

Felix Herde

# Revenue-Management- Ansatz für eine Annahmesteuerung kundenspezifischer Regenerationsaufträge komplexer Investitionsgüter



Springer Gabler

---

# Produktion und Logistik

## **Reihe herausgegeben von**

B. Fleischmann, Augsburg, Deutschland  
M. Grunow, München, Deutschland  
S. Helber, Hannover, Deutschland  
K. Inderfurth, Magdeburg, Deutschland  
H. Kopfer, Bremen, Deutschland  
H. Meyr, Stuttgart, Deutschland  
T. S. Spengler, Braunschweig, Deutschland  
H. Stadtler, Hamburg, Deutschland  
H. Tempelmeier, Köln, Deutschland  
G. Wäscher, Magdeburg, Deutschland  
C. Bierwirth, Halle, Deutschland  
K. Schimmelpfeng, Stuttgart, Deutschland  
M. Fleischmann, Mannheim, Deutschland  
H.-O. Günther, Berlin, Deutschland

Diese Reihe dient der Veröffentlichung neuer Forschungsergebnisse auf den Gebieten der Produktion und Logistik. Aufgenommen werden vor allem herausragende quantitativ orientierte Dissertationen und Habilitationsschriften. Die Publikationen vermitteln innovative Beiträge zur Lösung praktischer Anwendungsprobleme der Produktion und Logistik unter Einsatz quantitativer Methoden und moderner Informationstechnologie.

**Kontakt**

Professor Dr. Thomas S. Spengler  
Technische Universität Braunschweig  
Institut für Automobilwirtschaft  
und Industrielle Produktion  
Mühlenpfordtstraße 23  
38106 Braunschweig

Weitere Bände in der Reihe <http://www.springer.com/series/12449>

---

Felix Herde

# Revenue-Management- Ansatz für eine Annahmesteuerung kundenspezifischer Regenerationsaufträge komplexer Investitionsgüter

Mit einem Geleitwort von  
Prof. Dr. Stefan Helber



**Springer** Gabler

Felix Herde  
Hannover, Deutschland

Dissertation Leibniz Universität Hannover, 2017

Produktion und Logistik  
ISBN 978-3-658-20729-8                      ISBN 978-3-658-20730-4 (eBook)  
<https://doi.org/10.1007/978-3-658-20730-4>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Gabler

© Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH 2018

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Gabler ist Teil von Springer Nature

Die eingetragene Gesellschaft ist Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Abraham-Lincoln-Str. 46, 65189 Wiesbaden, Germany

## Geleitwort

Seit Jahrzehnten werden in der Betriebswirtschaftslehre die Probleme der Planung und Steuerung von industriellen Produktionsprozessen betrachtet, die der Herstellung neuer Güter dienen. Soweit es sich um komplexe Investitionsgüter handelt, werden diese Güter häufig nach einem Nutzungszyklus einer anspruchsvollen Instandhaltung bzw. Regeneration unterzogen und so oft über Jahrzehnte genutzt.

Beispiele für derartige komplexe Investitionsgüter sind Flugzeugtriebwerke, stationäre Gasturbinen für die Erzeugung elektrischer Energie, Eisenbahnlokomotiven oder Windenergieanlagen. Die Instandhaltungsprozesse an derartigen komplexen Investitionsgütern sind vielfach aus technologischer Sicht sehr anspruchsvoll, zudem unterliegen sie u.U. engen rechtlichen Vorschriften und Rahmenbedingungen. Im Vergleich zu Prozessen der Neuproduktion sind solche Prozesse der Instandhaltung oder Regeneration vielfach eher unerforscht, sowohl aus technischer als auch aus betriebswirtschaftlicher Sicht. Gleichwohl gewinnen solche Prozesse in den kapitalintensiven und technologiegetriebenen Produktionssystemen entwickelter Volkswirtschaften zunehmend an Bedeutung.

Solche Instandhaltungsmaßnahmen werden häufig von spezialisierten Dienstleistungsunternehmen durchgeführt, beispielsweise für Instandhaltungsmaßnahmen an Flugzeugtriebwerken für zivile Verkehrsflugzeuge. Auftraggeber dieser Unternehmen sind in diesem Fall die Eigner der Flugzeuge, vielfach zivile Fluggesellschaften. Aus der Sicht eines derartigen Instandhaltungs- oder Regenerationsdienstleisters stellt die Entscheidung über die Annahme oder die Ablehnung eines Regenerationsauftrags eine wichtige und sogleich schwierige betriebswirtschaftliche Entscheidung dar. Dies ergibt sich aus der unterschiedlichen Wertigkeit der infrage stehenden Regenerationsaufträge und der dahinterstehenden Auftraggeber, der Stochastik des Eingangs dieser Anfragen für die Durchführung von Regenerationsmaßnahmen und aus dem vielfach komplexen Regenerationsprozess selbst sowie den dabei zu berücksichtigenden Ressourcenkonkurrenzen zwischen den verschiedenen Regenerationsaufträgen.

Es kann dabei der Fall auftreten, dass ein derartiger Regenerationsdienstleister wirtschaftlich wenig attraktive Aufträge annimmt und dadurch Kapazitäten bindet, sodass es ihm in der Folge nicht möglich ist, später eintreffende und wirtschaftlich attraktivere Regenerationsaufträge anzunehmen. Im Bereich des Revenue Managements wurden für die Annahme- und Buchungssteuerung für Dienstleis-

tungen beispielsweise im Flugverkehr oder in der Hotellerie diverse methodisch fundierte Ansätze entwickelt, die zu einer betriebswirtschaftlich sinnvollen Allokation der knappen Ressourcen des Dienstleistungssystems führen sollen.

Herr Herde stellt sich nun in seiner Dissertation dem Problem, einen solchen Revenue-Management-Ansatz für die Annahmesteuerung kundenspezifischer Regenerationsaufträge für komplexe Investitionsgüter zu entwickeln. Als Anschauungsobjekt betrachtet er dabei die Regeneration von Flugzeugtriebwerken. Besonders beachtenswert erscheint dabei die von Herrn Herde betrachtete Frage des Umgangs mit hochwertigen Komponenten, die auf Lager genommen und gewissermaßen auf Vorrat regeneriert werden können. Er entwickelt ein System von geschickt aufeinander aufbauenden Entscheidungsmodellen für diesen facettenreichen Betrachtungsgegenstand und auf dieser Basis einen Algorithmus zur Auftragsannahmesteuerung, der sich in einer numerischen Studie als sehr erfolgversprechend erweist.

Die von Herrn Herde vorgelegte Dissertation ist entstanden vor dem Hintergrund von Erkenntnissen und Erfahrungen, die sich Herr Herde durch seine Mitarbeit am DFG-Sonderforschungsbereich 871 „Regeneration komplexer Investitionsgüter“ an der Leibniz Universität Hannover erworben hat. Sie zeigt daher neben einer großen formalen und methodischen Tiefe in der Betriebswirtschaftslehre auch eine große inhaltliche Breite und ein beeindruckendes technisches Verständnis. Für den Wissenschaftler wie den Praktiker, der sich mit Auftragsannahmeentscheidungen für komplexe Investitionsgüter aller Art und mit Regenerationsprozessen an Flugzeugtriebwerken im Besonderen beschäftigt, stellt diese sehr schöne Schrift eine Fundgrube an Ideen und Einsichten dar. Daher wünsche ich dieser erfreulichen Dissertation eine gute Aufnahme in der Fachwelt an der komplexen Schnittstelle zwischen Betriebs- und Ingenieurwissenschaft.

