehalten.

Das Unternehmen berichtet von hohen Lagerbeständen der zu bevorratenden Ersatzteile, bei einer je nach Ersatzteil unterschiedlich ausgeprägten, insgesamt jedoch mäßigen Bedarfsdynamik. Die Beschaffung und Bevorratung der Ersatzteile erzeugt hohe Kosten und führt zu einer geringen Effizienz im unternehmenseigenen Ersatzteilmanagement. Gleichzeitig erscheint sie jedoch erforderlich, um die Ersatzteile im Bedarfsfall kurzfristig zur Instandsetzung defekter technischer Systeme verfügbar zu haben. Auf Basis einer vorangegangenen Bewertung der für den Betrieb des Ersatzteilmanagements aktuell benötigten Kosten zeigte sich die Notwendigkeit einer Umstrukturierung und effizienteren Ausgestaltung, ohne jedoch die Anforderungen an die Verfügbarkeit der technischen Systeme zu reduzieren. Das Unternehmen möchte daher prüfen, ob durch eine unternehmensübergreifende Kooperation im Ersatzteilmanagement Kosteneinsparungen bei mindestens gleichbleibender Ersatzteilverfügbarkeit erzielt werden können, und eine solche Kooperation implementieren, falls dies vorteilhaft ist. Aufgrund des Marktumfelds soll dabei zunächst das Ersatzteilmanagement für die Straßenbahnen neugestaltet werden. In diesem Bereich sieht das Unternehmen ein besonders großes Potenzial und angesichts der dort eingesetzten Modellgenerationen eine hohe Wahrscheinlichkeit möglicher Überschneidungen der kooperativ zu bevorratenden Ersatzteile.

5.2 Datenerhebung

Das Ziel dieses zweiten Schritts ist die Identifikation geeigneter Datenquellen der für die Analyse notwendigen Daten und gegebenenfalls die Definition eines grundlegenden Vorgehens für deren Erhebung. In der Fallstudie werden hierzu als Datenquellen vorhandene Dokumentationen und Datenbanken sowie Expertengespräche berücksichtigt. Dabei handelt es sich um gängige und geeignete Datenquellen für Fallstudien [Yin-2018, S. 113 ff]. Die so ermittelten und der Fallstudie zugrunde liegenden Daten sind in Abschnitt 5.3 spezifisch für die einzelnen Module dargestellt und beschrieben.

Dokumentationen und Datenbanken

Die Berücksichtigung von Dokumentationen und Datenbanken ist für Fallstudien äußerst relevant, weswegen es eines definierten Vorgehens für die Datenerhebungen bedarf [Yin-2018, S. 113 ff]. Dieses ist für die vorliegende Fallstudie in Abbildung 5-1 dargestellt.

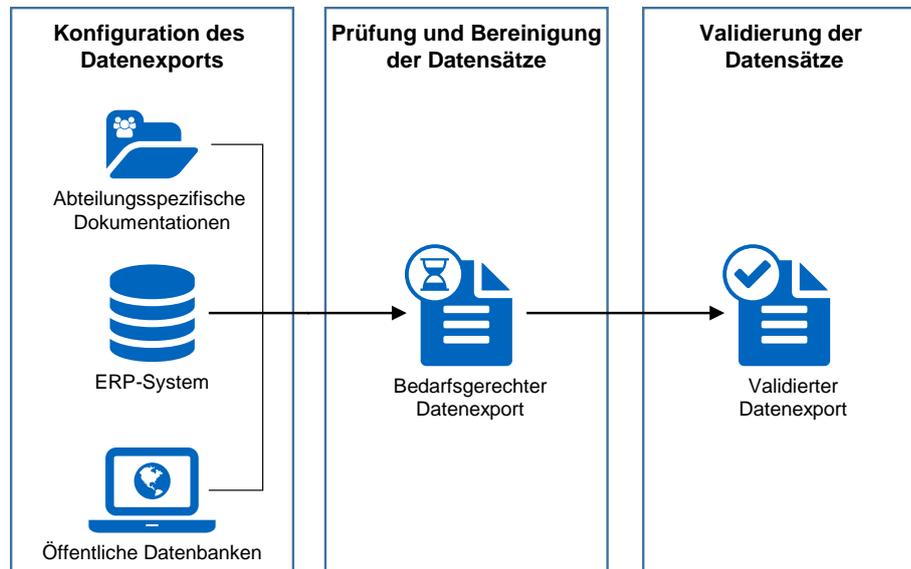


Abbildung 5-1: Vorgehen für die Datenerhebung aus Dokumentationen und Datenbanken

Eine Vielzahl erforderlicher Informationen ist elektronisch dokumentiert und in Datenbanken gespeichert. Um diese Daten erheben und analysieren zu können, wird zunächst ein fallstudienpezifischer Datenexport konfiguriert. Hierzu werden von den Unternehmen Informationen aus dem ERP-System bei Bedarf mit abteilungsspezifischen Dokumentationen sowie öffentlichen Datenbanken verknüpft und anschließend exportiert. Dieser Datenexport wird geprüft und um fehlerhafte Einträge bereinigt, bevor er mit Experten aus den jeweiligen Unternehmen final validiert wird.

Expertengespräche

Die Berücksichtigung von Expertengesprächen ermöglicht eine Erfassung von Informationen, die in den Unternehmen nicht explizit dokumentiert, für die Durchführung der Fallstudie jedoch zwingend erforderlich sind. Hierzu müssen die relevanten Experten im Unternehmen identifiziert werden. In der vorliegenden Fallstudie liefern folgende Experten notwendige Informationen: Leiter Instandhaltung und Ersatzteilmanagement, Leiter Logistik sowie Einkäufer Nicht-Produktionsmaterial.

Zur Unterstützung der für das Modul *Wirtschaftlichkeitsbewertung* erforderlichen Datenerhebung auf Basis der Expertengespräche sind in Anhang A Schätzmethode für die Parameterbestimmung dargestellt.

5.3 Anwendung und Analyse der Module in den Implementierungsphasen

Im dritten Schritt der fallstudienbasierten Evaluation wird für die Implementierung eines kooperativen Ersatzteilmanagements die in Kapitel 3 entwickelte Methodik verwendet und analysiert. Das Unternehmen durchläuft dazu die dargestellten Implementierungsphasen. Zu Beginn jeder Phase werden die Ziele und die durchzuführenden Aufgaben erläutert, bevor die konkrete Anwendung der jeweils erforderlichen Module beschrieben wird. Basierend auf den Informationen und Ergebnissen der Module wird die entsprechende Implementierungsphase abgeschlossen und gegebenenfalls die nächste erreicht. Wenn die Kooperation in die vierte Implementierungsphase *Dynamischer Betrieb* gelangt, ist diese final implementiert.

5.3.1 Implementierungsphase 1: Definition

Die in der ersten Implementierungsphase durchzuführenden Aufgaben umfassen die Spezifizierung des Kooperationsziels und -umfangs sowie die Überprüfung der grundlegenden Eignung eines kooperativen Ersatzteilmanagements zur Erfüllung der angestrebten Ziele. In der vorliegenden Fallstudie verfolgt das betrachtete Unternehmen das Ziel, das unternehmensinterne Ersatzteilmanagement bei mindestens gleichbleibendem Servicegrad effizienter auszugestalten. Dazu möchte es geeignete Ersatzteile kooperativ bevorraten und eine gemeinschaftliche Beschaffung prüfen. Um die erforderlichen grundsätzlichen Voraussetzungen der Kooperation im Unternehmen und Marktumfeld zu analysieren, wird das Modul *Grundlegende Eignungsprüfung* verwendet.

Grundlegende Eignungsprüfung

Die grundlegende Eignungsprüfung wurde basierend auf dem entwickelten Vorgehen durchgeführt (Abbildung 4-3). Zunächst hat das betrachtete Unternehmen die beschriebenen Vorteile und Herausforderungen eines kooperativen Ersatzteilmanagements subjektiv bewertet, um sich so unter anderem in die Thematik einarbeiten zu können. Das Unternehmen stufte dabei insbesondere die komplexe Kostenberechnung und -verteilung in der Kooperation als herausfordernd ein, sah jedoch die Vorteile aufgrund des reduzierten Ersatzteilbestands und einer verbesserten Verhandlungsposition in der Ersatzteilbeschaffung. Es hat daher in Bewertungsschritt 2 auf Basis der Checkliste (Abbildung 4-4) geprüft, ob das eigene Unternehmen grundlegend für ein kooperatives Ersatzteilmanagement geeignet ist. Hierbei war es vorteilhaft für die Implementierung der Kooperation, dass das Unternehmen bereits ein individuelles Ersatzteilmanagement betrieben hat und diesen Punkt der Checkliste somit bereits erfüllte. Weiterhin war es für das Unternehmen möglich, die bestehenden Strukturen und

Prozesse im Ersatzteilmanagement anzupassen. Für den Betrieb der technischen Systeme hat das Unternehmen verschiedene hochpreisige Ersatzteile bevorratet, beispielsweise einen Gleichstrom-Motor und eine Kupplung. Bei vielen dieser Ersatzteile handelte es sich um kritische Reserveteile, die im Unternehmen nur selten benötigt wurden oder die eine geringe und unregelmäßige Bedarfsdynamik aufwiesen. Im Marktumfeld des Unternehmens gab es weitere Unternehmen im Bereich der Verkehrstechnik, die vergleichbare Mobilitätslösungen angeboten haben. Die entsprechenden Unternehmen haben insbesondere Straßenbahnen derselben Hersteller betrieben, teilweise sogar identische oder zumindest ähnliche Modelle. Die Unternehmen befanden sich darüber hinaus in einem Umkreis von weniger als 100 Kilometern. Es wurden dementsprechend alle zu überprüfenden Punkte der Checkliste erfüllt. Das Unternehmen hat auf Basis der positiven grundlegenden Eignungsprüfung beschlossen, die Implementierung des kooperativen Ersatzteilmanagements weiter zu forcieren und mit der Implementierungsphase *Anbahnung* fortzufahren.

5.3.2 Implementierungsphase 2: Anbahnung

Das Ziel der zweiten Implementierungsphase ist die Identifikation geeigneter Kooperationspartner. Hierzu wird ein zweistufiges Verfahren verwendet, bei dem im ersten Schritt die grundlegende Eignung der potenziellen Kooperationspartner mit Hilfe des Moduls *Grundlegende Eignungsprüfung* überprüft wird. In einem zweiten Schritt wird die Eignung und Vorteilhaftigkeit der Aufnahme der Unternehmen vertieft untersucht, wofür die Module *Analyse der Ersatzteilbestände* und *Wirtschaftlichkeitsbewertung* erforderlich sind.

Grundlegende Eignungsprüfung

Das betrachtete Unternehmen konnte durch ein entsprechendes Marketing und ein bereits bestehendes Kontaktnetzwerk mehrere geeignete Unternehmen als potenzielle Kooperationspartner identifizieren und zur Prüfung der Vorteilhaftigkeit eines kooperativen Ersatzteilmanagements motivieren. Das Modul *Grundlegende Eignungsprüfung* wurde daher für insgesamt vier interessierte Unternehmen durchlaufen. Die Durchführung der Eignungsprüfung auf Unternehmensebene (Abschnitt Unternehmen der Checkliste, Abbildung 4-4) erfolgte analog zu Unterabschnitt 5.3.1 und ergab für alle vier überprüften Unternehmen ein positives Ergebnis, sodass für diese eine vertiefte Analyse durchgeführt wurde.

Analyse der Ersatzteilbestände

Nachdem die grundlegende Eignung der Unternehmen überprüft wurde, erfolgte die Analyse der jeweiligen Ersatzteilbestände der insgesamt fünf Unternehmen. Dafür wurden basierend auf dem Vorgehen zur Vorauswahl geeigneter Ersatzteile (Abbildung 4-6) zunächst die vertieft zu analysierenden Ersatzteile aus der Gesamtmenge der für den Betrieb der Straßenbahnen notwendigen Ersatzteile ausgewählt und die Ersatzteilpreise, die Stetigkeit der Ersatzteilbedarfe sowie die Ersatzteilüberschneidung innerhalb der Kooperation geprüft. Das Unternehmen, welches die Kooperation initiierte, hat hierzu einen Ersatzteilpreis der kooperativ zu bevorratenden Ersatzteile von mindestens 500 Euro aufgrund der zu erwartenden zusätzlichen Kosten definiert. Weiterhin wurden die zu bevorratenden Ersatzteile auf Z-Ersatzteile und innerhalb der letzten drei Jahre nicht verwendete Ersatzteile (Non-Mover) beschränkt. Für die Fallstudie wurden Ersatzteildatensätze von zwei der fünf Unternehmen analysiert (Abbildung 5-2). Diese wurden auf Basis des Vorgehens zur Datenerhebung aus Dokumentationen und Datenbanken (Abbildung 5-1) von den Unternehmen bereitgestellt und mit den Experten geprüft und validiert. Grundlage für den Export war der Ersatzteilmaterialstamm im ERP-System und die Zuordnung von Ersatzteilen zu Straßenbahnen auf Basis abteilungsspezifischer Dokumentationen.

