



# Auftragsannahme- und Lagerhaltungsentscheidungen bei auftragsbezogenen Instandhaltungsprozessen

Masterarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades  
„Master of Science (M.Sc.)“ im Studiengang  
Wirtschaftswissenschaft

der Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät  
der Leibniz Universität Hannover

vorgelegt von

**Robert Matern**

geb. am 7. März 1987 in Tschimkent  
(Matrikel-Nr. 2798160)

**Erstprüfer: Prof. Dr. Stefan Helber**

Hannover, den 11. September 2015

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>iv</b>
<b>Symbolverzeichnis</b>	<b>v</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>vi</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>vii</b>
<b>Vorwort</b>	<b>1</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>2</b>
1.1 Problemstellung . . . . .	2
1.2 Zielsetzung . . . . .	3
1.3 Aufbau der Arbeit . . . . .	4
<b>2 Grundlagen zu auftragsbezogenen Instandhaltungsprozessen</b>	<b>7</b>
2.1 Einordnung in die Produktionswirtschaft und die Begriffsbestimmung	7
2.2 Charakteristika . . . . .	10
2.3 Relevanz für betriebliche Entscheidungen . . . . .	12
<b>3 Das Konzept des Revenue Managements bei der Annahme von Aufträgen</b>	<b>16</b>
3.1 Herkunft des Revenue Managements . . . . .	16
3.2 Anwendungsvoraussetzungen und Instrumente des Revenue Managements . . . . .	17
3.3 Mathematische Modellformulierung des Revenue Managements beim Entscheidungsproblem der Auftragsannahme von Instandhaltungsprozessen . . . . .	19
<b>4 Bestehende Ansätze zur Annahme von Auftragsproduktion und Instandhaltungsprozessen</b>	<b>23</b>
4.1 Review 1 . . . . .	23
4.2 Review 2 . . . . .	23

---

4.3	Review 3 . . . . .	23
4.4	Review 4 . . . . .	23
<b>5</b>	<b>Ein exaktes Lösungsverfahren zur Auftragsannahme- und Lagerhaltungsentscheidung bei auftragsbezogenen Instandhaltungsprozessen</b>	<b>24</b>
5.1	Mathematische Modellformulierung zur Auftragsannahme- und Lagerhaltungsentscheidung bei auftragsbezogenen Instandhaltungsprozessen . . . . .	24
5.2	Implementierung mittels IPython Notebook . . . . .	24
5.3	Numerische Untersuchung . . . . .	24
<b>6</b>	<b>Schlussbemerkung</b>	<b>25</b>
	<b>Anhang</b>	<b>26</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>27</b>

# Abkürzungsverzeichnis

APS	Advanced Planning and Scheduling Systeme
ATO	Assemble-to-Order (engl. Begriff für kundenindividuelle Fertigung mit standardisierten Komponenten)
DLP	Deterministisch-lineares Programm
DP	Dynamisches Programm zur Annahme von Aufträgen
DP-storage	Dynamisches Programm zur Annahme von Aufträgen unter Beachtung von Lagerbeständen
GE	Geldeinheiten
MRO	Maintenance-Repair-and-Overhaul (engl. Begriff für Instandhaltungsprozess)
MTO	Make-to-Order (engl. Begriff für Auftragsfertigung)
MTS	Make-to-Stock (engl. Begriff für Lagerfertigung)
OK	Opportunitätskosten
RM	Revenue Management
SCM	Supply Chain Management (engl. Begriff für Wertschöpfungslehre)
u. B. d. R.	unter Berücksichtigung der Randbedingungen