Hannover, im September 2017  
Prof. Dr. Stefan Helber

# Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während und nach meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Produktionswirtschaft der Leibniz Universität Hannover. In dieser Zeit haben mich viele sympathische Menschen sowohl in fachlicher als auch in menschlicher Hinsicht stets großartig unterstützt. Diesen Menschen möchte ich meine große Wertschätzung und meinen aufrichtigen Dank ausdrücken.

An erster Stelle möchte ich meinem Doktorvater, dem Leiter des Instituts für Produktionswirtschaft, Herrn Prof. Dr. Stefan Helber herzlich danken. Durch seine Expertise und Geduld sowie die gewährte Gestaltungsfreiheit gab er mir die Möglichkeit, mich fachlich sowie persönlich weiterzuentwickeln. Bei meinem Zweitprüfer Herrn Prof. Dr. Raik Stolletz, dem Leiter des Instituts für Production Management der Universität Mannheim, bedanke ich mich für die Übernahme des Koreferats meiner Dissertation. Herrn Prof. Dr. Marcel Prokopczuk, dem Leiter des Instituts für Finanzmarkttheorie, gebührt mein Dank für den Vorsitz in der Prüfungskommission. Herrn Dr. Konrad Schäfer danke ich für die beratende Teilnahme in der Disputation.

Bei allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Instituts für Produktionswirtschaft bedanke ich mich für ihre Professionalität und Hilfsbereitschaft. Frau Silvia Bertuzies danke ich für ihre hervorragende administrative Unterstützung während meiner Promotionszeit. Bei Frau Dr. Carolin Kellenbrink bedanke ich mich für die fachlichen Diskussionen und die gemeinsame konstruktive Projektarbeit. Meinen ehemaligen Kolleginnen und Kollegen Dr. Steffen Kasper, Steffen Rickers, Bastian Schmidtman, Ariane Kayser, Lars Heinze, André Schnabel, Luise-Sophie Hoffmann, Kristina Bergmann, Prof. Dr. Florian Sahling und Dr. Orapadee Joochim gebührt mein Dank für die abwechslungsreiche Zeit am Institut. Den Herren Sebastian König, Sebastian Mende und Michael Vos bin ich dankbar für ihr großes Engagement während ihrer mehrjährigen Tätigkeit als wissenschaftliche Hilfskräfte.

Weiterhin bedanke ich mich bei dem Sprecher des Sonderforschungsbereichs (SFB) 871 „Regeneration komplexer Investitionsgüter“, Herrn Prof. Dr.-Ing. Jörg Seume, und dem gesamten SFB-Team für die ereignisreiche und erfolgreiche Zusammenarbeit. Besonderer Dank gilt den Herren Prof. Dr.-Ing. Steffen Eickemeyer, Dr.-Ing. Linus Pohle, Dr.-Ing. Felix Flöter, Jens Aschenbruck (GF



a. D.), Dr.-Ing. Sebastian Hohenstein, Dr.-Ing. Rafael Adamczuk und Benedikt Ernst für die enge und galaktische Kooperation.

Für die finanzielle Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) im Rahmen meiner Mitarbeit im SFB 871 zur Durchführung dieses Forschungsvorhabens bedanke ich mich ebenfalls herzlich.

Meinem einzigartigen Freundeskreis gebührt mein großer Dank für den Rückhalt, die Motivation, die Ablenkungen und die offenen Ohren während meiner Promotion. Zu nennen sind da die Gehrdener Jungs aus der Burgbergstadt, die Kanu-Freunde, die Tatort-Freunde sowie meine weiteren Freunde vom MCG. Gleichmaßen gilt mein herzlicher Dank den Freunden aus der Studienzeit und den Hockey-Freunden.

Meinem Doktorbruder Dr. Steffen Kasper danke ich für seine großartige Unterstützung und jederzeitige Bereitschaft zur Diskussion von Sachfragen während der Erstellung meiner Dissertation. Seine methodische Kompetenz in der mathematischen Optimierung und bei der Strukturierung komplexer Probleme verbunden mit seinem sorgfältigen Korrekturlesen waren mir eine unerlässliche Hilfe.

Mein größter Dank gilt meiner ganzen Familie, die auf meinem Weg zur Promotion immer für mich da war und den erfolgreichen Abschluss erst ermöglicht hat. Besonders meinen Eltern, Karin und Horst Herde, danke ich aus tiefstem Herzen für die Möglichkeiten, die sie mir auf meinem Lebensweg eröffnet haben. Sie haben stets an mich geglaubt. Auch in den schwierigsten Zeiten konnte ich mich immer auf sie verlassen.

Hannover, im September 2017  
Felix Herde

# Inhaltsverzeichnis

<b>Geleitwort</b>	<b>V</b>
<b>Vorwort</b>	<b>VII</b>
<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>IX</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>XV</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>XIX</b>
<b>Algorithmenverzeichnis</b>	<b>XXI</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>XXIII</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Gegenstand der Arbeit . . . . .	1
1.2 Aufbau der Arbeit . . . . .	3
<b>2 Kennzeichnung der kundenspezifischen Regeneration komplexer Investitionsgüter</b>	<b>5</b>
2.1 Spezifika komplexer Investitionsgüter . . . . .	5
2.2 Spezifika der Regeneration . . . . .	6
2.2.1 Grundlagen der Regeneration . . . . .	6
2.2.2 Ablauf der Regeneration . . . . .	7
2.2.3 Kennzeichnung der Regenerationssysteme und -prozesse	9
2.3 Kennzeichnung des Auftragsannahmeprozesses . . . . .	11
2.3.1 Eigenschaften kundenindividueller Regenerationsaufträge	11
2.3.2 Herausforderungen und Potenziale für eine effiziente Auftragsannahme . . . . .	13
<b>3 Unterstützung bei der Entscheidung über die Annahme von Regenerationsaufträgen mithilfe des Revenue Managements</b>	<b>15</b>
3.1 Grundlagen des Revenue Managements . . . . .	15
3.2 Anwendung des Revenue Managements bei der Regeneration . .	18