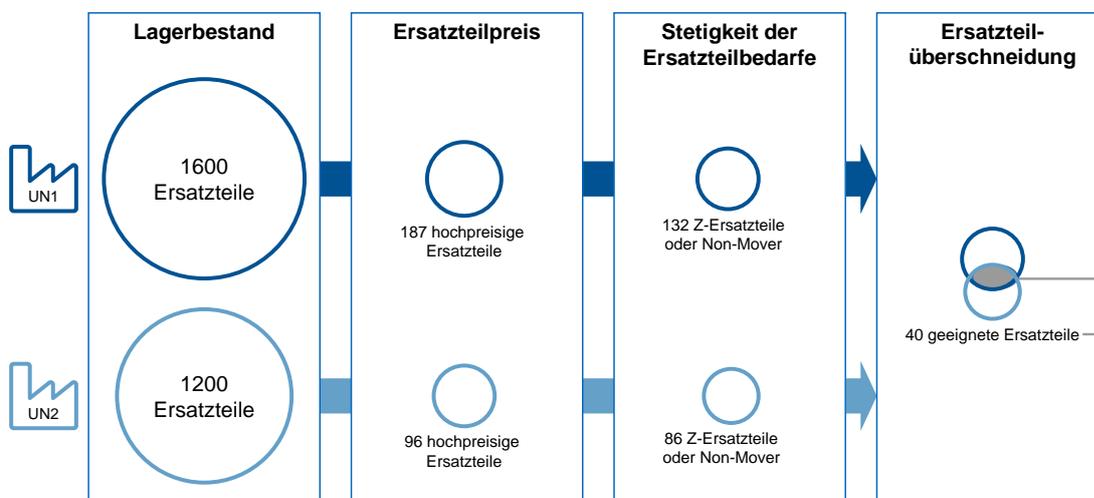


Abbildung 5-2: Ersatzteildatenanalyse zur Vorauswahl geeigneter Ersatzteile

Insgesamt 40 Ersatzteile haben die erforderlichen Haupteigenschaften der für ein kooperatives Ersatzteilmanagement geeigneten Ersatzteile aufgewiesen. Nach Rücksprache mit den jeweiligen Experten der Unternehmen UN1 und UN2 wurde angenommen, dass diese Ersatzteile notwendigerweise auch bei den anderen drei Unternehmen für den Betrieb der Straßenbahnen bevorratet werden. Daher wurde diese Teilmenge im weiteren Verlauf, insbesondere für die Wirtschaftlichkeitsbewertung, betrachtet.

Die Analyse der Ersatzteilbestände wird in der Fallstudie exemplarisch für zwei der insgesamt 40 geeigneten Ersatzteile dargestellt. Tabelle 5-1 zeigt die für die Simulation erforderlichen ersatzteilspezifischen Simulationsparameter.

Tabelle 5-1: Ersatzteilspezifische Simulationsparameter

Ersatzteilspezifische Simulationsparameter	Ersatzteil ET1	Ersatzteil ET2
Ersatzteilbezeichnung (ET_i)	Gleichstrom-Motor	Kupplung
Lagerbestand der Kooperation (L)	1-10	1-10
Weibull-Formparameter (β)	1,2	1,4
Weibull-Skalenparameter (η)	6 Jahre	11 Jahre
Lieferzeit kooperationsintern ($t_{L,K}$)	0,5 Tage	0,5 Tage
Wiederbeschaffungszeit (t_{WB})	50 Tage	35 Tage
Lieferzeit Notfallbestellung ($t_{L,NB}$)	1 Tag	1 Tag
Maschinenteile je Kooperationspartner (n_{ET_i})	15	15

Betrachtet wurden mit Ersatzteil ET1 (Gleichstrom-Motor) und Ersatzteil ET2 (Kupplung) zwei für den Betrieb von Straßenbahnen erforderliche und typische Maschinenteile. Der notwendige Lagerbestand der Kooperation sollte simulativ bestimmt werden und wurde daher in den einzelnen Simulationsexperimenten zwischen eins und zehn variiert. Die Weibull-Parameter können auf Basis historischer Ausfallzeitpunkte der eingesetzten Maschinenteile im Unternehmen ermittelt werden. In der vorliegenden Fallstudie wurden diese Parameter alternativ aus vorhandenen öffentlichen Datenbanken entnommen (beispielsweise [Rel-2022]). Für eine kooperationsinterne Lieferung wurde eine Bereitstellzeit von zwölf Stunden vereinbart. Die weiteren ersatzteilspezifischen Simulationsparameter konnten mit einem Datenexport aus dem ERP-System (Ersatzteilmaterialstamm und Einkaufsinformationen) erhoben werden. Die regulären Wiederbeschaffungszeiten der Ersatzteile beim zentralen Lieferanten betragen für ET1 50 Tage und für ET2 35 Tage. Weiterhin wiesen die Unternehmen zueinander einen homogenen Ersatzteilbedarf auf und setzten jeweils 15 Maschinenteile des entsprechenden Ersatzteils gleichzeitig in ihren Straßenbahnen ein.

In Tabelle 5-2 sind die zu definierenden kooperationsspezifischen Simulationsparameter dargestellt. Analysiert wurden die Ersatzteilbestände für eine Kooperation der insgesamt fünf Unternehmen, bei der die Ersatzteile auf drei Lager verteilt wurden. Es wurde ein Ziel-Servicegrad von mindestens 95 Prozent angestrebt und eine maximal akzeptierte Bereitstellzeit von einem Tag vereinbart.

Tabelle 5-2: Kooperationspezifische Simulationsparameter

Kooperationsspezifische Simulationsparameter	
Kooperierende Unternehmen (n_k)	5
Anzahl Lager (n_L)	3
Angestrebter Ziel-Servicegrad (SG_z)	$\geq 0,95$
Akzeptierte Bereitstellungszeit (t_B)	1 Tag

Zur Ermittlung der Anzahl der zu bevorratenden Ersatzteile zeigt Abbildung 5-3 den Servicegrad in Abhängigkeit des Lagerbestands der Ersatzteile ET1 und ET2 für ein individuelles Ersatzteilmanagement und für die angestrebte Kooperationsgröße von fünf Unternehmen in einem kooperativen Ersatzteilmanagement.

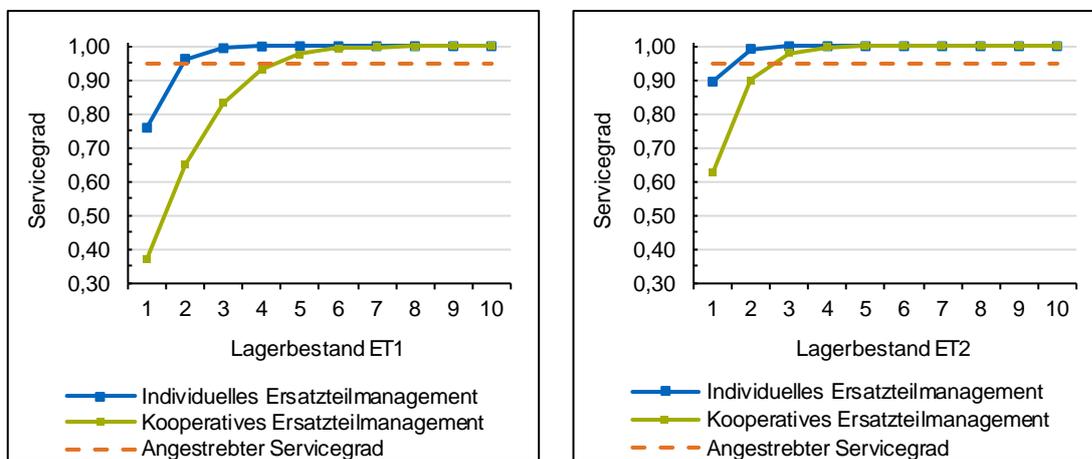


Abbildung 5-3: Servicegrad in Abhängigkeit des Lagerbestands der Kooperation für ein individuelles Ersatzteilmanagement und eine Kooperation von fünf Unternehmen

Die Analyse zeigt, dass der resultierende Servicegrad mit Erhöhung des jeweiligen Lagerbestands steigt. Bei der Bevorratung von ET1 müssen für den Fall eines individuellen Ersatzteilmanagements mindestens zwei Ersatzteile vorrätig gehalten werden, um einen Ziel-Servicegrad von 95 Prozent sicherzustellen. Für eine Kooperation von fünf Unternehmen müssen insgesamt mindestens fünf Ersatzteile bevorratet werden. Für ET2 werden wiederum zwei Ersatzteile (individuelles Ersatzteilmanagement) beziehungsweise drei Ersatzteile (kooperatives Ersatzteilmanagement) benötigt. Die daraus resultierende durchschnittlich zu bevorratende Anzahl Ersatzteile je Unternehmen zeigt Abbildung 5-4.

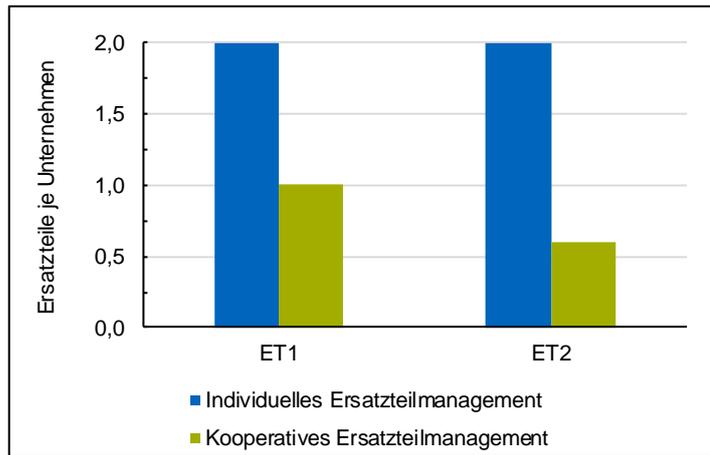


Abbildung 5-4: Ersatzteile je Unternehmen für ein individuelles Ersatzteilmanagement und ein Unternehmen des kooperativen Ersatzteilmanagements

Für eine zukünftige Erweiterung der Kooperation wird darüber hinaus der Servicegrad bei Aufnahme weiterer Unternehmen in die Kooperation für das empfohlene kooperative Bestandslevel und bei Bevorratung eines zusätzlichen Ersatzteils betrachtet (Abbildung 5-5).

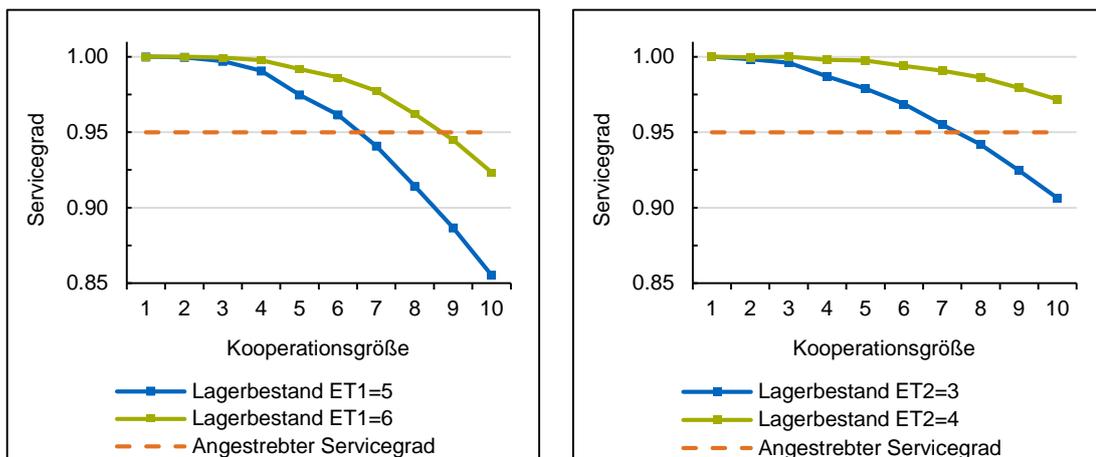


Abbildung 5-5: Servicegrad in Abhängigkeit der Kooperationsgröße

Für beide Ersatzteile ET1 und ET2 ergibt sich mit zunehmender Kooperationsgröße für die betrachteten Ersatzteilbestände ein abnehmender Servicegrad. Es zeigt sich jedoch, dass die Ersatzteile je Unternehmen bei einer Vergrößerung der Kooperation und einem angestrebten Ziel-Servicegrad von mindestens 95 Prozent weiter verringert werden können. Ohne zusätzliche Erhöhung des Ersatzteilbestands können für ET1 ein und für ET2 zwei weitere Unternehmen aufgenommen werden. Eine zukünftige Erweiterung der Kooperation erscheint dementsprechend vorteilhaft, sofern der hinzukommende Koordinationsaufwand bewältigt werden kann. Bei einer Erhöhung des Er-

satzteilbestands um ein weiteres Ersatzteil kann der Servicegrad für die Kooperationsgröße von fünf Unternehmen stark verbessert oder es können drei (ET1) beziehungsweise mindestens fünf (ET2) weitere Unternehmen aufgenommen werden.

Wirtschaftlichkeitsbewertung

Mit dem Modul *Analyse der Ersatzteilbestände* wurde das erforderliche Bestandslevel der Ersatzteile und das daraus resultierende Potenzial zur Reduktion des jeweiligen Ersatzteilbestands ermittelt. Die Ersatzteilbestände der betrachteten 40 geeigneten Ersatzteile konnten um durchschnittlich 55 Prozent reduziert werden, wobei die Analyse im Rahmen der Fallstudie exemplarisch für zwei der 40 geeigneten Ersatzteile dargestellt wurde. Die ermittelten Daten waren Grundlage und Voraussetzung für die Wirtschaftlichkeitsbewertung im aktuellen Modul. Hierzu wurden basierend auf dem Modell zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit (Abschnitt 4.4) die jährlichen Kosten in den Funktionsbereichen Beschaffung, Lager, Transport und Administration für ein individuelles Ersatzteilmanagement und für ein Unternehmen des betrachteten kooperativen Ersatzteilmanagements berechnet. In der Fallstudie wurden für das Unternehmen UN1, das die Kooperation initiierte, und für die vier potenziellen Kooperationspartner die wirtschaftliche Vorteilhaftigkeit der Implementierung des kooperativen Ersatzteilmanagements ermittelt. Die entsprechenden Ergebnisse der Kostenberechnung der einzelnen Kostenarten zeigt Tabelle 5-3.