# Symbolverzeichnis

$\mathbf{a}_m$	Vektor des Ressourcenverbrauchs im Ausführungsmodus $m$
$a_{hm}$	Verbrauch der Ressource $h$ im Ausführungsmodus $m$
$\mathbf{c}$	Vektor der Ressourcenkapazität
$c_h$	Kapazität der Ressource $h$
$D_{jt}$	Aggregierte erwartete Nachfrage nach Produkt $j$ zur Periode $t$
$h$	Ressource aus der Menge $\mathcal{H}$
$\mathcal{H}$	Menge an Ressourcen
$i$	Produkt-Ressourcen-Kombination aus der Menge $\mathcal{I}$
$\mathcal{I}$	Gesamtmenge an möglichen Kombinationen von Produkten und Ressourcen
$j$	Produkt aus der Menge $\mathcal{J}$
$\mathcal{J}$	Menge an Produkten
$m$	Ausführungsmodus aus der Menge $\mathcal{M}_j$
$\mathcal{M}_j$	Menge an produktspezifisch-möglichen Ausführungsmodi für ein Produkt $j$
$\pi_h$	Bid-Preis der Ressource $h$
$p_j(t)$	Wahrscheinlichkeit der Nachfrage nach Produkt $j$ in Periode $t$
$r_j$	Erlös des Produkts $j$
$t$	Periode des Buchungshorizonts $T$
$\tau$	Endperiode $t = 1$ im Buchungshorizont $T$
$T$	Buchungshorizont
$V(\mathbf{c}, t)$	Ertragsfunktion in Abhängigkeit der Kapazitäten $\mathbf{c}$ in der Periode $t$
$V(c_{h'}, t)$	Ertragsfunktion in Abhängigkeit der Kapazität $c_{h'}$ in der Periode $t$
$x_{jm}$	Anzahl der akzeptierten Anfragen nach Produkt $j$ im Ausführungsmodus $m$

# Tabellenverzeichnis

1	Beispiel einer Produkt-Ressourcen-Matrix . . . . .	21
---	--	----

# Abbildungsverzeichnis

1	Grafische Darstellung der Gliederung der Arbeit . . . . .	5
2	Grafische Veranschaulichung eines Wertschöpfungsprozesses . . . .	9



# Vorwort

# 1 Einleitung

## 1.1 Problemstellung

Die Entscheidung über die Annahme von Kundenaufträgen zur Instandsetzung von Gütern ist von zentraler Bedeutung von produzierenden Unternehmen. Einem Unternehmen, das zusätzlich zur Produktion die Instandsetzung ihrer Güter anbietet, stellt sich die Frage, ob eine Reparatur des Gutes wirtschaftlich ist. Abhängig des eingehenden Kundenauftrags, indem der Zustand des Gutes beschrieben ist, durch den die notwendigen Prozessschritte zur Instandsetzung des Gutes abgeleitet werden können, generiert der Dienstleister unterschiedliche Erträge. Diese Prozessschritte zur Instandsetzung des Gutes geben zusätzlich den notwendigen Ressourcenbedarf für die auszuführende Dienstleistung an, die notwendig sind, um das Gut in seinen ursprünglichen bzw. geforderten Zustand zu versetzen. Ressourcen zur Instandsetzung von Gütern können z. B. Material oder Personalstunden sein. Abhängig des möglichen Ertrags und des für den Auftrag notwendigen Ressourcenbedarfs muss das produzierende Unternehmen die Entscheidung über Annahme oder Ablehnung des Kundenauftrags treffen. Sofern nur der einfache Fall betrachtet wird, bei dem nur der einzelne Kundenauftrag zur Auswahl steht, ist die Entscheidung für den Dienstleister einfach getroffen. Der Kundenauftrag wird angenommen, sofern der Aufwand des Ressourceneinsatzes niedriger als der erzielte Umsatz ist (sofern von einer Vollkostenrechnung ausgegangen wird). Sofern das Unternehmen eine begrenzte Ressourcenkapazität zur Instandsetzung der Güter besitzt, muss zusätzlich der absolute Ressourcenverbrauch des Auftrags für die Annahmeentscheidung geprüft werden. Mit Annahme des Auftrags ist ein individueller Ertrag erzielt und ein auftragsbezogener Ressourcenverbrauch eingetreten. Nachdem diese Entscheidung getroffen ist, wird der zeitlich darauffolgende Kundenauftrag betrachtet.

Für die Entscheidung über die Annahme oder Ablehnung eines Kundenauftrags (KA) zur Instandhaltung von Gütern bedarf es einer umfassenderen Betrachtung

als nur die kurzsichtige Entscheidung über die Annahme einzelner Aufträge. Angenommen ein Reparaturdienstleister besitzt ein bestimmtes Kontingent an unterschiedlichen Ressourcen über einen bestimmten Zeitraum zur Erfüllung seiner angebotenen Dienstleistung. In diesem betrachteten Zeitraum treffen jetzt unterschiedliche Kundenaufträge mit unterschiedlicher Wertigkeit ein. Zur Maximierung seiner Erträge über diesen Zeitraum kann es sinnvoll sein, unter Beachtung der vorhanden knappen Ressourcenkapazität Anfragen mit niedrigem Ertrag abzulehnen, sofern im weiteren Verlauf des betrachteten Zeitraums Aufträge mit höherem Ertrag eintreffen.