3.2.1	Anwendungsvoraussetzungen . . . . .	18
3.2.2	Analyse des RM-Potenzials bei der kundenindividuellen Regeneration . . . . .	20
3.3	Instrumente des Revenue Managements . . . . .	21
3.3.1	Übersicht . . . . .	21
3.3.2	Segmentorientierte Preisdifferenzierung . . . . .	24
3.3.3	Überbuchungssteuerung . . . . .	26
3.3.4	Kapazitätssteuerung . . . . .	27
3.3.5	Approximation der Opportunitätskosten mittels Bid- Preisen . . . . .	32
3.4	Analyse der Eignung von bestehenden Ansätzen zur Auftragsan- nahmesteuerung für die kundenspezifische Regeneration komple- xer Investitionsgüter . . . . .	37
3.4.1	Übersicht . . . . .	37
3.4.2	Revenue Management für die Wiederherstellung von Gü- tern . . . . .	37
3.4.3	Revenue Management für die Produktion von Sachgütern	39
3.4.4	Revenue Management für flexible Produkte . . . . .	41
3.4.5	Kritische Würdigung bestehender Ansätze und Definition der Forschungslücke . . . . .	43
<b>4</b>	<b>Entwicklung von Entscheidungsmodellen für die Annahme- und Einplanungsentscheidung über Regenerationsaufträge</b>	<b>45</b>
4.1	Generelle Überlegungen und zugrunde liegende Annahmen . . .	45
4.2	Stufenweise Entwicklung des Grundmodells für die Annahme- und Einplanungsentscheidung über Regenerationsaufträge . . .	50
4.2.1	Übersicht . . . . .	50
4.2.2	Stufe I: Modell für Aufträge mit alternativen Regenerati- onsmodi und fixiertem Zeitfenster . . . . .	51
4.2.3	Stufe II: Erweiterung des Modells der Stufe I um mehrpe- riodige Auftragsdauern . . . . .	58
4.2.4	Stufe III: Erweiterung des Modells der Stufe II um die Be- rücksichtigung von Lagerteilen und die Aufarbeitung re- parierfähiger Einzelteile . . . . .	64
4.3	Ableitung der Modelle für den Bid-Preis-Ansatz aus dem Grund- modell . . . . .	76
4.3.1	Übersicht . . . . .	76

4.3.2	Erweiterung des Grundmodells der Stufe III um die auftragsbezogene Einzelteilaufarbeitung und Lagerteilnahme . . . . .	80
4.3.3	Integration der Bid-Preise in die Zielfunktion zwecks Berücksichtigung der Opportunitätskosten bei der Annahme und Einplanung von Anfragen . . . . .	94
4.3.4	Zufallsbasierte Modellvariante für die Bid-Preis-Generierung . . . . .	99
<b>5</b>	<b>Konzeption einer Methode für die Annahmesteuerung kundenspezifischer Regenerationsaufträge komplexer Investitionsgüter</b>	<b>101</b>
5.1	Generelle Überlegungen und Annahmen . . . . .	101
5.2	Bid-Preis-basierte Allokationsstrategien . . . . .	104
5.2.1	Übersicht . . . . .	104
5.2.2	Generierung der Bid-Preise mithilfe der zufallsbasierten Modellvariante . . . . .	106
5.2.3	Ermittlung der Opportunitätskosten mittels der Bid-Preise	109
5.2.4	Allokationsstrategie mit einmaliger Generierung der Bid-Preise . . . . .	110
5.2.4.1	Übersicht . . . . .	110
5.2.4.2	Ablauf des Verfahrens . . . . .	113
5.2.4.3	Darstellung des Pseudocodes . . . . .	116
5.2.5	Allokationsstrategie mit periodenweiser Generierung der Bid-Preise . . . . .	125
5.2.5.1	Übersicht . . . . .	125
5.2.5.2	Ablauf des Verfahrens . . . . .	128
5.2.6	Berücksichtigung der Einplanungsflexibilität hinsichtlich Modus und Startperiode in den Bid-Preis-Ansätzen . . .	130
5.2.7	Allokationsstrategie mit einmaliger Generierung der Bid-Preise und Einplanungsflexibilität . . . . .	132
5.2.7.1	Übersicht . . . . .	132
5.2.7.2	Ablauf des Verfahrens . . . . .	133
5.2.7.3	Darstellung des Pseudocodes . . . . .	136
5.2.8	Allokationsstrategie mit periodenweiser Generierung der Bid-Preise und Einplanungsflexibilität . . . . .	140
5.2.8.1	Übersicht . . . . .	140
5.2.8.2	Ablauf des Verfahrens . . . . .	142
5.3	Referenzverfahren zur Analyse der Lösungsgüte und Leistungsfähigkeit der entwickelten Bid-Preis-Ansätze . . . . .	144

5.3.1	Aufgabe der Referenzverfahren . . . . .	144
5.3.2	First-Come-First-Served-(FCFS)-Logik . . . . .	146
5.3.2.1	Übersicht . . . . .	146
5.3.2.2	Ablauf des Verfahrens . . . . .	147
5.3.3	Verfahren zur Bestimmung des Ex-Post-Optimums (EPO)	150
<b>6</b>	<b>Numerische Untersuchungen</b>	<b>151</b>
6.1	Beschreibung der Simulationsumgebung und -experimente . . .	151
6.1.1	Architektur und Elemente der Simulationsumgebung . .	151
6.1.2	Struktur der Problemklassen der numerischen Experimente	154
6.1.2.1	Übersicht . . . . .	154
6.1.2.2	Fixierte Eingangsgrößen . . . . .	155
6.1.2.3	Variierende anfragenspezifische Eingangsgrößen . . . . .	158
6.1.2.4	Systematische Variation der Eingangsgrößen für die Generierung der Problemklassen . . .	163
6.1.3	Ablauf der numerischen Experimente . . . . .	169
6.2	Analyse und Interpretation der numerischen Experimente . . .	171
6.2.1	Bewertungskriterien . . . . .	171
6.2.2	Aggregierte Ergebnisse . . . . .	172
6.2.3	Sensitivitätsuntersuchungen . . . . .	180
6.2.4	Bid-Preis-Entwicklungen im Zeitverlauf . . . . .	188
<b>7</b>	<b>Schlussbemerkungen</b>	<b>193</b>
7.1	Zusammenfassung . . . . .	193
7.2	Ausblick . . . . .	195
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>197</b>
	<b>Anhang</b>	<b>211</b>
<b>A</b>	<b>Das Flugzeugtriebwerk als Beispiel eines komplexen Investitionsguts</b>	<b>213</b>
<b>B</b>	<b>Berechnungsvorschriften für die Ressourcenbedarfs- und -zugangskoeffizienten</b>	<b>219</b>
<b>C</b>	<b>Randomized Linear Program for Regeneration with Order-Specific Part Remanufacturing (RLPR-OSPR)</b>	<b>221</b>
<b>D</b>	<b>RLPR-OSPR-Bid-Preise</b>	<b>229</b>

<b>E</b>	<b>Darstellung der Pseudocodes verschiedener Ansätze</b>	<b>233</b>
E.1	Darstellung des Pseudocodes des BPR-Ansatzes . . . . .	233
E.2	Darstellung des Pseudocodes des BPRF-Ansatzes . . . . .	234
E.3	Darstellung des Pseudocodes des FCFS-Ansatzes . . . . .	236
E.4	Darstellung des Pseudocodes des EPO-Ansatzes . . . . .	238
<b>F</b>	<b>Allgemeine Berechnungsvorschrift zur Bestimmung der verfügbaren Ressourcen in Abhängigkeit verschiedener Auslastungsniveaus</b>	<b>241</b>
<b>G</b>	<b>Mittlere prozentuale Aufteilung der in „Modus 2“ ausgeführten Aufträge auf die verschiedenen Profitabilitätsklassen</b>	<b>243</b>
<b>H</b>	<b>Zusammenfassung der Ergebnisse der Sensitivitätsuntersuchungen</b>	<b>245</b>
<b>I</b>	<b>Anfragenspezifische Parameter der Probleminstanzen</b>	<b>249</b>