Tabelle 5-3: *Kosten je Funktionsbereich für ein individuelles Ersatzteilmanagement und ein Unternehmen des kooperativen Ersatzteilmanagements*

Kostenart	Individuelles Ersatzteilmanagement	Unternehmen des kooperativen Ersatzteilmanagements
Beschaffungskosten	317.480,77 €	242.938,62 €
Lagerkosten	62.063,35 €	27.943,16 €
Transportkosten	-	18.900,00 €
Administrationskosten	-	1.720,00 €
Gesamtkosten	379.544,11 €	291.501,79 €

Die zugrunde liegenden Input-Parameter für das Bewertungsmodell sind in Anhang B in Tabelle B-1 dargestellt. Diese konnten für ein individuelles Ersatzteilmanagement den Dokumentationen und Datenbanken im Unternehmenscontrolling entnommen werden. Für ein kooperatives Ersatzteilmanagement wurden die Daten in Expertengesprächen mit Hilfe von Schätzmethoden (Anhang A) festgelegt. Dabei wurden der Parameter für ein erhöhtes Einkaufsvolumen $f_{B,V}$ und der Parameter verbesserter Marktmacht $f_{B,M}$ mit jeweils 0,9 angenommen. Darüber hinaus hat das initiiierende Unter-

nehmen UN1 erwartet, dass der zusätzliche Administrationsaufwand für das kooperative Ersatzteilmanagement von einem Mitarbeiter in durchschnittlich einem halben Tag pro Woche bewältigt werden kann.

Die Anwendung des Modules zeigt, dass sich für ein individuelles Ersatzteilmanagement Gesamtkosten von circa 380.000 Euro gegenüber circa 290.000 Euro für ein Unternehmen des kooperativen Ersatzteilmanagements ergeben. Daraus resultiert ein zu erwartendes jährliches Kosteneinsparungspotenzial von circa 90.000 Euro. Die Gesamtkosten können für die betrachteten Ersatzteile dementsprechend um mehr als 23 Prozent gesenkt werden, wobei insbesondere die Reduktion der Beschaffungskosten um circa 75.000 Euro die Effizienz im Ersatzteilmanagement erhöht. Demgegenüber stehen geringe Aufwendungen für die Administration der Kooperation (1.720 Euro) und moderate Kosten für die erforderlichen kooperationsinternen Ersatzteillieferungen bei insgesamt drei Lagern innerhalb der Kooperation (18.900 Euro). Abbildung 5-6 visualisiert die dargestellten Kosten je Funktionsbereich für ein individuelles Ersatzteilmanagement und ein Unternehmen des kooperativen Ersatzteilmanagements.

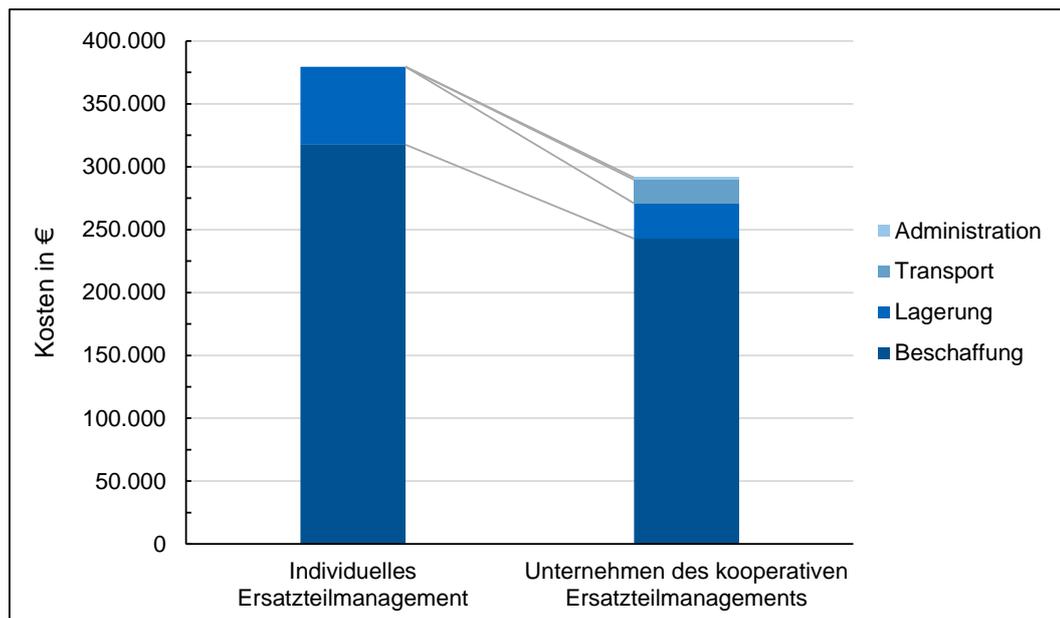


Abbildung 5-6: Visualisierung der Kosten je Funktionsbereich für ein individuelles Ersatzteilmanagement und ein Unternehmen des kooperativen Ersatzteilmanagements

Zur Bewertung der Sensitivität des Kostenmodells und um eine valide Entscheidung über das Eingehen der Kooperation zu ermöglichen, wurden zusätzlich zum Planfall die zu erwartenden Kosteneinsparungen für den Minimal- und den Maximalfall berechnet (Unterabschnitt 4.4.6).

Es ist ersichtlich, dass sich im Minimalfall die Bestandsreduktion der Ersatzteile um ein Viertel auf circa 41 Prozent verringert und keine Beschaffungskostenvorteile aufgrund einer verbesserten Marktmacht und eines erhöhten Einkaufsvolumens erzielt werden können. Demgegenüber können im Maximalfall die Ersatzteilbestände zusätzlich um ein Viertel um insgesamt circa 69 Prozent und die Parameter der Beschaffungskosten $f_{B,V}$ und $f_{B,M}$ um weitere 25 Prozent auf 0,875 reduziert werden. Die resultierenden Kosteneinsparungen je Szenario zeigt Abbildung 5-7.

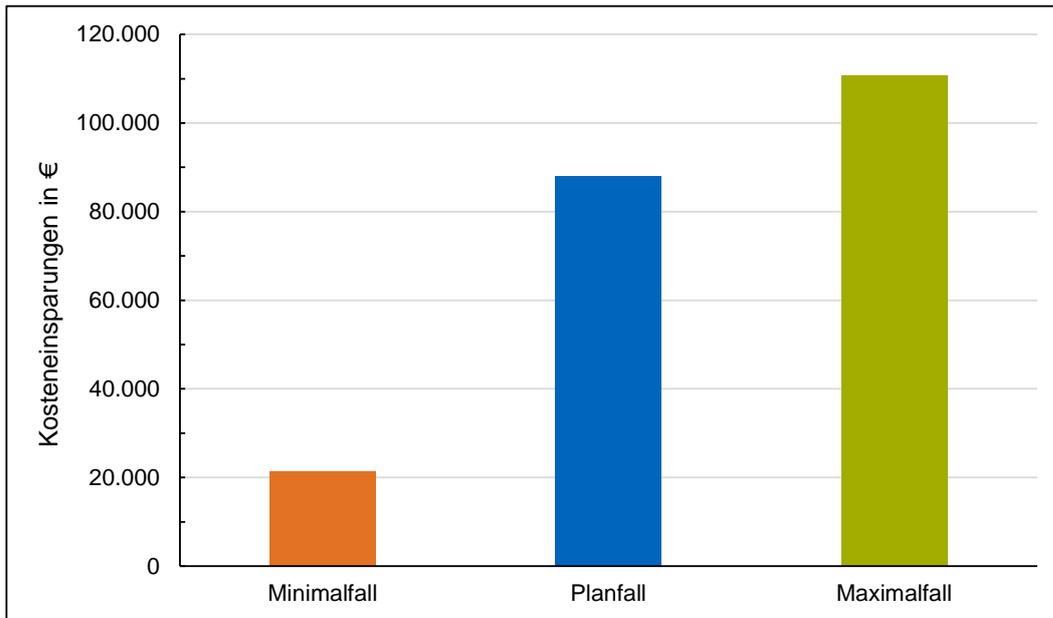


Abbildung 5-7: Kosteneinsparungen für ein Unternehmen des kooperativen Ersatzteilmanagements für die Szenarien Minimal-, Plan-, und Maximalfall

Für den Maximalfall erhöhen sich die Kosteneinsparungen um circa 20.000 Euro auf insgesamt circa 110.000 Euro und 30 Prozent gegenüber einem individuellen Ersatzteilmanagement. Andererseits verringern sich im Minimalfall die Kosteneinsparungen deutlich auf circa 20.000 Euro, womit die Kooperation die Effizienz im Ersatzteilmanagement um circa sechs Prozent erhöht. Das Bewertungsmodell weist dementsprechend eine hohe Sensitivität auf, zeigt jedoch auch für den Minimalfall und insbesondere für den Planfall ein vielversprechendes Kosteneinsparungspotenzial.

Das initiierende Unternehmen UN1 und die potenziellen Kooperationspartner haben sich daher auf Basis der Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung dazu entschieden, die Implementierung des kooperativen Ersatzteilmanagements weiter fortzusetzen und konnten die aktuelle Implementierungsphase *Anbahnung* erfolgreich abschließen.

5.3.3 Implementierungsphase 3: Aufbau

In der dritten Implementierungsphase *Aufbau* erfolgt eine Definition der strukturellen und prozessualen Kooperationsgestaltung sowie eines Incentivierungssystems für die insgesamt fünf Unternehmen. Hierzu sind die Module *Strukturelle Kooperationsgestaltung* und *Incentivierungssystem* der Implementierungsmethodik erforderlich. Notwendige und zu definierende operative Prozesse des kooperativen Ersatzteilmanagements sind in [Fot-2019, S. 47 ff] beschrieben, wohingegen die Implementierungsmethodik die Prozessverantwortlichkeiten der kooperativen Prozesse fokussiert und darstellt.

Strukturelle Kooperationsgestaltung

Die avisierte Kooperation von insgesamt fünf Unternehmen im Bereich der Verkehrstechnik mit 40 kooperativ zu bevorratenden Ersatzteilen strebte die Implementierung eines kooperativen Ersatzteilmanagements an, wobei die Experten Vorbehalte gegenüber ausgeprägten gegenseitigen rechtlichen Verpflichtungen hatten. Weiterhin wollten die Unternehmen die Kooperation mit einer möglichst geringen Komplexität initiieren. Daher sollten der Implementierungsaufwand und notwendige Kosten weitestgehend reduziert werden und eine hohe Autonomie im Ersatzteilmanagement bestehen bleiben. Die Unternehmen haben deshalb das Virtuelle Ersatzteillager als strukturelle Ausgestaltungsform gewählt, welches für die Größe der Kooperation und die kooperativ zu bevorratenden Ersatzteile geeignet erschien.

Durch die Auswahl der Ausgestaltungsform wurden die Prozessverantwortlichkeiten der kooperativen Prozesse festgelegt und zusammen mit der abgestimmten Ausgestaltungsform im Kooperationsvertrag fixiert. Aufgrund der Ausgestaltung als Virtuelles Ersatzteillager wurde eine gleichberechtigte Ausführung aller Prozesse durch die Kooperationspartner vereinbart. Die Prozesse der Ersatzteilversorgung sollten nach erfolgter Implementierung der Kooperation jeweils durch das Unternehmen mit einem Ersatzteilbedarf verantwortet werden. Zur Sicherstellung einheitlicher Abläufe sollten diese Prozesse stark systemgestützt durchgeführt werden.

Incentivierungssystem

Die möglichen Kosteneinsparungen der vorangegangenen Wirtschaftlichkeitsbewertung stellten den Hauptanreiz der Kooperationspartner dar und sollten daher laufend aktualisiert und aufbereitet werden. Zur Sicherstellung einer langfristig aktiven Teilnahme an der Kooperation wurden für die monetäre Incentivierung daher die Ergebnisse der zu erwartenden unternehmensindividuellen Einsparungen berücksichtigt. Für das Virtuelle Ersatzteillager wurden darüber hinaus Ansätze zur Verteilung der

Kosten je Ausgestaltungsform festgelegt (Tabelle 4-12). Es wurde von den Unternehmen beschlossen, dass die Lager- und Administrationskosten aufgrund ihrer gleichmäßigen und geringen Belastung nicht ausgeglichen werden. Für die Beschaffungs- und Transportkosten im Bedarfsfall wurde hingegen vereinbart, dass diese für jede einzelne Transaktion über den Ersatzteilpreis und einen Transportkostenaufschlag kompensiert werden.

Weiterhin haben die Unternehmen die in Abbildung 4-23 aufgeführten nicht-monetär bewertbaren Incentivierungen verbindlich in den Kooperationsvertrag aufgenommen. Im Bereich Vertrauensbildung und Beziehungsmanagement wurde insbesondere fixiert, welche Ressourcen jedes Unternehmen einbringt. Des Weiteren wurde gemeinsam vereinbart, wie und in welcher Regelmäßigkeit Feedback und Ideen zur Entwicklung der Kooperation ausgetauscht werden. Um eine ausreichende Transparenz sicherzustellen und um die Feedbackgespräche zu unterstützen, haben die fünf Unternehmen zur Bewertung der Kooperation folgende Kennzahlen definiert, die mit Hilfe der Steuerungsplattform erfasst werden sollten:

- Kosteneinsparungspotenzial je Unternehmen in Euro
- Bestandsreduktion je Ersatzteil in Prozent
- Servicegrad der Ersatzteilbereitstellung je Ersatzteil

5.3.4 Implementierungsphase 4: Dynamischer Betrieb

In der vierten Implementierungsphase *Dynamischer Betrieb* wird die Kooperation final implementiert. Ihr Status wird kontinuierlich erfasst und bewertet, um einen langfristigen Kooperationserfolg zu ermöglichen. Entgegen den Implementierungsphasen eins, zwei und drei können die Ergebnisse der Phase vier, insbesondere der *Dynamischen Betriebsphase II* und der *Dynamischen Betriebsphase III*, aufgrund der Bedarfscharakteristik und hoher initialer Bestände der in der Fallstudie betrachteten Ersatzteile innerhalb der Zeit der vorliegenden Arbeit nur hypothetisch als erreicht angenommen werden. Die erfolgreiche Anwendung der erforderlichen Module konnte jedoch bereits in den vorherigen Phasen gezeigt werden.