Eine weitere Alternative wäre es für das produzierende Unternehmen das zu reparierende Gut mit ein neuwertiges Gut auszutauschen. Dies macht vor allem Sinn, wenn die Reparatur des Auftrags mehr Kosten verursacht, als ein neuwertiges Gut in der Produktion kostet. Hier handelt es sich um die Entscheidung, ob der Auftrag mittels einer Entnahme des Lagerbestandes an bereits produzierten Gütern befriedigt werden soll. Auch hier kann zwischen einer kurz- und langfristigen Sichtweise unterschieden werden. Die kurzfristige Sichtweise bezieht sich nur auf das Verhältnis zwischen Reparatur- und Produktionskosten des auftragsbezogenen Gutes. Bei der langfristigen Sichtweise wird der Lagerbestand über einen längeren Zeitraum betrachtet. Sofern in der nahen Zukunft viele Aufträge über neue Produkte eintreffen, dann ist es für das betrachtete Unternehmen ertragsmaximierender das Gut zu reparieren, damit alle Aufträge erfüllt werden.

## 1.2 Zielsetzung

In dieser Arbeit wird ein mathematisches Modell zur Annahmeentscheidung eines Auftrags zur Instandhaltung eines Gutes durch die Entscheidung über eine mögliche Reparatur oder der Entscheidung der Lagerhaltung getroffen. Durch Annahme der Entscheidung zur Lagerhaltung des defekten Gutes wird dieses in die Lagerhaltung des Reparaturdienstleisters übernommen und durch ein bereits repariertes Gut ausgetauscht. Das reparierte Gut entspricht den vom jeweiligen Auftrag geforderten Instandhaltungszustand. Anders formuliert bedeutet dies, dass das produzierende Unternehmen nicht nur die Entscheidungsmöglichkeit über die Instandsetzung des Gutes hat, sondern auch die Möglichkeit hat in Abhängigkeit des verfügbaren Lagerbestandes bereits reparierte Güter zur Befriedigung der Kundenaufträge zu verwenden.

Bei der Problemformulierung der Auftragsannahmeentscheidung bei auftragsbezogenen Instandhaltungsprozessen handelt es sich um ein stochastisch-dynamisches Optimierungsmodell. Das Optimierungsmodell muss demnach die Entscheidung treffen, ob die Auftragsannahme zur Instandsetzung des Gutes, die Lagerhaltung des defekten Gutes sowie die Herausgabe eines bereits reparierten Gutes oder die Ablehnung des Kundenauftrags erfolgen soll. Diese Entscheidung erfolgt in Abhängigkeit der verfügbaren restlichen Ressourcenkapazitäten, die zur Instandsetzung der Güter notwendig sind, des aktuell-vorhandenen Lagerbestandes der bereits reparierten Güter und der noch potentiell eintreffenden Anfragen zur Instandhaltung von Gütern.

Zur Formulierung des Problems wird das Konzept des Revenue Managements aufgegriffen. Es handelt sich ursprünglich um ein Konzept zur Auftragsannahme von freien Sitzplätzen von Passagierflugzeugen. Das Grundmodell wird zur Annahme von Kundenaufträgen bzw. -anfragen von Dienstleistungsunternehmen mit beschränkten Ressourcenkapazitäten verwendet. Damit lässt sich die mathematische Darstellung des Optimierungsmodells der Auftragsannahme- und Lagerhaltungsentscheidungen bei auftragsbezogenen Instandhaltungsprozessen als *dynamische Programmierung (DP)* formulieren. Die Aufgabe des DP ist laut Talluri und van Ryzin (2004b) die Entscheidungsfindung zu unterstützen, damit der Gesamtertrag des Dienstleisters maximiert wird. Der Gesamtertrag wird bewertet in Geldeinheiten (GE).