# Abbildungsverzeichnis

1.1	Zielsetzung und Vorgehen der vorliegenden Arbeit . . . . .	4
2.1	Schematischer Ablauf der Regeneration . . . . .	8
2.2	Klassifizierung der Status von Einzelteilen . . . . .	9
2.3	Aufteilung der Kapazität auf unterschiedliche Kundentypen . . . . .	12
2.4	Zeitbezogene Parameter kundenspezifischer Anfragen . . . . .	13
3.1	Planungsebenen und Instrumente des Revenue Managements . . . . .	22
3.2	Prinzip der Preisdifferenzierung (Fall mit Grenzkosten = 0) . . . . .	25
3.3	Mengenorientierte Kapazitätssteuerung . . . . .	29
4.1	Vorgehen bei der Erstellung des Konzepts für die Auftragsannahme- steuerung im Regenerationskontext . . . . .	45
4.2	Stufenweise Entwicklung der Entscheidungsmodelle . . . . .	46
4.3	Eingänge von Auftragsanfragen innerhalb der Buchungsperioden . . . . .	47
4.4	Entwicklungsstufen des Grundmodells . . . . .	50
4.5	Entwicklungsstufe I des Grundmodells . . . . .	52
4.6	Anfragenspezifische zeitliche Attribute . . . . .	53
4.7	Mögliche Startzeitpunkte der Regeneration des Objekts einer Anfrage im fixierten Zeitfenster . . . . .	57
4.8	Entwicklungsstufe II des Grundmodells . . . . .	58
4.9	Flexibilität der Startzeitpunkte der Regeneration des Objekts einer An- frage in Abhängigkeit der modusspezifischen Regenerationsdauer . . . . .	59
4.10	Beispielhafter Kapazitätsbedarf in Abhängigkeit einzelner Relativepe- rioden . . . . .	60
4.11	Beispiel zur Einschränkung potenzieller Startzeitpunkte der Regene- ration in Abhängigkeit der verfügbaren Kapazität . . . . .	63
4.12	Entwicklungsstufe III des Grundmodells . . . . .	64
4.13	Beispiel für die Handhabung der Teile mit unterschiedlichem Status in Bezug auf die Basis-Modi . . . . .	67
4.14	Anpassung des Grundmodells für den Bid-Preis-Ansatz . . . . .	76
4.15	DLPR-OSPR-Modellvarianten für den Bid-Preis-Ansatz . . . . .	77

4.16	Zusammenwirken der DLPR-OSPR*- und RLPR-OSPR-Modelle des Kapitels 4.3 in dem Bid-Preis-Algorithmus des Kapitels 5.2 . . . . .	79
4.17	Anpassung des Grundmodells für das DLPR-OSPR-Modell . . . . .	81
4.18	Kennzeichnung der erlaubten Perioden der auftragsbezogenen Aufarbeitung und Lagerteilnahme anhand eines Beispiels . . . . .	83
4.19	Integration der Bid-Preise in die Zielfunktion des DLPR-OSPR-Modells . . . . .	95
4.20	Ableitung der zufallsbasierten Variante des DLPR-OSPR-Modells .	100
5.1	Übersicht über die entwickelten Bid-Preis- und Referenzverfahren .	101
5.2	Differenzierung der Bid-Preis-Ansätze anhand der Dimensionen „Bid-Preis-Generierung“ sowie „Einplanungsflexibilität“ . . . . .	102
5.3	Vergleich des Informationsstands bei der Annahmeentscheidung über eingehende Anfragen in Abhängigkeit der Bid-Preis- und Referenzverfahren . . . . .	104
5.4	Übersicht über die entwickelten Bid-Preis-Verfahren . . . . .	105
5.5	Generierung der RLPR-OSPR-Bid-Preise . . . . .	107
5.6	Berechnung der Opportunitätskosten . . . . .	110
5.7	Zusammenspiel der DLPR-OSPR*- und RLPR-OSPR-Modelle im BPE-Algorithmus . . . . .	111
5.8	Verfahrensschritte des BPE-Algorithmus während und am Ende jeder Periode . . . . .	113
5.9	Ablauf des BPE-Algorithmus . . . . .	114
5.10	Schematische Darstellung der verbindlichen und vorläufigen Entscheidungen im BPE-Ansatz . . . . .	116
5.11	Gegenüberstellung der Frequenz der Bid-Preis-Generierung der BPE- und BPR-Ansätze . . . . .	125
5.12	Zusammenspiel der DLPR-OSPR*- und RLPR-OSPR-Modelle in dem BPR-Algorithmus . . . . .	127
5.13	Ablauf des BPR-Algorithmus . . . . .	129
5.14	Darstellung der Fixierungsperiode von Modus und Startperiode eines angenommenen Auftrags anhand eines Beispiels . . . . .	131
5.15	Zusammenspiel der DLPR-OSPR*- und RLPR-OSPR-Modelle im BPEF-Algorithmus . . . . .	132
5.16	Ablauf des BPEF-Algorithmus . . . . .	134
5.17	Schematische Darstellung der verbindlichen und vorläufigen Entscheidungen in dem BPEF-Ansatz . . . . .	136
5.18	Zusammenspiel der DLPR-OSPR*- und RLPR-OSPR-Modelle im BPRF-Algorithmus . . . . .	141



5.19	Ablauf des BPRF-Algorithmus . . . . .	143
5.20	Übersicht über die beiden entwickelten Referenzverfahren . . . . .	144
5.21	Ablauf des FCFS-Algorithmus . . . . .	149
6.1	Elemente und Architektur der Simulationsumgebung . . . . .	152
6.2	Kategorien der Eingangsgrößen . . . . .	155
6.3	Mögliche Ausprägungen der anfragenspezifischen Vorlaufzeiten und Zeitfenster in einem Beispiel-Zeitabschnitt . . . . .	161
6.4	Ablauf der numerischen Experimente . . . . .	170
6.5	Mittlere relative Abweichungen des Gesamtdeckungsbeitrags der ver- schiedenen Allokationsstrategien vom Ex-Post-Optimum über alle In- stanzen . . . . .	173
6.6	Lage- und Streuungsmaße der relativen Abweichungen der Gesamtde- ckungsbeiträge der verschiedenen Allokationsstrategien vom Ex-Post- Optimum über alle Instanzen . . . . .	175
6.7	Verteilung der relativen Abweichungen des Gesamtdeckungsbeitrags der verschiedenen Allokationsstrategien vom Ex-Post-Optimum über alle Instanzen . . . . .	176
6.8	Prozentualer Anteil der angenommenen Anfragen der verschiedenen Profitabilitätsklassen für die unterschiedlichen Algorithmen . . . . .	178
6.9	Prozentuale Aufteilung des Gesamtdeckungsbeitrags generiert durch die angenommenen Anfragen der verschiedenen Profitabilitätsklassen über alle Instanzen . . . . .	179
6.10	Mittlere relative Abweichung des Gesamtdeckungsbeitrags vom Ex- Post-Optimum in Abhängigkeit der Deckungsbeitragsheterogenität der Profitabilitätsklassen . . . . .	182
6.11	Lage- und Streuungsparameter der relativen EPO-Abweichung des Gesamtdeckungsbeitrags in Abhängigkeit der Deckungsbeitragshete- rogenität der Profitabilitätsklassen . . . . .	183
6.12	Mittlere relative Abweichung des Gesamtdeckungsbeitrags vom Ex- Post-Optimum in Abhängigkeit der Auslastung der Lagerbestände . . . . .	184
6.13	Mittlere relative Abweichung des Gesamtdeckungsbeitrags vom Ex- Post-Optimum in Abhängigkeit der Auslastung der Kapazitäten . . . . .	185
6.14	Mittlere relative Abweichung des Gesamtdeckungsbeitrags vom Ex- Post-Optimum in Abhängigkeit der Modus-Verfügbarkeit . . . . .	186
6.15	Mittlerer relativer Anteil der akzeptierten und in „Modus 2“ ausge- führten Aufträge in Abhängigkeit der Auslastung der Kapazitäten . . . . .	187
6.16	Entwicklung der relativen Abweichungen der BPR-Bid-Preise von den BPE-Bid-Preisen der einsatzbereiten Einzelteile im Zeitablauf . . . . .	190