In der vierten Implementierungsphase werden die in der Phase *Anbahnung* angewendeten Module *Analyse der Ersatzteilbestände* und *Wirtschaftlichkeitsbewertung* benötigt. Diese sind auch die maßgebliche Grundlage der definierten Kennzahlen des Incentivierungssystems. Die betrachtete Kooperation der fünf Unternehmen erreicht in dieser Phase den operativen Betrieb. Das kooperative Ersatzteilmanagement ist final implementiert, sobald die bevorrateten Ersatzteile kooperativ beschafft und die ent-

sprechenden Zielbestände erreicht wurden. Damit ist die Kooperation an ihren Betriebspunkt gelangt und die kooperierenden Unternehmen profitieren in vollem Umfang von der prognostizierten Effizienzsteigerung im Ersatzteilmanagement.

5.4 Komposition der Fallstudie

Die Erfüllung der in Unterabschnitt 3.1.2 definierten grundsätzlichen Anforderungen an eine Methodik zur Implementierung eines kooperativen Ersatzteilmanagements wird in der nachfolgenden Komposition der Fallstudie für die im Rahmen der Arbeit entwickelte Implementierungsmethodik bewertet.

G-1 Skalierbarkeit des Betrachtungsgegenstands: Die entwickelte Methodik wurde in der Fallstudie für fünf Kooperationspartner und einen zentralen Ersatzteillieferanten angewendet. Eine Skalierung der Kooperation ist ohne Probleme möglich, nachdem alle Module sowohl kleinere als auch größere Kooperationen erfassen können. Zusätzlich ist eine Übertragbarkeit der Ansätze auf unternehmensinterne standortübergreifende Kooperationen möglich. Die Methodik unterstützt dementsprechend die geforderte Skalierbarkeit.

G-2 Anpassbarkeit an anwendungsfallsspezifische Rahmenbedingungen: In der Fallstudie wurden in den einzelnen Modulen der Methodik unternehmensindividuelle Daten verarbeitet und die Methodik dadurch für die anwendenden Unternehmen spezifiziert. Dazu wurden unter anderem Standards definiert und diese unternehmensspezifisch geprüft. Die Kooperationspartner haben gemeinsame Zielparameter definiert, beispielsweise einen angestrebten Ziel-Servicegrad von mindestens 95 Prozent und eine maximal eintägige Bereitstellzeit der Ersatzteile im Bedarfsfall. Die relevanten Bewertungsparameter der Module wurden situationsspezifisch an die Unternehmen und die Kooperation angepasst. Weiterhin konnten unterschiedliche Ersatzteile betrachtet und analysiert werden, eine Beschränkung auf spezifische Ersatzteile ist nicht notwendig.

G-3 Einfache Anwendbarkeit und geringer Zeitaufwand: Der erforderliche aktive Zeitaufwand für die Durchführung der Methodik mit den entsprechenden Modulen ist gering, sofern alle erforderlichen Daten vorliegen. Mit dem Modul *Grundlegende Eignungsprüfung* wurden bereits in den ersten beiden Implementierungsphasen relevante Unternehmen ausgewählt und die weitere Anwendung der Methodik auf diese Unternehmen beschränkt. Die Simulationen zur Analyse der Ersatzteilbestände benötigten in der Fallstudie einige Stunden Rechenzeit, wurden aber systemgestützt ohne größeren manuellen Aufwand ausgeführt. Weitere notwendige Schritte wurden durch die

Module bestmöglich unterstützt und konnten aufwandsarm durchgeführt werden. Dennoch konnte die *Dynamische Betriebsphase III* im Rahmen der Fallstudie aufgrund der Bedarfscharakteristik und hoher initialer Bestände der Ersatzteile nur hypothetisch erreicht werden. Die Phase des Übergangs und der Transformation im operativen Betrieb in der Implementierungsphase *Dynamischer Betrieb* sollte nach Rückmeldung der Kooperationspartner durch Softwaretools unterstützt und das Erreichen der finalen Phase dadurch erleichtert werden.

G-4 Datenschutz und Datensparsamkeit aufgrund sensibler Unternehmensdaten: Die einzelnen Module der Methodik verarbeiten nur für die Implementierung der Kooperation zwingend erforderliche Daten. Es ist sichergestellt, dass diese sensiblen Unternehmensdaten ausschließlich für Unternehmen geprüft werden, die eine grundlegende Eignung und damit ein hohes Potenzial aufweisen. Insbesondere bei den Preis- und Bedarfsinformationen der Ersatzteile handelte es sich um sensible Unternehmensdaten, die darüber hinaus von Unternehmen, die in einem ähnlichen Marktumfeld teilweise als Wettbewerber auftreten, bereitgestellt wurden. Die Module der Methodik ermöglichten eine automatisierte Verarbeitung der Daten, die durch den Einsatz zusätzlicher Softwareautomation unterstützt werden kann.

G-5 Hohe Transparenz und Nachvollziehbarkeit: Die Methodik fördert gemeinsame Entscheidungsprozesse während der Implementierung des kooperativen Ersatzteilmanagements. Dies zeigte sich unter anderem dadurch, dass das Beziehungsmanagement im Incentivierungssystem als eine zentrale Komponente festgelegt wurde. Weiterhin hat die Methodik eine hohe Transparenz, beispielsweise über die Anzahl der Kooperationspartner und die kooperativ bevorrateten Ersatzteile, geboten. Die Ergebnisse der jeweiligen Implementierungsphase und Module waren für alle Kooperationspartner verfügbar, damit diese eine individuelle Bewertung der Kooperation durchführen konnten.

Die entwickelte Implementierungsmethodik erfüllt dementsprechend die grundsätzlichen Anforderungen an eine Methodik zur Implementierung eines kooperativen Ersatzteilmanagements, sodass ihre Anwendbarkeit, Funktionalität und Zielorientierung sichergestellt ist.

5.5 Zielerfüllung und kritische Diskussion der Forschungsergebnisse

Auf Grundlage der fallstudienbasierten Evaluation der Implementierungsmethodik werden die Erfüllung der Teilforschungsziele und des übergeordneten Forschungsziels (Abschnitt 1.2 und 2.5) bewertet und die Forschungsergebnisse kritisch diskutiert.

(Z-1): Definition erforderlicher Implementierungsphasen und jeweils relevanter Aufgaben

Aufbauend auf dem Modell der Lebenszyklusphasen von Kooperationen (Unterabschnitt 2.2.3) wurden die vier Implementierungsphasen *Definition*, *Anbahnung*, *Aufbau* und *Dynamischer Betrieb* definiert, wobei die letzte Phase der Implementierung in drei Sub-Phasen untergliedert wurde (Abschnitt 3.2). Die Sub-Phasen eins und zwei sind durch den Abbau bereits existierender Ersatzteilbestände geprägt, bis in Sub-Phase drei der finale operative Zustand und Betriebspunkt der Kooperation erreicht ist. Bei der Anwendung der Methodik hat sich die Eignung dieser Implementierungsphasen bestätigt. Gleichwohl könnte der Übergang zwischen den Phasen und Sub-Phasen stärker fokussiert werden. So wäre zur besseren Orientierung der Kooperationspartner beispielsweise eine zeitliche Abschätzung, wann die nächste Phase voraussichtlich erreicht wird, sehr hilfreich.

(Z-2): Identifikation und Definition grundlegender Ausgestaltungsformen und entsprechender Auswahlkriterien

Im Modul *Strukturelle Kooperationsgestaltung* (Abschnitt 4.5) wurden drei grundlegende Ausgestaltungsformen entwickelt: Virtuelles Ersatzteillager, Koordinierte Kooperation und Zentrale Kooperation. Der erarbeitete morphologische Kasten ermöglicht eine individuelle Konfiguration der Kooperation, die die relevanten Charakteristika und Ausgestaltungs-kriterien berücksichtigt. Weiterhin wurden die strukturellen Prozessverantwortlichkeiten der kooperativen Prozesse definiert und Kriterien für die Auswahl einer Ausgestaltungsform beschrieben, die erfolgreich angewendet werden konnten.

(Z-3): Definition eines Vorgehens zur Auswahl geeigneter Ersatzteile und Entwicklung eines Modells zur Bestimmung und Analyse erforderlicher Ersatzteilbestände und Kooperationsgrößen

Für die Analyse der Ersatzteilbestände (Abschnitt 4.3) wurde zunächst ein Vorgehen zur Vorauswahl geeigneter Ersatzteile beschrieben. Dazu werden die Ersatzteilpreise, die Ersatzteilbedarfscharakteristik und die Ersatzteilüberschneidung innerhalb der Kooperation bewertet. In der Fallstudie konnten dadurch 40

geeignete Ersatzteile identifiziert werden. Diese Ersatzteile wurden mit dem entwickelten Simulationsmodell analysiert und erforderliche Ersatzteilbestände in Abhängigkeit der individuellen Rahmenbedingungen ermittelt. Für die exemplarisch betrachteten Ersatzteile ET1 (Gleichstrom-Motor) und ET2 (Kupplung) wurde ein Bestandssenkungspotenzial von 50 beziehungsweise 70 Prozent berechnet. Darüber hinaus wurde für eine zukünftige Erweiterung der Kooperation der ersatzteilspezifische Servicegrad in Abhängigkeit der Kooperationsgröße untersucht. Das entwickelte Vorgehen und das Modell berücksichtigen jedoch keine potenziellen Beschaffungsabhängigkeiten verschiedener Ersatzteile, die im operativen Kooperationsbetrieb möglicherweise eine Herausforderung darstellen.

(Z-4): Entwicklung eines Modells zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit unter Berücksichtigung individueller Rahmenbedingungen und monetärer Auswirkungen je Funktionsbereich

Im Rahmen der Arbeit wurde ein Modell zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit entwickelt (Abschnitt 4.4). Dazu wurden zunächst kostenrelevante Veränderungen in den Unternehmensprozessen aufgrund der Implementierung eines kooperativen Ersatzteilmanagements identifiziert. Anschließend wurden die relevanten Kosten modelliert und das Kosteneinsparungspotenzial berechnet. Das Bewertungsmodell kann anwendungsfallsspezifisch angepasst und parametrisiert werden. In der Fallstudie hat sich ein Kosteneinsparungspotenzial von circa 23 Prozent gegenüber einem individuellen Ersatzteilmanagement ergeben. Für die teilweise herausfordernde Bestimmung der erforderlichen Input-Parameter des Bewertungsmodells wurden Ansätze vorgestellt.

(Z-5) Entwicklung eines Incentivierungssystems, das monetäre und nicht-monetäre Aspekte einbezieht

Zur Sicherstellung einer langfristig erfolgreichen Kooperation wurden Ansätze für ein strategisches Incentivierungssystem entwickelt (Abschnitt 4.6). Diese umfassen sowohl monetäre als auch nicht-monetäre Aspekte und befähigen eine kooperationspezifische Ausgestaltung. In der Fallstudie wurden diese Elemente aufgegriffen, ausgestaltet und verbindlich im Kooperationsvertrag festgehalten. Insbesondere das Gerechtigkeitsempfinden der Kooperationspartner ist jedoch stark subjektiv geprägt, sodass es hier bestenfalls weiterführender individueller Vereinbarungen bedarf.

Auf Basis der Forschungsergebnisse kann das übergeordnete Forschungsziel bewertet werden:

Entwicklung einer Methodik zur Implementierung eines kooperativen Ersatzteilmanagements

Die entwickelte Methodik definiert und strukturiert erforderliche Phasen und notwendige Aufgaben zur Implementierung eines kooperativen Ersatzteilmanagements. Sie umfasst alle Phasen bis zur finalen Implementierung der Kooperation und ist die Grundlage für die Entwicklung der funktionalen Module, die in der Arbeit ausgestaltet wurden. Die Methodik konnte in einer Fallstudie erfolgreich erprobt und ihre Anwendbarkeit, Zielorientierung und Funktionalität sichergestellt werden. Sie befähigt damit interessierte Unternehmen, ein kooperatives Ersatzteilmanagement zu implementieren. Die in Abschnitt 2.5 identifizierte Forschungslücke wird daher mit der vorliegenden Arbeit als weitgehend geschlossen betrachtet.

6 Schlussbetrachtung

Nachfolgend werden eine Zusammenfassung der vorliegenden Arbeit (Abschnitt 6.1) und ein Ausblick auf mögliche zukünftige Forschungsarbeiten für kooperative Ersatzteilmanagementsysteme (Abschnitt 6.2) gegeben.

6.1 Zusammenfassung

Das Forschungsziel der Arbeit war die Entwicklung einer Methodik zur Implementierung eines kooperativen Ersatzteilmanagements. Die entwickelte Methodik strukturiert die erforderlichen und zu durchlaufenden Entwicklungsphasen der Kooperation und integriert durchzuführende Aufgaben in funktionale Module.

Im Rahmen der Arbeit wurden insgesamt vier Implementierungsphasen inklusive der erforderlichen Aufgaben und Module beschrieben. Die erste Phase *Definition* fokussiert eine Spezifizierung des Kooperationsumfangs, bevor die Phase *Anbahnung* eine Identifikation geeigneter Kooperationspartner ermöglicht. In der dritten Phase *Aufbau* werden eine Struktur- und Prozessgestaltung durchgeführt, sodass die Kooperation anschließend in Phase vier *Dynamischer Betrieb* in den operativen Betrieb mit der finalen Implementierung und einem begleitenden Monitoring übergeht. Für die Phase des operativen Betriebs wurden drei Sub-Phasen beschrieben, die den jeweiligen Zustand der Kooperation und den Übergang von individuellen und bereits existierenden Ersatzteilbeständen zu einem optimierten kooperativen Ersatzteillager ermöglichen.