Die Zielsetzung der Arbeit ist demnach das Grundmodell des Revenue Managements zur Annahme von Kundenaufträgen mit der Möglichkeit der Entscheidung der Lagerhaltung der Güter zu erweitern. Zusätzlich zur konzeptionellen Darstellung des hier betrachteten Auftragsannahmeproblems wird ein Algorithmus entwickelt, welches vorformulierte Beispielszenarien exakt löst. Damit lässt sich numerisch untersuchen, welche Möglichkeiten sich durch die Betrachtung einer Lagerhaltung in der Auftragsannahme von auftragsbezogenen Instandhaltungsprozessen für Unternehmen ergeben.

## 1.3 Aufbau der Arbeit

Der Aufbau der Arbeit ist in der Grafik 1 dargestellt. Im Kapitel 2 wird vorerst der Begriff der auftragsbezogenen Instandhaltungsprozessen definiert und deren

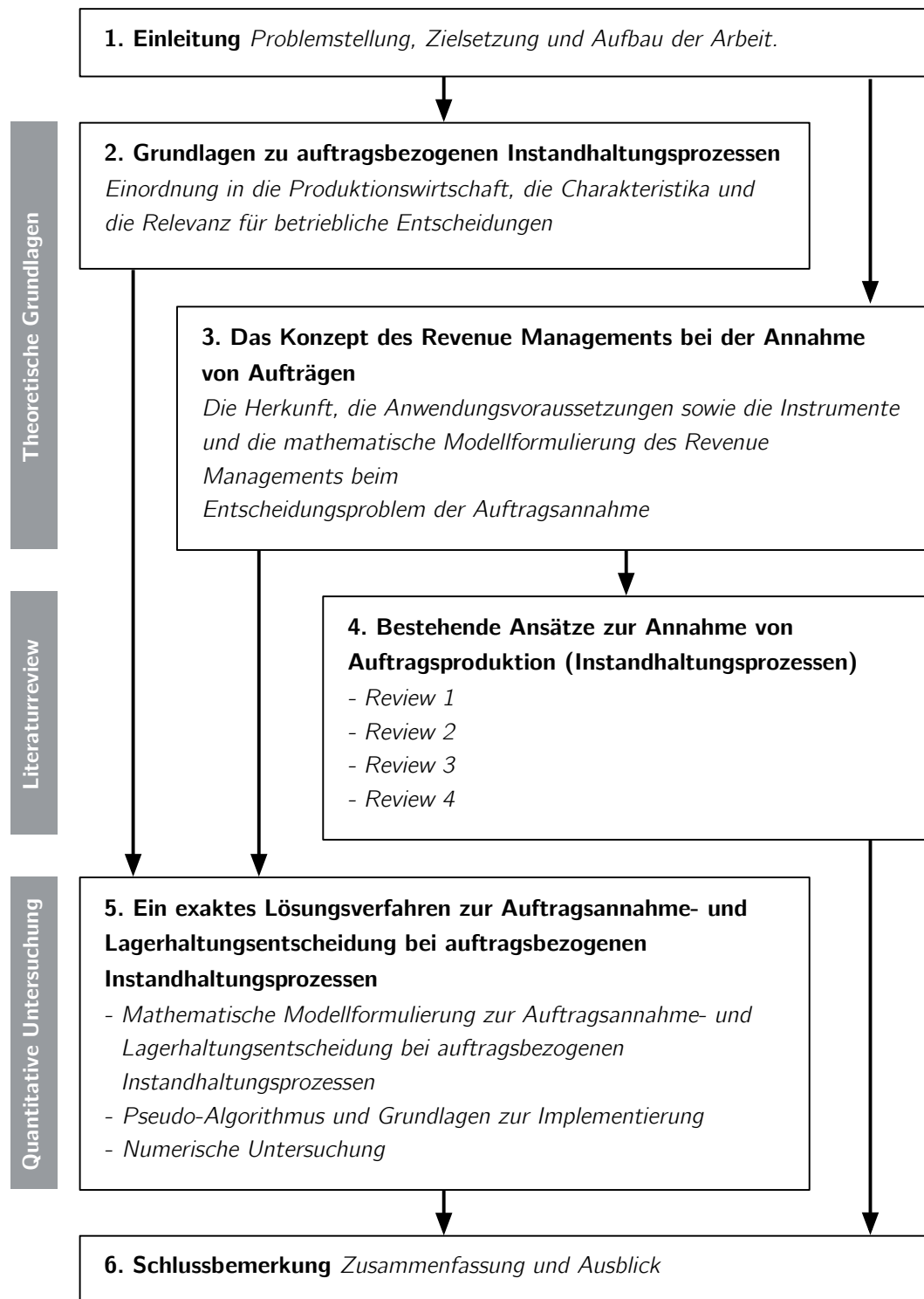


Abbildung 1 Grafische Darstellung der Gliederung der Arbeit

theoretische Grundlagen beschrieben. Der Begriff wird in diesem Kapitel in die Produktionswirtschaft eingeordnet, sowie die Charakteristika und die Relevanz für betriebliche Entscheidungen der auftragsbezogenen Instandhaltungsprozessen wer-

den beschrieben. Weiter wird im Kapitel 3 die theoretischen Grundlagen der Arbeit vervollständigt, indem das Konzept des Revenue Management bei der Annahme von Aufträgen vorgestellt wird. In diesem Kapitel wird auf die Herkunft des Konzepts eingegangen. Für das Konzept bestehen Anwendungsvoraussetzungen und Instrumente, die in dem Kapitel beschrieben werden. Des Weiteren wird für das Grundmodell des Revenue Managements die mathematische Modellformulierung dargestellt.

Im Anschluss wird im Kapitel 4 ein Literaturüberblick über bestehende Ansätze zur Annahme von Auftragsproduktion und Instandhaltungsprozessen aufgeführt. Es werden hier vier Ansätze näher betrachtet, die den Fokus auf eine heuristische Lösung des Auftragsannahmeproblems legen.

Das Kapitel 5 zeigt die quantitative Untersuchung der Erweiterung des Grundmodells mit der Entscheidung über eine Lagerhaltung auf. Zum einen wird die mathematische Modellformulierung und zum anderen wird ein Pseudo-Algorithmus zum exakten Lösen der Problemstellung beschrieben. Weiter werden die Grundlagen zur Implementierung des Pseudo-Algorithmus genannt. Im letzten Teil des Kapitels wird auf die numerische Untersuchung eingegangen.