---

6.17	Entwicklung der relativen Abweichungen der BPR-Bid-Preise von den BPE-Bid-Preisen der Aufarbeitungskapazitäten im Zeitablauf .	191
6.18	Entwicklung der relativen Abweichungen der BPR-Bid-Preise von den BPE-Bid-Preisen der Remontagekapazitäten im Zeitablauf . . .	192
A.1	Schematische Darstellung eines Turbofan-Triebwerks . . . . .	214
A.2	Globale Verteilung von Aerosolpartikeln in der Luft . . . . .	216
A.3	HDT-Schaufeln vor (links) und nach (rechts) der Regeneration . . .	217
E.1	Ablauf des EPO-Algorithmus . . . . .	239
G.1	Prozentuale Aufteilung der in „Modus 2“ ausgeführten Aufträge auf die verschiedenen Profitabilitätsklassen . . . . .	243

# Tabellenverzeichnis

3.1	Literaturübersicht zu RM-Anwendungsgebieten in der Dienstleistungsproduktion . . . . .	17
3.2	Literaturübersicht zu RM-Anwendungsgebieten in der Sachgüterproduktion . . . . .	18
3.3	Notation des Erwartungswertmodells (DLP) . . . . .	32
4.1	Notation der Entwicklungsstufe I des Grundmodells . . . . .	55
4.2	Zusätzliche Notation der Entwicklungsstufe II des Grundmodells . .	60
4.3	Vollständige Notation des Grundmodells (Entwicklungsstufe III bzw. Deterministic Linear Program for Regeneration (DLPR)) . . . . .	70
4.4	Vollständige Notation des DLPR-OSPR-Modells . . . . .	86
4.5	Zusätzliche Notation für die Berechnung der Opportunitätskosten mithilfe des DLPR-OSPR*-Modells . . . . .	96
4.6	Bid-Preis-bewertete (BPb) Bestandteile bei der OK-Berechnung . .	98
5.1	Zusätzliche Notation im Zusammenhang mit den Bid-Preisen . . . .	107
5.2	Zusätzlich benötigte Notation für die Algorithmen . . . . .	118
6.1	Fixierte Eingangsgrößen der numerischen Experimente . . . . .	156
6.2	Modusabhängige Ressourcenbedarfskoeffizienten . . . . .	157
6.3	Variierende anfragenspezifische Eingangsgrößen der numerischen Experimente . . . . .	159
6.4	Profitabilitätsklassen in Abhängigkeit der Vorlaufzeit und des fixierten Zeitfensters der Anfragen . . . . .	162
6.5	Variation der Eingangsmengen und -parameter für die Problemklassen	164
6.6	Variation der verfügbaren Modi in den Problemklassen . . . . .	165
6.7	Variation der profitabilitätsklassen- und modusabhängigen Deckungsbeiträge in den Problemklassen . . . . .	165
6.8	Variation der prozentualen Auslastung der Lagerbestände reparierfähiger und einsatzbereiter Einzelteile in den Problemklassen . . . . .	167
6.9	Variation der prozentualen Kapazitätsauslastung der erneuerbaren Ressourcen in den Problemklassen . . . . .	168
6.10	Identifikation des Einflusses der variierten Eingangsgrößen . . . . .	180

A.1	Typische Kennzahlen für Regenerationsereignisse in Abhängigkeit der Betriebsbedingungen am Beispiel von Turbinenkomponenten . . . .	216
B.1	Notation für die Anzahl der Einzelteile der verschiedenen Teiletypen eines Investitionsguts mit unterschiedlichem Status . . . . .	219
B.2	Berechnung der Ressourcenbedarfs- und -zugangskoeffizienten . . .	220
C.1	Vollständige Notation des RLPR-OSPR-Modells . . . . .	221
D.1	Zusätzliche Notation für die RLPR-OSPR-Bid-Preise . . . . .	229
H.1	Mittlere relative Abweichungen der Gesamtdeckungsbeiträge der verschiedenen Allokationsmechanismen vom Ex-Post-Optimum in % .	245
H.2	Annahmegrade für die Anfragen der unterschiedlichen Profitabilitätsklassen (Kl.) für die verschiedenen Allokationsmechanismen in % (Teil 1) . . . . .	246
H.3	Annahmegrade für die Anfragen der unterschiedlichen Profitabilitätsklassen (Kl.) für die verschiedenen Allokationsmechanismen in % (Teil 2) . . . . .	247
I.1	Anfragenstrom von Problemistanz 1 . . . . .	250
I.2	Anfragenstrom von Problemistanz 2 . . . . .	251
I.3	Anfragenstrom von Problemistanz 3 . . . . .	252
I.4	Anfragenstrom von Problemistanz 4 . . . . .	253
I.5	Anfragenstrom von Problemistanz 5 . . . . .	254
I.6	Anfragenstrom von Problemistanz 6 . . . . .	255
I.7	Anfragenstrom von Problemistanz 7 . . . . .	256
I.8	Anfragenstrom von Problemistanz 8 . . . . .	257
I.9	Anfragenstrom von Problemistanz 9 . . . . .	258
I.10	Anfragenstrom von Problemistanz 10 . . . . .	259
I.11	Anfragenstrom von Problemistanz 11 . . . . .	260
I.12	Anfragenstrom von Problemistanz 12 . . . . .	261
I.13	Anfragenstrom von Problemistanz 13 . . . . .	262
I.14	Anfragenstrom von Problemistanz 14 . . . . .	263
I.15	Anfragenstrom von Problemistanz 15 . . . . .	264
I.16	Anfragenstrom von Problemistanz 16 . . . . .	265
I.17	Anfragenstrom von Problemistanz 17 . . . . .	266
I.18	Anfragenstrom von Problemistanz 18 . . . . .	267
I.19	Anfragenstrom von Problemistanz 19 . . . . .	268
I.20	Anfragenstrom von Problemistanz 20 . . . . .	269

## Algorithmenverzeichnis

5.1	Pseudocode des BPE-Algorithmus . . . . .	120
5.2	Pseudocode für die Bestimmung der auftragsunabhängigen Aufarbeitung von Lagerteilen . . . . .	122
5.3	Pseudocode des BPEF-Algorithmus . . . . .	137
D.1	Berechnung der RLPR-OSPR-Bid-Preise . . . . .	231
E.1	Pseudocode des BPR-Algorithmus . . . . .	233
E.2	Pseudocode des BPRF-Algorithmus . . . . .	235
E.3	Pseudocode des FCFS-Algorithmus . . . . .	236
E.4	Pseudocode des Verfahrens zur Bestimmung des Ex-Post-Optimums	240