Für die Implementierungsmethodik wurden die benötigten Module entwickelt, in den Ablauf integriert und die Übergänge zwischen den Modulen und Implementierungsphasen mit entsprechenden Entscheidungspunkten erläutert. Es konnten insgesamt sechs relevante funktionale Module identifiziert werden. Die Inhalte des Moduls *Prozessframework* sind bereits in [Fot-2019, S. 47 ff] beschrieben, während die weiteren fünf Module im Rahmen der Arbeit entwickelt wurden.

Im Modul *Grundlegende Eignungsprüfung* wird die Erreichbarkeit der angestrebten Ziele bewertet, indem die Eignung des die Kooperation initiiierenden Unternehmens und potenzieller Kooperationspartner überprüft werden. Dazu wurde ein dreistufiges Bewertungsverfahren definiert, welches zunächst die Vorteile und Herausforderungen kooperativer Ersatzteilmanagementsysteme beschreibt. Weiterhin wurde eine Checkliste zur grundlegenden Eignungsprüfung erarbeitet, die die Bewertungsschritte zwei

und drei integriert. Für eine *Analyse der Ersatzteilbestände* wurden ein Vorgehen zur Vorauswahl geeigneter Ersatzteile und ein Simulationswerkzeug entwickelt. Das Vorgehen berücksichtigt die Preisstruktur der Ersatzteile, die Stetigkeit der Ersatzteilbedarfe sowie die Ersatzteilüberschneidung innerhalb der Kooperation und unterstützt die Identifikation der für ein kooperatives Ersatzteilmanagement geeigneten Ersatzteile. Die anschließende simulationsbasierte Analyse der Ersatzteile ermöglicht die Bestimmung der kooperativen Lagerbestände für die zu implementierende Kooperation, indem der resultierende Servicegrad für die entsprechende Kooperation für unterschiedliche Lagerbestände und Ersatzteile bestimmt wird. Als weiteres Kernelement der Implementierungsmethodik wurde ein Modul zur *Wirtschaftlichkeitsbewertung* eines kooperativen Ersatzteilmanagements erarbeitet. Das Modul berücksichtigt idealisierte und fehlerfreie Prozesse, jedoch keine Saisonalität etwaiger Ersatzteilbedarfe. Für die Entwicklung des Modells zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit wurden die kostenrelevanten Auswirkungen der Kooperation auf einzelne Funktionsbereiche ermittelt. Basierend auf den unterschiedlichen individuellen und kooperativen Prozessen und den entsprechenden Anpassungen wurden die Kosten in den Funktionsbereichen Beschaffung, Lager, Transport und Administration modelliert, sodass das zu realisierende Kosteneinsparungspotenzial des kooperativen Ersatzteilmanagements quantifiziert werden kann. Weiterhin stellt die beschriebene multiple Sensitivitätsanalyse eine valide Entscheidungsgrundlage sicher. Zur Unterstützung der Ausgestaltung des kooperativen Ersatzteilmanagements wurde die Kooperation im Modul *Strukturelle Kooperationsgestaltung* charakterisiert. Aufbauend auf einem entwickelten morphologischen Kasten mit Ausgestaltungskriterien und möglichen Ausprägungen eines kooperativen Ersatzteilmanagements wurden drei grundlegende strukturelle Ausgestaltungsformen definiert: Virtuelles Ersatzteillager, Koordinierte Kooperation und Zentrale Kooperation. Für diese wurden darüber hinaus Prozessverantwortlichkeiten der kooperativen Prozesse abgeleitet und praxisorientierte Kriterien für die Auswahl einer Ausgestaltungsform erarbeitet. Abschließend wurde das Modul *Incentivierungssystem* erläutert, welches monetäre und nicht-monetäre Elemente umfasst. Das Modul ermöglicht eine langfristig stabile Kooperation und berücksichtigt Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung und der strukturellen Kooperationsgestaltung.

Anhand einer Fallstudie im Bereich Verkehrstechnik wurde die entwickelte Implementierungsmethodik mit den zu durchlaufenden Phasen erprobt und evaluiert. Dabei konnte für die exemplarisch betrachteten Ersatzteile bei kooperativer Bevorratung in einer fünf Unternehmen umfassenden Kooperation ein Bestandssenkungspotenzial von 50 bis 70 Prozent ermittelt werden. Die Analysen konnten die Vorauswahl geeigneter Ersatzteile bestätigen. Im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsbewertung wurde für die 40 geeigneten Ersatzteile ein jährliches Kostenreduktionspotenzial von circa

90.000 Euro ermittelt, sodass das Ersatzteilmanagement um bis zu 23 Prozent effizienter ausgestaltet werden kann. Die Sensitivitätsanalyse bestätigte die Vorteilhaftigkeit des kooperativen Ersatzteilmanagements, indem auch für den Minimalfall ohne verringerte Beschaffungskosten eine Kostenreduktion ermöglicht wird.

6.2 Ausblick

Bei der Entwicklung der Methodik zur Implementierung eines kooperativen Ersatzteilmanagements konnten unterschiedliche Themenbereiche möglicher zukünftiger Forschungsarbeiten identifiziert werden.

Die entwickelte Methodik fokussiert eine erfolgreiche Implementierung der Kooperation. Interessierte Unternehmen werden somit befähigt, ein kooperatives Ersatzteilmanagement in bestehende Unternehmensprozesse zu integrieren. Weiterhin bildet die Methodik den Rahmen für etwaige Veränderungen und Anpassungen der Kooperation, die erfordern, dass einzelne Phasen und Module erneut durchlaufen werden. Für eine differenzierte Betrachtung könnte die Methodik zukünftig um eine vollständige Lebenszyklusbetrachtung der Kooperation erweitert werden. Hierzu sollten insbesondere Ereignisse, die eine Veränderung und Anpassung der Kooperation erfordern, herausgearbeitet und detailliert werden. Mögliche Veränderungen umfassen beispielsweise den Beitritt neuer Unternehmen zur Kooperation, den Austritt kooperierender Unternehmen und ein stark verändertes zu bevorratendes Ersatzteilspektrum aufgrund wechselnder technischer Systeme. Die Auswirkungen auf die Kooperation und die einzelnen Unternehmen sollten untersucht und Veränderungsprozesse sowie Ereignisse, die eine Anpassung der Kooperation erfordern, klassifiziert und beschrieben werden. Weiterhin ist für eine vollständige Lebenszyklusbetrachtung die Integration eines Exit-Prozesses notwendig, um eine geordnete Beendigung der Kooperation im Bedarfsfall zu ermöglichen.

Zusätzlich sollte in zukünftigen Forschungsarbeiten der Übergang zwischen den Sub-Phasen der Phase *Dynamischer Betrieb* erleichtert werden. Aktuell stellt die Methodik die Sub-Phasen und deren Zustände hinreichend dar, eine Begleitung und Unterstützung der Kooperationspartner während der einzelnen Sub-Phasen sollte jedoch ergänzt werden. Hierzu können beispielsweise softwarebasierte Monitoring-Tools eingesetzt werden, die den Prozess in den einzelnen Sub-Phasen visualisieren. Ein solches Feedback und die Möglichkeit, den aktuellen Betriebspunkt und Zustand der Kooperation exakt erfassen zu können, fördert darüber hinaus die Motivation der Kooperationspartner und stellt einen zusätzlichen Kooperationsanreiz dar. Weiterhin können

spieltheoretische Entscheidungssituationen modelliert und entsprechende Erkenntnisse in das Incentivierungssystem integriert werden. Dieses Handlungsfeld erfordert intensive Analysen und Modellierungen, bietet jedoch ein großes Potenzial für die Ausgestaltung einer stabilen Kooperationsbeziehung.

Eine weitere Erhöhung des Vertrauens zwischen den einzelnen Kooperationspartnern kann durch den Einsatz der Blockchain-Technologie und von Smart Contracts erreicht werden. Wie im Rahmen der Arbeit festgestellt wurde, ist eine vertrauensvolle Zusammenarbeit essenziell für den Kooperationserfolg. Daher ist jede Maßnahme, die auf eine Verbesserung der Kooperationsbeziehung abzielt, vorteilhaft. Mit Hilfe der Blockchain-Technologie können beispielsweise die Ersatzteilverwendung, entscheidende Ersatzteilcharakteristika und Dispositionereignisse fälschungssicher und transparent gespeichert und für alle Kooperationspartner einheitlich dargestellt werden. Insbesondere für Lieferketten mit einer stabilen und langfristigen Struktur kann die Blockchain-Technologie bereits heute vielversprechend eingesetzt werden [Die-2020, S. 569]. Eine potenzielle Berücksichtigung der Blockchain-Technologie für kooperative Ersatzteilmanagementsysteme ist daher denkbar und sollte geprüft werden. Daneben ermöglicht die Integration von Smart Contracts automatisierte und vertrauenswürdige Transaktionen für definierte Ereignisse. Diese können zuvor gemeinsam festgelegt werden, um die Prozesse weiter zu standardisieren und die Transparenz zu erhöhen. So kann zukünftig beispielsweise eine proaktive Wartung und Instandhaltung der Ersatzteile integriert werden.

Kooperative Ersatzteilmanagementsysteme stehen in Konkurrenz zu anderen Ausgestaltungsformen wie dem Fremdfirmen-Ersatzteilmanagement, bei dem einzelne Aufgaben des Ersatzteilmanagements an externe Dienstleister vergeben werden. Einige Unternehmen streben aktuell eine solche Ausgestaltung an, es besteht jedoch die Gefahr eines Knowhow-Verlusts und einer verstärkten Abhängigkeit. Weiterhin müssen häufig für die verschiedenen technischen Systeme eine Vielzahl von Serviceverträgen abgeschlossen werden, wodurch der Administrationsaufwand stark ansteigt. Die Vergabe und Ausgestaltung der Verträge ist komplex und bedarf weiterer Forschung, um interessierte Unternehmen zu unterstützen. Die Unternehmen sollten daher die Effekte und Auswirkungen eines kooperativen und Fremdfirmen-Ersatzteilmanagements in einer gesamtheitlichen Betrachtung individuell bewerten können, um die für sie geeignete Ausgestaltungsvariante identifizieren zu können. Zusätzlich sollte neben einer vollständigen Entscheidung für eine der dargestellten Ausgestaltungsformen zukünftig eine hybride Ausgestaltung, die den kooperativen und Fremdfirmen-Ansatz miteinander verbindet, betrachtet werden. Hierzu ist eine geeignete Entscheidungsgrundlage erforderlich, damit interessierte Unternehmen ein für sie ideales System implementieren können.

Die entwickelte Methodik ermöglicht und fördert eine nachhaltige und ressourcenschonende Ausgestaltung des Ersatzteilmanagements. Für ein kooperatives Ersatzteilmanagement werden insgesamt weniger Ersatzteile benötigt, eine verbesserte Ersatzteilmutzung ermöglicht und die Gefahr der Überalterung und Obsoleszenz von Ersatzteilen reduziert. Die Unternehmen können aufgrund der Zusammenarbeit zusätzliches Knowhow aufbauen und dadurch eine Instandsetzung beschädigter Ersatzteile innerhalb der Kooperation ermöglichen. Zukünftig ist daher die Erweiterung der Methodik um eine Analyse relevanter Nachhaltigkeitsparameter anzustreben. Die Methodik sollte beispielsweise die Reduktion des Ersatzteilbedarfs und der Obsoleszenz in eine Bewertung erforderlicher Treibhausgasemissionen überführen, diese transparent darstellen und einer konventionellen Ausgestaltung des Ersatzteilmanagements gegenüberstellen. Dadurch können die Unternehmen einer beispielsweise aufgrund des europäischen Green Deals aktuell intensivierten politischen Debatte positiv begegnen, diese proaktiv weiter fördern und langfristig angestrebte und geforderte Nachhaltigkeitsziele erreichen.

Literaturverzeichnis

- [Abe-2006] Aberdeen Group: Moving Toward Zero Downtime. In: The Asset Management Benchmark Report, Jg. 1 (2006), S. 1–30.
- [Aga-2009] Agarwal, R.; Croson, R.; Mahoney, J. T.: The role of incentives and communication in strategic alliances: an experimental investigation. In: Strategic Management Journal, Jg. 24 (2009) Nr. 11, S. 413–437.
- [Alc-2000] Alcalde Rasch, A.: Erfolgspotential Instandhaltung – Theoretische Untersuchung und Entwurf eines ganzheitlichen Instandhaltungsmanagements. Erich Schmidt, Berlin, 2000.
- [Ali-2005] Alicke, K.: Planung und Betrieb von Logistiknetzwerken – Unternehmensübergreifendes Supply Chain Management. Springer, Berlin, Heidelberg, 2005.
- [Bec-2000] Becker, W.; Brinkmann, F.: Kostenrechnung für die Instandhaltung – Ergebnisse einer empirischen Untersuchung. opus, Bamberg, 2000.
- [Bec-2011] Becker, T.; Dammer, I.; Howaldt, J.; Loose, J.; Becker, T.; Dammer, I.; Loose, A. (Hrsg.): Netzwerkmanagement – Mit Kooperation zum Unternehmenserfolg. Springer, Berlin, Heidelberg, 2011.
- [Bec-2018a] Becker, H. P.; Peppmeier, A.: Investition und Finanzierung. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2018.
- [Bec-2018b] Becker, W.; Ulrich, P.; Botzkowski, T.; Fibitz, A.; Stradtman, M.: Kooperationen zwischen Mittelstand und Start-up-Unternehmen. Springer Gabler, Wiesbaden, 2018.
- [Ber-2010] Berthel, J.; Becker, F. G.: Personal-Management – Grundzüge für Konzeptionen betrieblicher Personalarbeit. Schäffer-Poeschel, Stuttgart, 2010.
- [Bie-2008] Biedermann, H.: Ersatzteilmanagement - Effiziente Ersatzteillogistik für Industrieunternehmen. Springer, Berlin Heidelberg, 2008.
- [Bit-2018] Bitz, M.; Ewert, J.; Terstege, U.: Investitionsrechnung unter Unsicherheit. In: Bitz, M.; Ewert, J.; Terstege, U. (Hrsg.): Investition. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2018, S. 181–223.