Im letzten Kapitel sind die Schlussbemerkungen dieser Arbeit dargestellt. Es handelt dabei um eine Zusammenfassung und um einen Ausblick.

## 2 Grundlagen zu auftragsbezogenen Instandhaltungsprozessen

### 2.1 Einordnung in die Produktionswirtschaft und die Begriffsbestimmung

Unter auftragsbezogenen Instandhaltungsprozessen (engl. maintenance-repair-and-overhaul (MRO)) wird in dieser Arbeit als ein nachgelagerter Prozess einer erweiterten Leistungserstellung verstanden und ist ein Teilsystem eines Unternehmens, welches den gesamten Wertschöpfungsprozess verlängert. Es handelt sich nicht um die interne oder beauftragte Instandhaltung von u. a. technischen Systemen, sondern um eine Erweiterung des Produktionsprogramms eines Unternehmens. Im weiteren Verlauf dieser Arbeit wird daher von MRO-Prozessen gesprochen. Da es bei MRO-Prozessen um eine Produktion einer Leistung handelt, werden diese der betriebswirtschaftlichen Betrachtung der Produktionswirtschaft zugeordnet.

Bei dem Begriff der Produktionswirtschaft handelt sich um ein Teilgebiet der Betriebswirtschaftslehre.<sup>5</sup> In der Produktionswirtschaft wird der Fokus auf die Produktion von Leistung gelegt. Bei diesem ökonomischen Konzept wird die Transformation von materiellen und nichtmateriellen Inputgütern (Produktionsfaktoren) hin zu gewünschten Outputgütern (Leistung des Unternehmens) betrachtet. Bei den im Laufe der Zeit erweiterten betriebswirtschaftlichen Produktionsfaktoren nach Gutenberg (1959, S. 71) handelt es sich um die Elementarfaktoren Werkstoffe, Betriebsstoffe, Betriebsmittel und objektbezogene humane Arbeitsleistung sowie um die dispositiven Faktoren Betriebsführung, Organisation und Planung.<sup>6</sup> Bei Outputgütern handelt es sich um Produkte in Form von Sach- oder Dienstleistungen die dem Markt und somit der potentiellen Nachfrage der Marktteilnehmer

---

<sup>5</sup>Neben der Teilgebiete Finanzwirtschaft, Marketing, Unternehmensführung, Unternehmensrechnung etc., vgl. dazu Dyckhoff und Spengler (2010), S. 3.