# Abkürzungsverzeichnis

ATO	Assemble-To-Order
BP	Bid-Preis
BPb	Bid-Preis-bewertet
BPE	Bid-Preis-Ansatz mit einmaliger Generierung der Bid-Preise
BPEF	Bid-Preis-Ansatz mit einmaliger Generierung der Bid-Preise und Flexibilität hinsichtlich der Einplanung von Modus und Startperiode
BPR	Bid-Preis-Ansatz mit regelmäßiger Generierung der Bid-Preise
BPRF	Bid-Preis-Ansatz mit regelmäßiger Generierung der Bid-Preise und Flexibilität hinsichtlich der Einplanung von Modus und Startperiode
CLSC	Closed-Loop Supply Chain
DB	Deckungsbeitrag
DLP	Deterministic Linear Program(ming)
DLPR	Deterministic Linear Program for Regeneration
DLPR-OSPR	Deterministic Linear Program with Order-Specific Part Remanufacturing
EPO	Ex-Post-Optimum bzw. Verfahren zur Bestimmung des EPOs
FCFS	First-Come-First-Served
FP	Flexible Product
GAMS	General Algebraic Modeling System
GE	Geldeinheiten
HDT	Hochdruckturbine
HDV	Hochdruckverdichter
hPa	Hektopascal
i. e. S.	im engeren Sinne
i. w. S.	im weiteren Sinne
K	Kelvin
LP	Linear Program, lineares Programm
ME	Mengeneinheit
MTO	Make-To-Order

MTS	Make-To-Stock
NDT	Niederdruckturbine
NDV	Niederdruckverdichter
OG	Optimality Gap
OK	Opportunitätskosten
OV	Outside Vendor
PI	Probleminstanz
PK	Problemklasse
ra	repairable
RHB	Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe
RLP	Randomized Linear Program(min)
RLPR	Randomized Linear Program for Regeneration
RLPR-OSPR	Randomized Linear Program for Regeneration with Order-Specific Part Remanufacturing
RM	Revenue Management
sa	serviceable
SDP	Stochastische, dynamische Programmierung
SO	Startoption
SOR	Start of Regeneration
SP	Startperiode
STP	Standard Temperature and Pressure
SZP	Startzeitpunkt
u. B. d. R.	unter Beachtung der Restriktionen
US	United States
ZF	Zielfunktion

# 1 Einleitung

## 1.1 Gegenstand der Arbeit

Durch die Nutzung von Investitionsgütern baut sich ihr Zustand ab. Ab einem bestimmten Zustandsniveau ist ihr sicherer oder effizienter Einsatz nicht mehr möglich, sodass sich ihre Leistungsfähigkeit nur mithilfe einer Regeneration wiederherstellen lässt. Da ein Großteil der bei der Produktion des Investitionsguts eingebrachten Wertschöpfung am Ende eines Nutzungszyklus weiter besteht, zielt die Regeneration darauf ab, so viele Komponenten des Investitionsguts wie möglich wiederzuverwenden. Damit können im Vergleich zum Verwenden von hochpreisigen Neuteilen nicht nur Kosten eingespart, sondern darüber hinaus die natürlichen Ressourcen geschont werden.<sup>1</sup>

Aufgrund der Komplexität der Investitionsgüter sind spezialisierte Verfahren, Anlagen und eigens dafür konzipiertes Equipment für deren Regeneration notwendig. Zudem muss das benötigte Personal für die Durchführung der Regeneration in manchen Branchen anspruchsvoll und zeitintensiv qualifiziert sowie zertifiziert werden. Oftmals haben Ersatzteile nur eine geringe Verfügbarkeit am Markt in Verbindung mit langen Beschaffungszeiten.<sup>2</sup> Die Lagerhaltung von Einzelteilen ist daher eine notwendige Voraussetzung für die termingerechte Erfüllung von Regenerationsaufträgen.<sup>3</sup> Diese Aspekte zeigen, dass die Ressourcen (Kapazitäten und Einzelteile) für die Regeneration kurzfristig unflexibel sind.<sup>4</sup>

Die kurzfristig eintreffenden Regenerationsanfragen sind typischerweise kundenspezifisch. Von Kunde zu Kunde variieren die Betriebsbedingungen der Investitionsgüter und damit ihr Zustand sowie die Anforderungen an die Regeneration. Die Eingänge der Anfragen beim Regenerationsdienstleister sind unsicher und zeitlich verteilt. Anfragen lassen sich dabei anhand ihrer Vorlaufzeit sowie des fixierten Zeitfensters für die Regeneration differenzieren. Diese Charakteristika spiegeln die Dringlichkeit eines Auftrags wider. Je größer die Dringlichkeit ist, desto größer ist tendenziell auch die Zahlungsbereitschaft aufseiten des Kunden. Je kleiner Vorlaufzeit und Zeitfenster sind, desto geringer ist wiederum die Ein-

---

<sup>1</sup>Vgl. Kleppa et al. (2010), S. 1.

<sup>2</sup>Vgl. Helber et al. (2012), S. 65-66, 68.

<sup>3</sup>Vgl. Herde (2013), S. 112.

<sup>4</sup>Vgl. Eickemeyer und Herde (2012), S. 763.



planungsflexibilität aufseiten des Regenerationsdienstleisters. Durch die teilweise Verfügbarkeit verschiedener Regenerationsmodi, die der Kunde jeweils autorisieren kann, lässt sich die Flexibilität für den Dienstleister allerdings erhöhen. Welche Anfragen angenommen und wie diese eingeplant werden, beeinflusst direkt die Ressourcenverbräuche und führt damit zu wechselnden Ressourcenengpässen in Abhängigkeit des gewählten Auftragsportfolios. Diese Kriterien verdeutlichen, dass die Anfragen von unterschiedlicher Wertigkeit für den Regenerationsdienstleister sind, was eine starke Deckungsbeitragsheterogenität belegt.<sup>5</sup>

Aufgrund des kurzfristig unflexiblen Ressourcenangebots steht der Regenerationsdienstleister vor der Herausforderung, möglichst die profitabelsten Anfragen zu identifizieren, anzunehmen und effizient einzuplanen. Gerade in Engpasssituationen, in denen Kapazitäten und Lagerbestände nicht ausreichen, um alle Anfragen zu akzeptieren, kommt der Auftragsannahmeentscheidung eine bedeutsame Rolle für den Unternehmenserfolg zu. Die geschilderten Aspekte der Entscheidungssituation verdeutlichen, dass es sich um ein komplexes Entscheidungsproblem handelt, das einer fundierten Entscheidungsunterstützung bedarf. Mit ähnlichen Entscheidungsproblemen sehen sich Unternehmen aus der Dienstleistungs- und Sachgüterproduktion konfrontiert. Dies führte zu der Entwicklung des Revenue Managements (RMs). Insbesondere die wertorientierten RM-Ansätze, die mithilfe der Opportunitätskosten von Anfragen über deren Annahme oder Ablehnung entscheiden, erscheinen auch im vorliegenden Kontext eine vielversprechende Entscheidungsunterstützung möglich zu machen.<sup>6</sup> Es existieren verschiedene RM-Ansätze in verwandten Anwendungsgebieten, die allerdings nur Teilaspekte der betrachteten Entscheidungssituation erfassen und abbilden.