- [Boc-2018] Bock, J.: Prozessorientiertes Kostenmodell zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit eines Kooperativen Bestandspoolings von Ersatzteilen. Semesterarbeit. Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, Technische Universität München, München, 2018.
- [Boy-2010] Boylan, J. E.; Syntetos, A. A.: Spare parts management: a review of forecasting research and extensions. In: IMA Journal of Management Mathematics, Jg. 21 (2010) Nr. 3, S. 227–237.
- [Bra-2001] Brandenburg, A.: Anreizsysteme zur Unternehmenssteuerung – Gestaltungsoptionen, motivationstheoretische Herausforderungen und Lösungsansätze. Deutscher Universitätsverlag, Wiesbaden, 2001.
- [Bun-2007] Bundeskartellamt (Hrsg.): Merkblatt des Bundeskartellamtes über Kooperationsmöglichkeiten für kleinere und mittlere Unternehmen, Bonn, 2007.
- [Cav-2008] Cavalieri, S.; Garetti, M.; Macchi, M.; Pinto, R.: A decision-making framework for managing maintenance spare parts. In: Production Planning & Control, Jg. 19 (2008) Nr. 4, S. 379–396.
- [Coe-2004] Coetzee, J.: Aviation Maintenance Management. Trafford Publishing, London, 2004.
- [Das-1997] Das, T. K.; Teng, B.-S.: Sustaining Strategic Alliances: Options and Guidelines. In: Journal of General Management, Jg. 22 (1997) Nr. 4, S. 49–64.
- [Das-2002] Das, T. K.; Teng, B.-S.: The Dynamics of Alliance Conditions in the Alliance Development Process. In: Journal of Management Studies, Jg. 39 (2002) Nr. 5, S. 725–746.
- [Die-2020] Dietrich, F.; Ge, Y.; Palm, D.: Einsatz von Blockchain-Technologien im Supply-Chain-Management. In: ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Jg. 115 (2020) Nr. 9, S. 567–569.
- [Die-2021] Diepold, K.: Kooperationsgrundmodelle und Incentivierung für ein Kooperatives Ersatzteilmanagement. Masterarbeit. Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, Technische Universität München, München, 2021.
- [DIN-13306] Deutsches Institut für Normung: Instandhaltung. DIN Nr. 13306, 2018.

- [DIN-24420-1] Deutsches Institut für Normung: Ersatzteillisten. DIN Nr. 24420-1, 1976.
- [Dom-2010] Dombrowski, U.; Weckenborg, S.; Schulze, S.: Identifikation kritischer Bauelemente für ein effizientes Ersatzteilmanagement. In: ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Jg. 105 (2010) Nr. 6, S. 556–561.
- [Dom-2014] Dombrowski, U.; Weckenborg, S.: Integration von Kunden in bestehende Instandhaltungssysteme – Ersatzteilmanagement in der Luftfahrtindustrie. In: ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Jg. 109 (2014) Nr. 6, S. 419–422.
- [Elm-2001] Elmuti, D.; Kathawala, Y.: An overview of strategic alliances. In: Management Decision, Jg. 39 (2001) Nr. 3, S. 205–218.
- [Fot-2019] Fottner, J.; Hafner, Y.; Jung, M.: Effizienzsteigerung durch kooperatives Bestandspooling von Ersatzteilen. Forschungsbericht, Technische Universität München, München, 2019.
- [Fri-2009] Friedrich, S.; List, S.: Supply Chain Kooperation in der Ersatzteillogistik für die Luftfahrt. In: Voß, S.; Pahl, J.; Schwarze, S. (Hrsg.): Logistik Management. Physica-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2009, S. 55–76.
- [Fri-2012] Fritzsche, R.: Cost adjustment for single item pooling models using a dynamic failure rate: A calculation for the aircraft industry. In: Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Jg. 48 (2012) Nr. 6, S. 1065–1079.
- [Für-1999] Fürst, D.: Auswertung von Erfahrungen zur Kooperation in Regionen. In: Raumforschung und Raumordnung: Spatial Research and Planning (1999) Nr. 13147, S. 53–58.
- [Gal-2005] Gallagher, T.; Mitchke, M. D.; Rogers, M. C.: Profiting from spare parts. In: The McKinsey Quarterly (2005)
- [Gas-2013] Gassner, S.: Instandhaltungsdienstleistungen in Produktionsnetzwerken – Mehrzielentscheidung zwischen Make, Buy, Concurrent Sourcing und Cooperate. Springer Gabler, Wiesbaden, 2013.

- [Geg-2019] Gegg, K.: KPI-Cockpit einer digitalen Plattform für Kooperationen im Ersatzteilmanagement. Masterarbeit. Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, Technische Universität München, München, 2019.
- [Göt-2008] Götze, U.: Investitionsrechnung. Springer, Berlin, Heidelberg, 2008.
- [Gra-2002] Granthien, M.: Kooperatives Instandhaltungsengineering – Gestaltungsmöglichkeiten der Anlagenerhaltung. Deutscher Universitätsverlag, Wiesbaden, 2002.
- [Gre-2018] Gregersen, N. G.; Hansen, Z. N. L.: Inventory centralization decision framework for spare parts. In: Production Engineering, Jg. 12 (2018) Nr. 3-4, S. 353–365.
- [Gu-2015] Gu, J.; Zhang, G.; Li, K.: Efficient aircraft spare parts inventory management under demand uncertainty. In: Journal of Air Transport Management, Jg. 42 (2015), S. 101–109.
- [Gua-2015a] Guajardo, M.; Rönnqvist, M.: Cost allocation in inventory pools of spare parts with service-differentiated demand classes. In: International Journal of Production Research, Jg. 53 (2015) Nr. 1, S. 220–237.
- [Gua-2015b] Guajardo, M.; Rönnqvist, M.; Halvorsen, A. M.; Kallevik, S. I.: Inventory management of spare parts in an energy company. In: Journal of the Operational Research Society, Jg. 66 (2015) Nr. 2, S. 331–341.
- [Gud-2011] Gudehus, T.: Logistik – Grundlagen - Strategien - Anwendungen. Springer, Berlin, Heidelberg, 2011.
- [Gut-1995] Guthof, P.: Strategische Anreizsysteme – Gestaltungsoptionen im Rahmen der Unternehmungsentwicklung. Deutscher Universitätsverlag, Wiesbaden, 1995.
- [Haa-2010] Haasis, H.-D.; Zimmermann, F.; Plöger, M.: Unternehmensübergreifende Bestandsallokation mittels softwarebasierter Multiagenten-Systeme. In: Bogaschewsky, R., et al. (Hrsg.): Supply Management Research. Springer Gabler, Wiesbaden, 2010, S. 263–276.
- [Haf-2018] Hafner, Y.; Jung, M.: Kooperatives Bestandspooling von Ersatzteilen – Morphologische Einordnung und Anforderungen an ein kooperatives Bestandspooling. In: ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Jg. 113 (2018) Nr. 4, S. 199–202.

- [Haf-2019a] Hafner, Y.; Müller, C.; Jung, M.; Fottner, J.: Ersatzteilverteilung im Kooperationsnetzwerk – Einsparungen im Ersatzteilmanagement durch Kooperationen. In: unikat GmbH (Hrsg.): Jahrbuch Logistik 2019, 2019, S. 23–26.
- [Haf-2019b] Hafner, Y.; Looschen, C.; Fottner, J.: Simulation-based analysis of inventory levels for low demand spare parts in a cooperative inventory pooling-system. In: 18th International Conference on Modeling and Applied Simulation, 2019, S. 72–78.
- [Haf-2021a] Hafner, Y.; Bock, J.; Keppler, C.; Fottner, J.: Evaluation model for cooperative inventory pooling-systems. In: Procedia CIRP, Jg. 104 (2021), S. 252–257.
- [Haf-2021b] Hafner, Y.; Urban, T.; Fottner, J.: Life cycle phases and design morphology for the implementation of a cooperative inventory pooling-system. In: Procedia Computer Science, Jg. 180 (2021), S. 24-31.
- [Haf-2021c] Hafner, Y.; Diepold, K.; Fottner, J.: Structural cooperation models and incentivization for cooperative inventory pooling-systems. In: 2021 IEEE Technology & Engineering Management Conference - Europe (TEMSCON-EUR), 2021, S. 410–415.
- [Han-2022] Handelskammer Hamburg (Hrsg.): Kooperation und Kartellrecht – Wirtschaftsrecht, Hamburg, 2022.
- [Höb-2002] Höbig, M.: Modellgestützte Bewertung der Kooperationsfähigkeit produzierender Unternehmen. VDI-Verlag, Düsseldorf, 2002.
- [Hol-2004] Holtbrügge, D.: Management of international strategic business cooperation: Situational conditions, performance criteria, and success factors. In: Thunderbird International Business Review, Jg. 46 (2004) Nr. 3, S. 255–274.
- [Hol-2008] Hollekamp, M.; Hollekamp, M.: Strategisches Outsourcing von Geschäftsprozessen – Eine empirische Analyse der Wirkungszusammenhänge und der Erfolgswirkungen von Outsourcingprojekten am Beispiel von Großunternehmen in Deutschland. Rainer Hampp Verlag, Mering, 2008.
- [Hor-2017] Hormel, R.; Seibt, T.: Anreizsysteme. In: Stierle, J.; Glasmachers, K.; Siller, H. (Hrsg.): Praxiswissen Personalcontrolling. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2017, S. 137–155.

- [How-2011] Howaldt, J.; Ellerkmann, F.: Entwicklungsphasen von Netzwerken und Unternehmenskooperationen. In: Becker, T., et al. (Hrsg.): Netzwerkmanagement. Springer, Berlin, Heidelberg, 2011, S. 23–35.
- [Hu-2018] Hu, Q.; Boylan, J. E.; Chen, H.; Labib, A.: OR in spare parts management: A review. In: European Journal of Operational Research, Jg. 266 (2018) Nr. 2, S. 395–414.
- [Jak-2015] Jakoby, W.: Projektmanagement für Ingenieure. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2015.
- [Jan-2016] Jansen, S. A.: Mergers & Acquisitions – Unternehmensakquisitionen und -kooperationen. Eine strategische, organisatorische und kapitalmarkttheoretische Einführung. Springer Gabler, Wiesbaden, 2016.
- [Jos-2013] Jost, P.-J.; Bieberstein, F. von: Strategische Anreizgestaltung. In: Stock-Homburg, R. (Hrsg.): Handbuch Strategisches Personalmanagement. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2013, S. 151–170.
- [Jus-2017] Juskowiak, J.: Beanspruchungsgerechte Bestimmung des Weibull-Formparameters für Zuverlässigkeitsprognosen. Dissertation. Institut für Maschinenelemente, Universität Stuttgart, Stuttgart, 2017.
- [Kar-2014] Karsten, F.; Basten, R.: Pooling of spare parts between multiple users – How to share the benefits? In: European Journal of Operational Research (2014) Nr. 233-1, S. 94–104.
- [Kau-2021] Kaufmann, T.: Strategiewerkzeuge aus der Praxis. Springer, Berlin, Heidelberg, 2021.
- [Kep-2020] Keppler, C.: Bewertungsmethodik für ein Kooperatives Ersatzteilmanagement im ÖPNV. Masterarbeit. Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, Technische Universität München, München, 2020.
- [Kil-2003] Killich, S.; Luczak, H.: Unternehmenskooperation für kleine und mittelständische Unternehmen – Lösungen für die Praxis. Springer, Berlin, Heidelberg, 2003.
- [Kil-2009] Kilpi, J.; Töyli, J.; Vepsäläinen, A.: Cooperative strategies for the availability service of repairable aircraft components. In: International Journal of Production Economics, Jg. 117 (2009) Nr. 2, S. 360–370.

- [Kil-2011] Killich, S.: Formen der Unternehmenskooperation. In: Becker, T., et al. (Hrsg.): Netzwerkmanagement. Springer, Berlin, Heidelberg, 2011, S. 13–22.
- [Kin-2000] Kinkel, S.; Lay, G.: Notnagel regionaler Kooperation? – Verbreitung und Nutzen regionaler Kooperation in der deutschen Investitionsgüterindustrie. In: Mitteilungen aus der Erhebung Innovationen in der Produktion (2000) Nr. 19, S. 1–12.
- [Kli-2003] Klint, M. B.; Sjöberg, U.: Towards a comprehensive SCP-model for analysing strategic networks/alliances. In: International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Jg. 33 (2003) Nr. 5, S. 408–426.
- [Kno-2009] Knop, R.: Erfolgsfaktoren strategischer Netzwerke kleiner und mittlerer Unternehmen – Ein IT-gestützter Wegweiser zum Kooperationserfolg. Springer Gabler, Wiesbaden, 2009.
- [Kra-2006] Kranenburg, A. A.: Spare Parts Inventory Control under System Availability Constraints. Dissertation, Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven, 2006.
- [Kra-2009] Kranenburg, A. A.; van Houtum, G. J.: A new partial pooling structure for spare parts networks. In: European Journal of Operational Research, Jg. 199 (2009) Nr. 3, S. 908–921.
- [Kuk-2001] Kukreja, A.; Schmidt, C. P.; Miller, D. M.: Stocking Decisions for Low-Usage Items in a Multilocation Inventory System. In: Management Science, Jg. 47 (2001) Nr. 10, S. 1371–1383.
- [Lin-2017] Lin, X.; Basten, R.; Kranenburg, A. A.; van Houtum, G. J.: Condition based spare parts supply. In: Reliability Engineering & System Safety (2017) Nr. 168, S. 240–248.
- [Loo-2019] Looschen, C.: Simulation-Based Analysis of Inventory Levels for Low Demand Spare Parts in a Cooperative Inventory Pooling-System. Masterarbeit. Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, Technische Universität München, München, 2019.
- [Lou-2006] Loukmidis, G.; Luczak, H.: Lebenszyklusorientierte Planungsstrategien für den Ersatzteilbedarf. In: Barkawi, K.; Baader, A.; Montanus, S. (Hrsg.): Erfolgreich mit After Sales Services. Springer, Berlin, Heidelberg, 2006, S. 251–270.