<sup>6</sup>???

zur Verfügung gestellt werden.<sup>7</sup> Die Transformation erfolgt durch bestimmte von Menschen veranlasste unternehmerischen Verfahrensweisen.<sup>8</sup> Beispielsweise kann hier die industrielle Fertigung von Verbrauchs- oder Gebrauchsgütern genannt werden.

Bei der Transformation der Inputgüter erfolgt eine qualitative, quantitative, räumliche oder zeitlichen Veränderung der Objekte.<sup>9</sup> Durch diese Veränderung kann seitens des Unternehmens eine Leistung auf dem Markt angeboten werden. Damit diese Leistung den Absatz bei potentiellen Konsumenten findet, muss die Leistung durch die Transformation eine Wertschöpfung erhalten. Der konzeptionelle Rahmen dieses Gedankens bildet die Wertschöpfungslehre (engl. supply chain management (SCM)).<sup>10</sup> Danach sollte das Ziel eines jeden Unternehmens das Betreiben von Wertschöpfung sein.<sup>11</sup> In der klassischen Auffassung der Wertschöpfungslehre durchläuft die Leistungserstellung alle (Teil-)Systeme des Unternehmens.<sup>12</sup> Abbildung 2 zeigt in Teil a eine mögliche Abfolge der Systeme eines Unternehmens. Eine klassische Abfolge zur Leistungserstellung bzw. der Transformation von Inputgütern hin zu Outputgütern ist die Abfolge der Systeme Forschung/Entwicklung, Beschaffung, Produktion, Distribution sowie Verkauf. Damit ist die um die Wertschöpfung erhöhte Leistung auf dem Markt angekommen und das Unternehmen erzielt damit i. d. R. einen Ertrag.

Sofern das Unternehmen eine **Instandhaltung** bzw. einen MRO-Prozess als Leistungen anbieten kann, wird die Abfolge des Wertschöpfungsprozesses um dieses Unternehmenssystem erweitert. Für den gewerblichen Verkauf von Gütern an Privatkunden können gesetzliche Regelungen bestehen, womit ein Unternehmen gezwungen ist das Unternehmenssystem der Instandhaltung in den Wertschöpfungsprozess aufzunehmen.<sup>13</sup> Andererseits kann ein Unternehmen auch die Instandhaltung seiner eigenen Güter als eigenständig angebotene Leistung bereitstellen und damit den Gesamtertrag des Unternehmens erhöhen (MRO-Prozess). Dieses wird oft von Unternehmen angeboten, die ihren Umsatz mit komplexen Produkten erzielen. Komplexe Produkte zeichnen sich durch ihre hohe Anzahl an hochtechnologischen Komponenten aus, die erst durch den vollständigen und meist kostenintensiven

---

<sup>7</sup>Vgl. Schmidt (2012), S. 1.

<sup>8</sup>Vgl. Tempelmeier und Günther (1994), S. 6, echt????

<sup>9</sup>Vgl. Dyckhoff und Spengler (2010), S. 3.

<sup>10</sup>Vgl. ?, S. ??.

<sup>11</sup>Vgl. ?, S. ??.

<sup>12</sup>???

<sup>13</sup>Vgl. die Richtlinie 1999/44/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Mai 1999 zu bestimmten Aspekten des Verbrauchsgüterkaufs und der Garantien für Verbrauchsgüter.