Für die fundierte Entscheidungsunterstützung muss ein neu zu entwickelnder Ansatz die wesentlichen Aspekte des Regenerationskontexts erfassen. Daher entwickelt die vorliegende Arbeit Allokationsstrategien, die diese Aspekte, wie insbesondere Lagerteile als potenzielle Engpassressourcen, in das Entscheidungskalkül integrieren. Der neu entwickelte Ansatz approximiert mittels Bid-Preisen der erneuerbaren Kapazitäten sowie der Lagerteile die Opportunitätskosten der Anfragen. Dazu präsentiert diese Arbeit die mehrstufige Entwicklung von formal-mathematischen Modellen, mit deren Hilfe sich die Bid-Preise generieren lassen. Die neu entwickelten Algorithmen greifen auf diese Optimierungsmodelle in angepasster Form zurück, um das simultane Annahme- und Einplanungsproblem der einzelnen Anfragen zu lösen. Der Ansatz ermöglicht es, dass die Regenerationsdienstleister ihre Gesamtdeckungsbeiträge im Vergleich zu etablierten Ansätzen steigern können und dabei gleichzeitig die Kundenanforderungen erfüllen.

<sup>5</sup>Vgl. Eickemeyer und Herde (2012), S. 762-764.

<sup>6</sup>Vgl. Rehkopf (2006), S. 1-2, und Hintsches (2012), S. 3.

## 1.2 Aufbau der Arbeit

Zum Beginn der Arbeit beschreibt das Kapitel 2 die Spezifika komplexer Investitionsgüter und die Rahmenbedingungen ihrer Regeneration. Darauf aufbauend erfolgt die Charakterisierung der Entscheidungssituation der Auftragsannahme sowie der betriebswirtschaftlichen Problemstellung.

Das Kapitel 3 bildet das methodische Fundament der Arbeit. Es erläutert das Revenue Management als Konzept für die Unterstützung bei Auftragsannahmeentscheidungen. Im Anschluss an die Präsentation der RM-Grundlagen wird diskutiert, ob die Voraussetzungen für den erfolgreichen RM-Einsatz auch im Regenerationskontext gegeben sind. Die wesentlichen Instrumente des RMs werden präsentiert und eine Bid-Preis-basierte Kapazitätssteuerung eingeführt. Das Kapitel endet mit der Analyse bestehender Ansätze, die sich mit verwandten Problemstellungen befassen. Die Untersuchungen zielen darauf ab, diese Ansätze auf ihre Übertragbarkeit in Bezug auf die dieser Arbeit zugrunde liegenden Aufgabenstellung zu überprüfen. Abschließend erfolgt die Definition der Forschungslücke.

Das Kapitel 4 entwickelt sukzessive Entscheidungsmodelle, die die Anforderungen der Entscheidungssituation im Regenerationsumfeld berücksichtigen. Die Modelle bilden die Grundlage der neu zu entwickelnden Annahmesteuerungen. In Abhängigkeit der Steuerungsart weisen die Modelle unterschiedliche Eigenschaften und Bestandteile auf.

Gegenstand des Kapitels 5 ist die Entwicklung der Bid-Preis-Ansätze sowie der Referenzverfahren zur Überprüfung deren Lösungsgüte und Leistungsfähigkeit. Zunächst wird die Generierung der Bid-Preise (BP) für die erneuerbaren Kapazitäten sowie die reparierfähigen und einsatzbereiten Einzelteile vorgestellt. Anschließend wird die Berechnung der anfragenspezifischen Opportunitätskosten mithilfe der Bid-Preise der verschiedenen Ressourcenarten dargelegt. In Abhängigkeit der BP-Aktualisierungsfrequenz sowie der Einplanungsflexibilität hinsichtlich des Regenerationsmodus und der Startperiode ergeben sich vier BP-Ansätze.

Das Kapitel 6 umfasst die numerischen Experimente für die Analyse der Vorteilhaftigkeit und Lösungsgüte der entwickelten Bid-Preis-basierten Auftragsannahmesteuerungen. Ausführliche Sensitivitätsanalysen geben detaillierte Einblicke in die Lösungsstrukturen der verschiedenen Algorithmen. Die Betrachtung der Struktur der Bid-Preise der erneuerbaren sowie nicht-erneuerbaren Ressourcen runden die Untersuchungen ab.

Das abschließende Kapitel 7 enthält die Zusammenfassung und kritische Würdigung der Arbeit. Zukünftige Forschungspotenziale sowohl aus methodischer als auch praktischer Sicht lassen sich zu guter Letzt aufzeigen.

Die Abbildung 1.1 fasst Inhalt, Zielsetzung und Vorgehen der Arbeit zusammen.