- [McF-2012] McFadden, M.; Worrels, D. S.: Global Outsourcing of Aircraft Maintenance. In: *Journal of Aviation Technology and Engineering*, Jg. 1:2 (2012), S. 63–73.
- [Meh-2001] Mehrotra, A.; Natraj, N. R.; Trick, M. A.: Consolidating Maintenance Spares. In: *Computational Optimization and Applications*, Jg. 18 (2001) Nr. 3, S. 251–272.
- [Mey-2002] Meyer, J.-A.; Lorenzen, K.: Internationale Kooperationen von kleinen und mittleren Unternehmen – Dargestellt am Beispiel deutsch-dänischer Unternehmen. Josef Eul Verlag, Siegburg, 2002.
- [Mo-2020] Mo, D. Y.; Wang, Y.; Leung, L. C.; Tseng, M. M.: Optimal service parts contract with multiple response times and on-site spare parts. In: *International Journal of Production Research*, Jg. 58 (2020) Nr. 10, S. 3049–3065.
- [Mou-2016] Mourtzis, D.: Challenges and future perspectives for the life cycle of manufacturing networks in the mass customisation era. In: *Logistics Research*, Jg. 9 (2016) Nr. 2, S. 1–20.
- [Mül-2018] Müller, C.: Kostenoptimaler Ersatzteilbestand und effiziente Ersatzteilverteilung im Kooperationsnetzwerk. Semesterarbeit. Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, Technische Universität München, München, 2018.
- [Mur-2004] Murthy, D.; Solem, O.; Roren, T.: Product warranty logistics: Issues and challenges. In: *European Journal of Operational Research*, Jg. 156 (2004) Nr. 1, S. 110–126.
- [Mur-2015] Murthy, D.; Karim, M. R.; Ahmadi, A.: Data management in maintenance outsourcing. In: *Reliability Engineering & System Safety* (2015) Nr. 142, S. 100–110.
- [Nyh-2012] Nyhuis, P.; Wiendahl, H.-P.: *Logistische Kennlinien*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2012.
- [Par-2004] Parise, S.; Sasson, L.: Leveraging Knowledge Management across Strategic Alliances. In: Prusak, L.; Lesser, E. (Hrsg.): *Creating Value with Knowledge*. Oxford University Press, 2004, S. 168–176.

- [Pat-2009] Paterson, C.; Kiesmuller, G. P.; Teunter, R. H.; Glazebrook, K.: Inventory models with lateral transshipments: a review. BETA publicatie: working papers, Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven, 2009.
- [Pel-2016] Pelantova, V.; Šlaichová, E.: Control of spare parts inventory in organisations. In: MM Science Journal (2016), S. 1509–1514.
- [Pic-2001] Picot, A.; Reichwald, R.; Wigand, R. T.: Die grenzenlose Unternehmung – Information, Organisation und Management. Lehrbuch zur Unternehmensführung im Informationszeitalter. Springer Gabler, Wiesbaden, 2001.
- [Rel-2022] Reliability Analytics Corporation: Reliability Analytics Toolkit – Failure Rate Estimates for Mechanical Components. https://reliabilityanalyticstoolkit.appspot.com/mechanical_reliability_data, Aufruf am 14.02.2022.
- [Röß-1994] Rößl, D.: Gestaltung komplexer Austauschbeziehungen. Springer Gabler, Wiesbaden, 1994.
- [Rus-2017] Russo, M.; Cesarani, M.: Strategic Alliance Success Factors: A Literature Review on Alliance Lifecycle. In: International Journal of Business Administration, Jg. 8 (2017) Nr. 3, S. 1–9.
- [Sam-2011] Samat, H. A.; Kamaruddin, S.; Azid, I. A.: Maintenance Performance Measurement: A Review. In: Pertanika Journal of Science & Technology, Jg. 19 (2011) Nr. 2, S. 199–211.
- [Sch-2006] Schröter, M.: Strategisches Ersatzteilmanagement in Closed-Loop Supply Chains. Deutscher Universitätsverlag, Wiesbaden, 2006.
- [Sch-2013] Schuh, G.; Stich, V.; Wienholdt, H.: Ersatzteillogistik. In: Schuh, G.; Stich, V. (Hrsg.): Logistikmanagement. Springer, Berlin, Heidelberg, 2013, S. 165–207.
- [Sie-2010] Siebert, H.: Ökonomische Analyse von Unternehmensnetzwerken. In: Sydow, J. (Hrsg.): Management von Netzwerkorganisationen. Springer Gabler, Wiesbaden, 2010, S. 7–27.
- [Swa-2001] Swanson, L.: Linking maintenance strategies to performance. In: International Journal of Production Economics, Jg. 70 (2001) Nr. 3, S. 237–244.

- [Syd-2010] Sydow, J.: Management von Netzwerkorganisationen - Zum Stand der Forschung. In: Sydow, J. (Hrsg.): Management von Netzwerkorganisationen. Springer Gabler, Wiesbaden, 2010, S. 373–470.
- [Tii-2017] Tiihonen, J.; Felfernig, A.: An introduction to personalization and mass customization. In: Journal of Intelligent Information Systems, Jg. 49 (2017) Nr. 1, S. 1–7.
- [Top-2020] Topan, E.; van der Heijden, M. C.: Operational level planning of a multi-item two-echelon spare parts inventory system with reactive and proactive interventions. In: European Journal of Operational Research, Jg. 284 (2020) Nr. 1, S. 164–175.
- [Urb-2019] Urban, T.: Finanzierungskonzepte digitaler Plattformen für Kooperationen im Ersatzteilmanagement. Masterarbeit. Lehrstuhl für Förder-technik Materialfluss Logistik, Technische Universität München, München, 2019.
- [VDI-3633] Verein Deutscher Ingenieure: Simulation of systems in materials handling, logistics and production – Fundamentals. VDI Nr. 3633, 2014.
- [Wae-2002] Waeyenbergh, G.; Pintelon, L.: A framework for maintenance concept development. In: International Journal of Production Economics, Jg. 77 (2002) Nr. 3, S. 299–313.
- [Wal-2003] Wald, G.: Prozessorientiertes Instandhaltungsmanagement. Shaker, Aachen, 2003.
- [Wan-2009] Wanke, P. F.; Saliby, E.: Consolidation effects: Whether and how inventories should be pooled. In: Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Jg. 45 (2009) Nr. 5, S. 678–692.
- [Wan-2012] Wang, W.: A stochastic model for joint spare parts inventory and planned maintenance optimisation. In: EURO Excellence in Practice Award 2001, Jg. 216 (2012) Nr. 1, S. 127–139.
- [Wan-2014] Wannenwetsch, H.: Integrierte Materialwirtschaft, Logistik und Beschaffung. Springer, Berlin, Heidelberg, 2014.
- [Wan-2015] Wang, W.; Yue, S.; Wang, W.; Yue, S.: An inventory pooling model for spare units of critical systems that serve multi-companies. In: Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Jg. 76 (2015), S. 34–44.

- [Won-2005] Wong, H.; Cattrysse, D.; van Oudheusden, D.: Inventory pooling of repairable spare parts with non-zero lateral transshipment time and delayed lateral transshipments. In: *European Journal of Operational Research*, Jg. 165 (2005) Nr. 1, S. 207–218.
- [Won-2007] Wong, H.; van Oudheusden, D.; Cattrysse, D.: Cost allocation in spare parts inventory pooling. In: *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Jg. 43 (2007) Nr. 4, S. 370–386.
- [Wro-2003] Wrona, T.; Schell, H.: Globalisierungsbetroffenheit von Unternehmen und die Potenziale der Kooperation. In: Zentes, J.; Swoboda, B.; Morschett, D. (Hrsg.): *Kooperationen, Allianzen und Netzwerke*. Springer Gabler, Wiesbaden, 2003, S. 305–332.
- [Yin-2018] Yin, R. K.: *Case study research and applications – Design and methods*. SAGE, Los Angeles, 2018.
- [Zau-2005] Zaunmüller, H.: *Anreizsysteme für das Wissensmanagement in KMU – Gestaltung von Anreizsystemen für die Wissensbereitstellung der Mitarbeiter*. Deutscher Universitätsverlag, Wiesbaden, 2005.
- [Zen-2003] Zentes, J.; Swoboda, B.; Morschett, D.: Perspektiven der Führung kooperativer Systeme. In: Zentes, J.; Swoboda, B.; Morschett, D. (Hrsg.): *Kooperationen, Allianzen und Netzwerke*. Springer Gabler, Wiesbaden, 2003, S. 822–848.
- [Zwi-1966] Zwicky, F.: *Entdecken, Erfinden, Forschen im morphologischen Weltbild*. Droemer Knaur, München, Zürich, 1966.

Publikationsverzeichnis

Der Autor hat im Rahmen seiner Forschungstätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik (fml) der Technischen Universität München die folgenden Publikationen im Themengebiet verfasst, die grundlegend für diese Dissertation sind.

Peer-reviewed:

- [Haf-2019b] Hafner, Y.; Looschen, C.; Fottner, J.: Simulation-based analysis of inventory levels for low demand spare parts in a cooperative inventory pooling-system. In: 18th International Conference on Modeling and Applied Simulation, 2019, S. 72–78.
- [Haf-2021a] Hafner, Y.; Bock, J.; Keppler, C.; Fottner, J.: Evaluation model for cooperative inventory pooling-systems. In: Procedia CIRP, Jg. 104 (2021), S. 252–257.
- [Haf-2021b] Hafner, Y.; Urban, T.; Fottner, J.: Life cycle phases and design morphology for the implementation of a cooperative inventory pooling-system. In: Procedia Computer Science, Jg. 180 (2021), S. 24-31.
- [Haf-2021c] Hafner, Y.; Diepold, K.; Fottner, J.: Structural cooperation models and incentivization for cooperative inventory pooling-systems. In: 2021 IEEE Technology & Engineering Management Conference – Europe (TEMSCON-EUR), 2021, S. 410–415.

Nicht peer-reviewed:

- [Haf-2018] Hafner, Y.; Jung, M.: Kooperatives Bestandspooling von Ersatzteilen – Morphologische Einordnung und Anforderungen an ein kooperatives Bestandspooling. In: ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Jg. 113 (2018) Nr. 4, S. 199–202.
- [Fot-2019] Fottner, J.; Hafner, Y.; Jung, M.: Effizienzsteigerung durch kooperatives Bestandspooling von Ersatzteilen. Forschungsbericht, Technische Universität München, München, 2019.

[Haf-2019a] Hafner, Y.; Müller, C.; Jung, M.; Fottner, J.: Ersatzteilverteilung im Kooperationsnetzwerk – Einsparungen im Ersatzteilmanagement durch Kooperationen. In: unikat GmbH (Hrsg.): Jahrbuch Logistik 2019, 2019, S. 23–26.

Verzeichnis betreuter Studienarbeiten

Im Rahmen der durch diese Dissertation aufgegriffenen Forschungsthematik wurden die nachfolgenden Studienarbeiten am Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik (fml) der Technischen Universität München erstellt. Die Anfertigung der Studienarbeiten wurde durch den Autor wissenschaftlich und inhaltlich angeleitet. Die Ergebnisse sind zum Teil in die vorliegende Arbeit eingeflossen und an den relevanten Stellen zitiert. Den Studierenden sei herzlich für ihr Engagement und ihren Einsatz gedankt.

Thi My Duyen Phung

Steuerungsprozesse für ein Kooperatives Bestandspooling von Ersatzteilen. Bachelorarbeit. Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, Technische Universität München, München, 2018.

Julius Bock

Prozessorientiertes Kostenmodell zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit eines Kooperativen Bestandspoolings von Ersatzteilen. Semesterarbeit. Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, Technische Universität München, München, 2018.

Christiane Müller

Kostenoptimaler Ersatzteilbestand und effiziente Ersatzteilverteilung im Kooperationsnetzwerk. Semesterarbeit. Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, Technische Universität München, München, 2018.

Bianca Monzer

Ausgestaltungsformen einer Kooperation zur Ersatzteilbevorratung. Semesterarbeit. Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, Technische Universität München, München, 2018.

Luz Angela Cifuentes Gómez

Backend development and implementation of a web-based cooperation platform. Interdisziplinäres Projekt. Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, Technische Universität München, München, 2019.

Deeksha Sinha

Front-end development and implementation of a web-based Cooperation Platform. Interdisziplinäres Projekt. Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, Technische Universität München, München, 2019.

Thomas Urban

Finanzierungskonzepte digitaler Plattformen für Kooperationen im Ersatzteilmanagement. Masterarbeit. Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, Technische Universität München, München, 2019.

Christian Looschen

Simulation-Based Analysis of Inventory Levels for Low Demand Spare Parts in a Cooperative Inventory Pooling-System. Masterarbeit. Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, Technische Universität München, München, 2019.

Katharina Gegg

KPI-Cockpit einer digitalen Plattform für Kooperationen im Ersatzteilmanagement. Masterarbeit. Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, Technische Universität München, München, 2019.