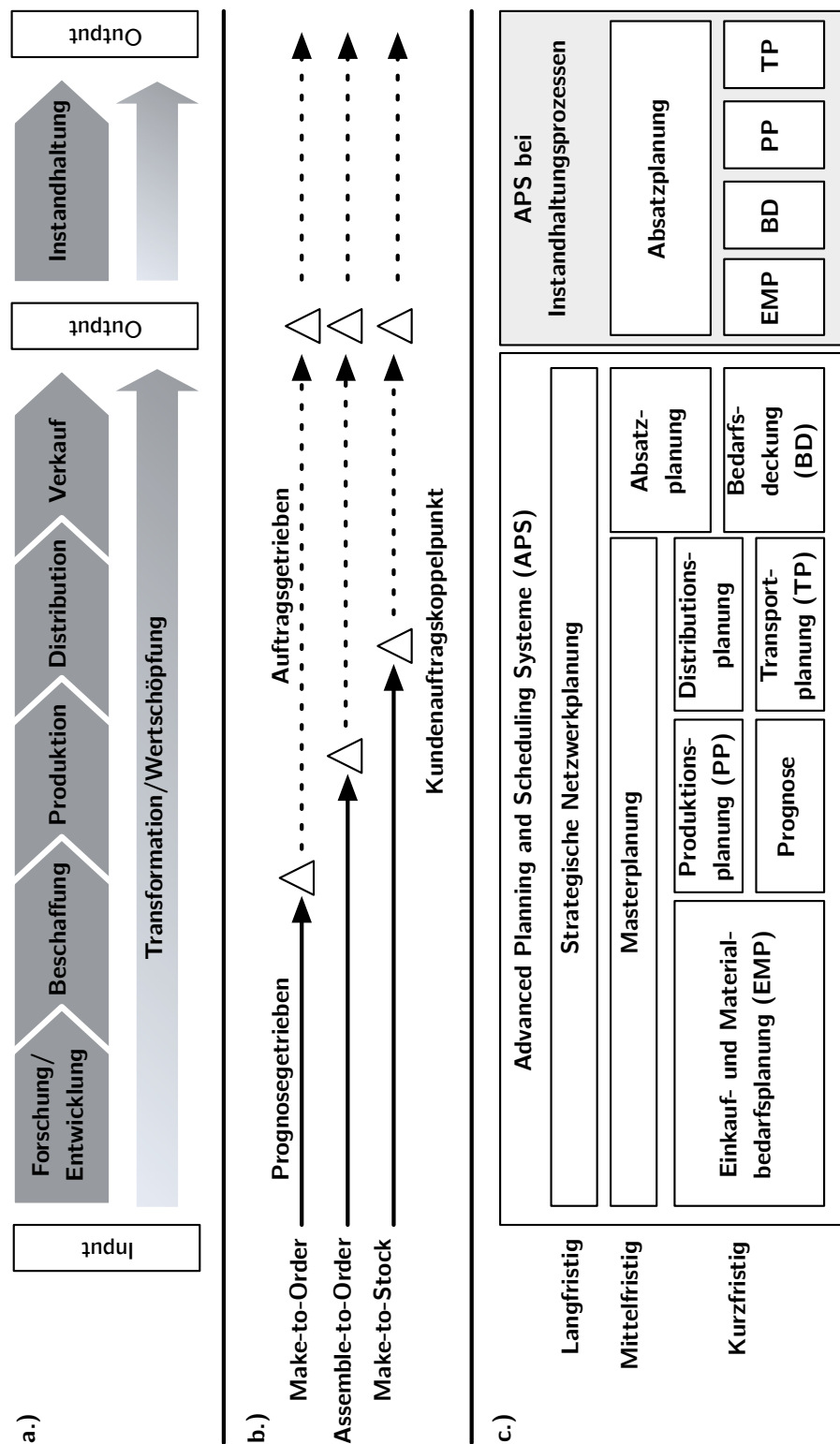


Abbildung 2 Grafische Veranschaulichung eines Wertschöpfungsprozesses

In Anlehnung an: Bach et al. (2012), S. 4-5; Quante (2009), S. 21-22; Meyr et al. (2015), S.

Zusammenschluss eine individuelle Bedürfnisbefriedigung des Nachfragers ermöglichen.<sup>14</sup> In dieser Arbeit werden solche komplexen Produkte betrachtet, die aus einer Vielzahl von Komponenten bzw. Ressourcen bestehen.