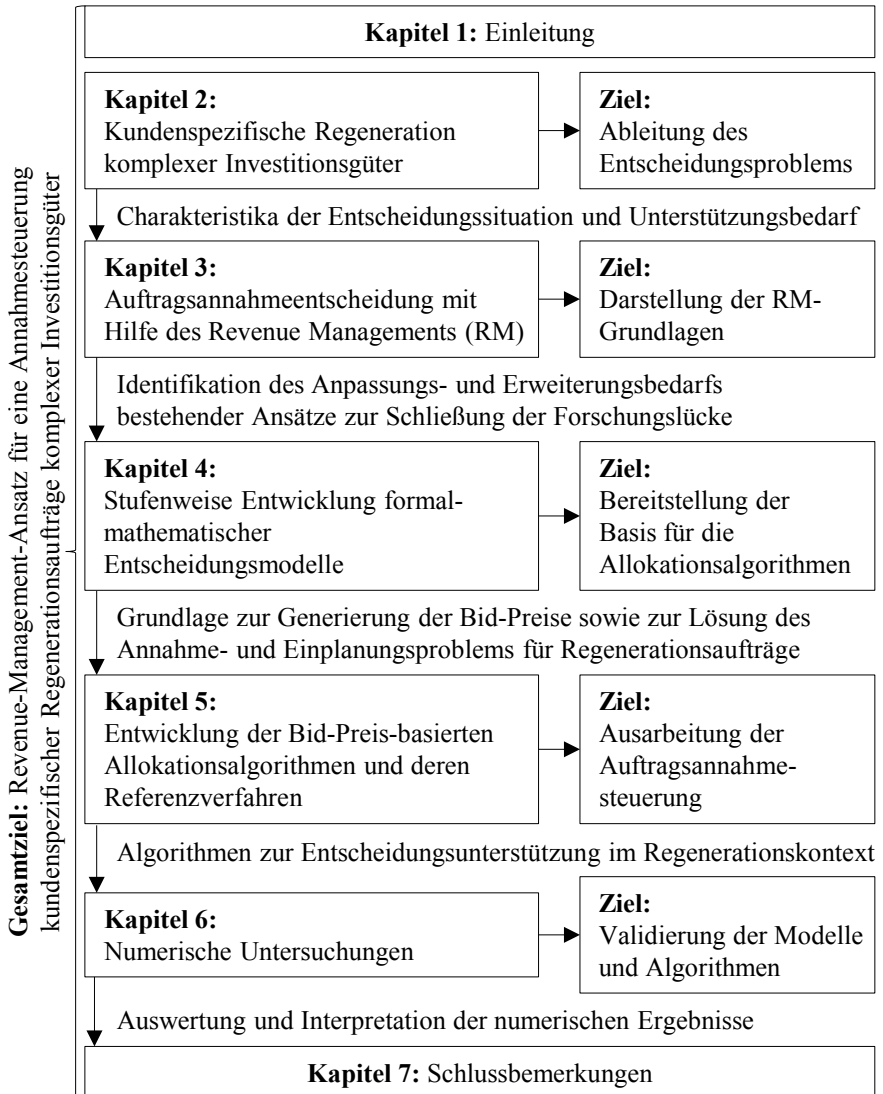


Abbildung 1.1: Zielsetzung und Vorgehen der vorliegenden Arbeit

## 2 Kennzeichnung der kundenspezifischen Regeneration komplexer Investitionsgüter

### 2.1 Spezifika komplexer Investitionsgüter

In der Literatur existieren vielfältige Definitionen des Begriffs der Investitionsgüter, ohne dass sich bislang eine einheitliche Definition etablieren konnte. Als Investitionsgüter gelten im Folgenden solche Güter, die Organisationen als wesentliche Voraussetzung ihrer betrieblichen Leistungserstellung beschaffen. Charakteristisch für Investitionsgüter ist die dauerhafte Nutzbarkeit und ihr hoher Wert im Vergleich zu den für ihre Erstellung verwendeten Materialien. Sie unterscheiden sich daher von jenen Gütern, die Endkunden erwerben, um diese direkt zu ge- oder verbrauchen.<sup>7</sup>

Güter lassen sich anhand verschiedener Kriterien, wie zum Beispiel ihrer Komplexität, in unterschiedliche Klassen einteilen.<sup>8</sup> Der Aufbau, die funktionalen Eigenschaften und die Wechselwirkungen mit anderen Objekten kennzeichnen u. a. den Grad der Komplexität der Güter. Investitionsgüter sind komplex, da sie aus einer Vielzahl unterschiedlicher Komponenten und Materialien bestehen und eine erhebliche Untergliederung in Module und Baugruppen (Haupt- und Unterbaugruppen) bis hin auf Einzelteilniveau aufweisen. Stücklisten komplexer Investitionsgüter sind daher tief und breit strukturiert. Die Komponenten besitzen diverse technische und funktionale Wechselwirkungen untereinander sowie mit den Einsatz- und Umgebungsbedingungen.<sup>9</sup>

Komplexe Investitionsgüter ermöglichen vielfältige, differenzierte Funktionen bedingt durch das Zusammenspiel unterschiedlicher Wirk- und Funktionsprinzipien, die u. a. mechanischer, elektrischer, elektronischer, thermodynamischer, hydraulischer und/oder pneumatischer Natur sein können.<sup>10</sup> Beispiele für komplexe Investitionsgüter sind folglich Werkzeugmaschinen, Druckmaschinen, Windenergieanlagen, dieselmotorische Lokomotiven, stationäre Turbomaschinen und Flugzeugtriebwerke. Der Anhang A betrachtet das Flugzeugtriebwerk als Beispiel eines komplexen Investitionsguts detaillierter.

<sup>7</sup>Vgl. Hofmann et al. (2012), S. 10, und Eickemeyer (2014), S. 8.

<sup>8</sup>Vgl. Hofmann et al. (2012), S. 10, und Eickemeyer (2014), S. 8.

<sup>9</sup>Vgl. Lohse (2002), S. 30, und Aschenbruck et al. (2011), S. 11.

<sup>10</sup>Vgl. Lohse (2002), S. 30, und Aschenbruck et al. (2011), S. 11.

## 2.2 Spezifika der Regeneration

### 2.2.1 Grundlagen der Regeneration

Der Begriff „Regeneration“ wird in der neueren deutschen Fachliteratur neben der Bezeichnung „Instandhaltung“ verwendet. Dieser umfasst das Konservieren, Wiederherstellen und ggf. Verbessern der funktionalen Eigenschaften im Kontext von komplexen, hochwertigen Investitionsgütern.<sup>11, 12</sup> Die Regeneration weist eine enge Verwandtschaft zur Instandhaltung auf, die sich nach DIN-Norm 31051 in die Grundmaßnahmen Wartung, Inspektion, Instandsetzung und Verbesserung aufschlüsselt.<sup>13</sup> Unterschiede sind hinsichtlich der Zielsetzung beider Begriffe festzustellen. Während die (Anlagen-)Instandhaltung darauf zielt, die Nutzungsdauer und damit den Lebenszyklus zu verlängern, strebt die Regeneration an, neue Lebenszyklen zu kreieren.<sup>14, 15</sup>

Daneben weist die Regeneration eine enge Verwandtschaft mit der Aufarbeitung (Remanufacturing) von Produkten auf.<sup>16</sup> Während des Aufarbeitens erfolgt die Zerlegung der gebrauchten Produkte bis auf Modul-, Baugruppen- und/oder Einzelteilebene. Anschließend werden die Komponenten gereinigt, inspiziert und – sofern möglich – repariert oder ersetzt. Abschließend finden die Remontage der Komponenten und der Funktionstest statt. Die aufgearbeiteten Produkte genügen danach den Qualitätsansprüchen von Neuprodukten. In manchen Fällen ist die Verbesserung der Qualität gegenüber dem ursprünglichen Zustand durch „Upgrading“ möglich.<sup>17</sup>

Der Hauptunterschied zwischen Regeneration und Aufarbeitung ist darin zu sehen, dass der ursprünglichen Definition folgend die Produkte im Rahmen der Aufarbeitung überwiegend für einen Markt mit anonymen Kunden wiederhergestellt werden<sup>18</sup> und dies tendenziell im Zusammenhang mit Konsumgütern stattfindet. Dagegen bleiben Kunden von Regenerationsdienstleistungen Eigentümer der Investitionsgüter.<sup>19</sup>

<sup>11</sup> Vgl. Eickemeyer (2014), S. 9, und Eickemeyer et al. (2010), S. 323.

<sup>12</sup> Vgl. dazu z. B. DFG-Sonderforschungsbereich 871 „Regeneration komplexer Investitionsgüter“; <http://www.sfb871.de>.

<sup>13</sup> Vgl. DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (2012), DIN-Norm 31051.

<sup>14</sup> Vgl. Steinhilper (1999), S. 28.

<sup>15</sup> Zusätzlich strebt die Regeneration an, Verbesserungen der funktionalen Eigenschaften zu realisieren, wie beispielsweise Effizienzsteigerungen, was so nicht explizit von der Definition von „Verbesserung“ nach DIN-Norm 31051 (Abschnitte 4.1.5, 4.2.1 und 4.5.1) erfasst wird.

<sup>16</sup> Vgl. Steinhilper (1999), S. 28–30.

<sup>17</sup> Vgl. Lund (1983), S. 1, Thierry et al. (1995), S. 119, und Guide (2000), S. 467–468.

<sup>18</sup> Vgl. Steinhilper (1999), S. 28.

<sup>19</sup> Vgl. Herde (2013), S. 7.