Christofer Keppler

Bewertungsmethodik für ein Kooperatives Ersatzteilmanagement im ÖPNV. Masterarbeit. Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, Technische Universität München, München, 2020.

Marco Jira

Identifikation und Bewertung von Ansätzen für die Entwicklung kooperativer Geschäftsmodelle. Semesterarbeit. Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, Technische Universität München, München, 2020.

Katharina Diepold

Kooperationsgrundmodelle und Incentivierung für ein Kooperatives Ersatzteilmanagement. Masterarbeit. Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, Technische Universität München, München, 2021.

Abbildungsverzeichnis

Hauptteil

Abbildung 1-1: Aufbau der Arbeit	4
Abbildung 2-1: Funktionen betrieblicher Incentivierungssysteme (in Anlehnung an [Ber-2010, S. 539])	15
Abbildung 2-2: Ersatzteilspezifische Verfahren der Bedarfsprognose (in Anlehnung an [Lou-2006, S. 260])	22
Abbildung 2-3: Klassifizierung kooperativer Ersatzteilmanagementsysteme (in Anlehnung an [Kil-2009, S. 362])	28
Abbildung 2-4: Grafische Darstellung der partiellen Ersatzteilmanagement- und Poolingstruktur (in Anlehnung an [Kra-2009, S. 911])	29
Abbildung 2-5: MFOP-Methodik (in Anlehnung an [Fri-2012, S. 1074])	32
Abbildung 3-1: Exemplarische Darstellung eines kooperativen Ersatzteilmanagements	42
Abbildung 3-2: Implementierungsphasen (in Anlehnung an [Haf-2021b])	44
Abbildung 3-3: Bestandslevel beispielhafter Ersatzteile in der Dynamischen Betriebsphase I (in Anlehnung an [Haf-2021b])	49
Abbildung 3-4: Bestandslevel beispielhafter Ersatzteile in der Dynamischen Betriebsphase II (in Anlehnung an [Haf-2021b])	50
Abbildung 3-5: Bestandslevel beispielhafter Ersatzteile in der Dynamischen Betriebsphase III (in Anlehnung an [Haf-2021b])	51
Abbildung 4-1: Implementierungsphasen und erforderliche Module	53
Abbildung 4-2: Modul Grundlegende Eignungsprüfung mit erforderlichen Funktionseingängen und Funktionsausgängen	55
Abbildung 4-3: Vorgehen zur Durchführung der grundlegenden Eignungsprüfung (in Anlehnung an [Haf-2021a])	57
Abbildung 4-4: Checkliste für die Bewertung der unternehmens- und marktumfeldspezifischen Voraussetzungen (in Anlehnung an [Haf-2021a])	60
Abbildung 4-5: Modul Analyse der Ersatzteilbestände mit erforderlichen Funktionseingängen und Funktionsausgängen	62
Abbildung 4-6: Vorgehen zur Vorauswahl geeigneter Ersatzteile	64
Abbildung 4-7: Steuerungslogik und Prozess der Ersatzteilbestellung (in Anlehnung an [Haf-2019b])	66
Abbildung 4-8: Funktionsbereiche des Simulationsmodells	68

Abbildung 4-9: Funktionen und Relationen der Hauptelemente Steuerungsplattform, Unternehmen und Lieferant im Funktionsbereich Kooperation	70
Abbildung 4-10: Simulationsmodell inklusive der vier Funktionsbereiche Input, Simulationssteuerung, Kooperation und Output	73
Abbildung 4-11: Implementierung des Funktionsbereichs Input	73
Abbildung 4-12: Implementierung der übergeordneten Steuerung des Funktionsbereichs Simulationssteuerung	74
Abbildung 4-13: Implementierung des Hauptelements Lieferant des Funktionsbereichs Kooperation	75
Abbildung 4-14: Implementierung des Hauptelements Steuerungsplattform des Funktionsbereichs Kooperation	75
Abbildung 4-15: Implementierung des Hauptelements Unternehmen des Funktionsbereichs Kooperation	76
Abbildung 4-16: Implementierung des Funktionsbereichs Output	76
Abbildung 4-17: Modul Wirtschaftlichkeitsbewertung mit erforderlichen Funktionseingängen und Funktionsausgängen	78
Abbildung 4-18: Modul Strukturelle Kooperationsgestaltung mit erforderlichen Funktionseingängen und Funktionsausgängen	92
Abbildung 4-19: Ausgestaltungskriterien und mögliche Ausprägungen eines kooperativen Ersatzteilmanagements (in Anlehnung an [Haf-2018; Haf-2021b; Haf-2021c])	96
Abbildung 4-20: Ableitung grundlegender struktureller Ausgestaltungsformen für ein kooperatives Ersatzteilmanagement (in Anlehnung an [Haf-2018; Haf-2021b; Haf-2021c])	98
Abbildung 4-21: Prozessverantwortlichkeiten der kooperativen Prozesse in Abhängigkeit der Ausgestaltungsform	100
Abbildung 4-22: Modul Incentivierungssystem mit erforderlichen Funktionseingängen und Funktionsausgängen	104
Abbildung 4-23: Nicht-monetär bewertbare Incentivierungen für ein kooperatives Ersatzteilmanagement	108
Abbildung 5-1: Vorgehen für die Datenerhebung aus Dokumentationen und Datenbanken	113
Abbildung 5-2: Ersatzteildatenanalyse zur Vorauswahl geeigneter Ersatzteile	116
Abbildung 5-3: Servicegrad in Abhängigkeit des Lagerbestands der Kooperation für ein individuelles Ersatzteilmanagement und eine Kooperation von fünf Unternehmen	118
Abbildung 5-4: Ersatzteile je Unternehmen für ein individuelles Ersatzteilmanagement und ein Unternehmen des kooperativen Ersatzteilmanagements	119
Abbildung 5-5: Servicegrad in Abhängigkeit der Kooperationsgröße	119

Abbildung 5-6: Visualisierung der Kosten je Funktionsbereich für ein individuelles Ersatzteilmanagement und ein Unternehmen des kooperativen Ersatzteilmanagements	121
Abbildung 5-7: Kosteneinsparungen für ein Unternehmen des kooperativen Ersatzteilmanagements für die Szenarien Minimal-, Plan-, und Maximalfall	122

Tabellenverzeichnis

Hauptteil

Tabelle 2-1:	Merkmale von Unternehmenskooperationen (in Anlehnung an [Kil-2011, S. 18])	10
Tabelle 2-2:	Ausgewählte Lebenszyklusmodelle von Kooperationen	12
Tabelle 2-3:	Dispositionsverfahren zur Bestandssteuerung (in Anlehnung an [Bie-2008, S. 32])	20
Tabelle 2-4:	Ansätze zur Kostenverteilung (in Anlehnung an [Won-2007, S. 376 f])	35
Tabelle 3-1:	Grundsätzliche Anforderungen an die Implementierungsmethodik	42
Tabelle 3-2:	Spezifikationen der Implementierungsphase Definition (in Anlehnung an [Haf-2021b])	46
Tabelle 3-3:	Spezifikationen der Implementierungsphase Anbahnung (in Anlehnung an [Haf-2021b])	47
Tabelle 3-4:	Spezifikationen der Implementierungsphase Aufbau (in Anlehnung an [Haf-2021b])	48
Tabelle 3-5:	Spezifikationen der Implementierungsphase Dynamischer Betrieb (in Anlehnung an [Haf-2021b])	52
Tabelle 4-1:	Funktionale Anforderungen an das Modul Grundlegende Eignungsprüfung	55
Tabelle 4-2:	Vorteile und Herausforderungen eines kooperativen Ersatzteilmanagements (in Anlehnung an [Haf-2021a])	58
Tabelle 4-3:	Funktionale Anforderungen an das Modul Analyse der Ersatzteilbestände	62
Tabelle 4-4:	Funktionale Anforderungen an das Modul Wirtschaftlichkeitsbewertung	79
Tabelle 4-5:	Kostenrelevante qualitative Anpassungen und deren Zuordnung zu einzelnen Funktionsbereichen	82
Tabelle 4-6:	Vergleichsrelevante Kostenarten für ein individuelles und kooperatives Ersatzteilmanagement	84
Tabelle 4-7:	Kritische Input-Parameter und deren Ausprägung im Minimal-, Plan- und Maximalfall	90
Tabelle 4-8:	Funktionale Anforderungen an das Modul Strukturelle Kooperationsgestaltung	92

Tabelle 4-9:	Kooperationsmerkmale und deren Ausprägungen für ein kooperatives Ersatzteilmanagement (in Anlehnung an [Haf-2021c])	94
Tabelle 4-10:	Kriterien für die Auswahl einer geeigneten strukturellen Ausgestaltungsform eines kooperativen Ersatzteilmanagements (in Anlehnung an [Haf-2021c])	101
Tabelle 4-11:	Funktionale Anforderungen an das Modul Incentivierungssystem	104
Tabelle 4-12:	Ansätze zur Verteilung der Kosten für die strukturellen Ausgestaltungsformen eines kooperativen Ersatzteilmanagements (in Anlehnung an [Haf-2021c])	107
Tabelle 5-1:	Ersatzteilspezifische Simulationsparameter	117
Tabelle 5-2:	Kooperationsspezifische Simulationsparameter	118
Tabelle 5-3:	Kosten je Funktionsbereich für ein individuelles Ersatzteilmanagement und ein Unternehmen des kooperativen Ersatzteilmanagements	120

Anhang

Tabelle B-1:	Input-Daten der Fallstudie für das Modul zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit	B-1
--------------	---	-----

Anhang A Parameterbestimmung für die Wirtschaftlichkeitsbewertung

Für das Modul zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit eines kooperativen Ersatzteilmanagements werden eine Vielzahl von Input-Parametern benötigt. Die Bestimmung und Festlegung dieser Input-Parameter hat einen maßgeblichen Einfluss auf die Modulergebnisse und den weiteren Ablauf der Implementierungsmethodik. In diesem Abschnitt werden daher Möglichkeiten für die Bestimmung der Parameter aufgezeigt.

Exakte Datenbereitstellung

Ein Großteil der Parameter kann mit Hilfe von unternehmensinternen Informationsquellen (beispielsweise ERP-Systeme) ermittelt werden. Hierzu ist eine disziplinübergreifende Kommunikation erforderlich. Das Kostenmodell verarbeitet insbesondere verschiedene prozentuale Kostensätze, die häufig im Unternehmenscontrolling erfasst und für die Bewertung verwendet werden können. Aufgrund der Exaktheit der so bereitgestellten Daten, sollte eine solche Parameterbestimmung präferiert werden.

Schätzmethode

Es ist wahrscheinlich, dass nicht für alle benötigten Input-Parameter die erforderlichen Informationen vorliegen, insbesondere, weil die im Rahmen der Arbeit entwickelte Methodik die zukünftige Implementierung eines kooperativen Ersatzteilmanagements ermöglichen soll. Um dennoch eine valide Aussage über die benötigten Ressourcen und verursachten Kosten treffen zu können, können verschiedene Schätzmethode verwendet werden [Jak-2015, S. 177 ff]:

- *Intuitive Schätzung*: Schätzung der Parameter durch ein oder mehrere Personen, die bestenfalls in dem relevanten Themenbereich eine große Expertise aufweisen
- *Vergleichende Schätzung*: Die Parameter werden auf Basis von Erfahrungen mit ähnlichen Themenbereichen oder Projekten abgeschätzt
- *Quantitative Schätzung*: Diese Schätzmethode berücksichtigt einen oder mehrere Parameter, die bekanntermaßen einen starken Einfluss auf den gesuchten Parameter haben, um diesen quantitativ abzuschätzen
- *Zerlegung*: Falls sich der Parameter aus Einzelwerten zusammensetzt, sollten diese unabhängig voneinander geschätzt und anschließend summiert werden
- *Skalierung*: Bei der Skalierung wird der gesuchte Parameter auf einen mittleren Wertebereich skaliert, der von Menschen präziser abgeschätzt werden kann

- *Kombination*: Zur Reduktion der Schätzungenauigkeit können verschiedene Methoden zur Schätzung kombiniert und ein wahrscheinlicher Wertebereich abgeleitet werden
- *Gruppe*: Die Parameter werden in einer Gruppe von Experten unabhängig voneinander geschätzt und ein Mittelwert der Ergebnisse für den gesuchten Schätzwert gebildet
- *Delphi-Methode*: Erweiterung der Gruppenschätzung um Diskussions- und Begründungselemente, um die Einzelschätzungen zu korrigieren und einen verbesserten Gruppenschätzwert zu ermitteln

Anhang B Ergänzende Input-Daten für die fallstudienbasierte Evaluation

Für die fallstudienbasierte Evaluation der Implementierungsmethodik (Kapitel 5) werden Input-Daten benötigt, die in den Modulen verarbeitet werden. Die dem Modul zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit zugrunde liegenden Input-Daten zeigt Tabelle B-1.

Tabelle B-1: Input-Daten der Fallstudie für das Modul zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit

Funktionsbereich	Input-Parameter	Individuelles Ersatzteilmanagement	Kooperatives Ersatzteilmanagement
Beschaffung	$f_{B,M}$	-	0,9
	$f_{B,NK}$	3,5 %	2,5 %
	$f_{B,O}$	5,0 %	0
	$f_{B,V}$	-	0,9
Lager	$f_{L,A}$	7,5 %	7,5 %
	$f_{L,NK}$	15,0 %	15,0 %
	$f_{L,O}$	10,0 %	10,0 %
	$f_{L,V}$	0,8 %	0,8 %
	$f_{L,Z}$	6,0 %	6,0 %
Transport	$c_{Transport}$	-	75 €
	n_K	-	5
	n_L	-	3
Administration	$c_{Personal}$	-	86.000 €
	f_{IT}	-	2,0 %
	$n_{Personal}$	-	0,1