Helbing versteht unter Instandhaltung die „Gesamtheit der technischen und organisatorischen Mittel, Vorgänge und Maßnahmen zur Erhaltung, Verbesserung und Wiederherstellung des Funktions-, Leistungs- und Güteniveaus von materiellen Objekten während ihrer Wirkungs- und Lebenszeit durch Wartung, Inspektion und Instandsetzung.“<sup>15</sup> In dieser Arbeit ist mit dem Begriff der MRO-Prozesse gemeint, dass für die betrachteten komplexen Produkte ein spezifischer Ausführungsmodus für die Anfragen verwendet wird, der eine erneute Integration von produkt-spezifischen Ressourcen vorsieht, damit die Funktionsfähigkeit des Produkts (Leistung) wiederhergestellt ist. Damit lässt sich das Verständnis des Begriffs als Leistung eines Unternehmens und als Unternehmenssystem ableiten, welches die Verlängerung und zugleich als Erweiterung des Wertschöpfungsprozesses versteht.

## 2.2 Charakteristika

Nach der DIN 310511 wird Instandhaltung insofern ausgeführt, wenn die Funktionsfähigkeit Betrachtungseinheit sichergestellt werden muss, damit der ursprüngliche Wert erhalten bleibt.<sup>16</sup> Betrachtungseinheit können ganze Anlagen und Maschinen sein oder nur einzelne Komponenten.<sup>17</sup>

Erläuterung nach DIN 31051:<sup>18</sup>

- Instandhaltung ist die Kombination aller technischen und administrativen Maßnahmen des Managements während des Lebenszyklus einer Betrachtungseinheit zur Erhaltung des funktionsfähigen Zustandes oder der Rückführung in diesen, so dass sie die geforderte Funktion erfüllen kann.
- Als Betrachtungseinheit (BE) wird jedes Bauelement, Gerät, Teilsystem, jede Funktionseinheit, jedes Betriebsmittel oder System, das für sich allein

---

<sup>14</sup>Vgl. Schmidt (2009), S. 97

<sup>15</sup>Vgl. Helbing, S. 984

<sup>16</sup>Vgl. Strunz (2012), S. 1.

<sup>17</sup>Vgl. Ryll und Freund (2010), S. 23.

<sup>18</sup>Unbedingt nachlesen!!!!

betrachtet werden kann, definiert.

Nach der DIN 31051 werden Einheiten betrachtet, die eine Wartung, Inspektion, Instandsetzung oder Verbesserung bedürfen.<sup>19</sup> Bei einer Wartung handelt es sich um Maßnahmen zur Verzögerung der Abnutzung. Die Inspektion umfasst alle Maßnahmen der Begutachtung sowie der Beurteilung des Ist-Zustandes einer Betrachtungseinheit und die Instandsetzung beinhaltet die Maßnahmen zur Wiederherstellung des Sollzustands. Mit der Verbesserung sind Maßnahmen gemeint, die den Soll-Zustand der Betrachtungseinheit erweitern, damit mögliche Defekte verhindert werden.

Instandhaltungsprozesse lassen sich weiter nach Ausführungszeitpunkte und des Ausführungsorte der Maßnahmen unterscheiden.<sup>20</sup> Diese Unterscheidung spielt bei der Betrachtung von MRO-Prozessen eine untergeordnete Rolle.

Da der Absatz zeitlich vor der Produktion der Leistung stattfindet, handelt es sich bei dem hier betrachteten MRO-Prozessen um eine Auftragsfertigung.<sup>21</sup> In der Literatur wird für die Auftragsfertigung oft der englischen Begriff *Make-to-Order (MTO)* verwendet. Abzugrenzen ist der Begriff von der Lagerfertigung (engl. *Make-to-Stock (MTS)*) und der kundenindividuellen Fertigung mit standardisierten Komponenten (engl. *Assemble-to-Order (ATO)*). Dies kann zum einen anhand des Kundenauftragskoppelpunkt und zum anderen anhand der Planungsgrundlage der Leistungserstellung getätigt werden. Der Kundenauftragskoppelpunkt zeigt den erstmaligen Kundenkontakt bzw. Auftragseingang auf. Mit Eingang des Kundenauftrags wechselt die Planungsgrundlage der Leistungserstellung von prognosegetriebener hin zu auftragsgetriebener Planung. Die prognosegetriebenen Planungsgrundlage für die Fertigung ist mit einem Prognosefehler für die Wiederauffüllung der Ressourcen behaftet, was der analytischen Betrachtung des Kundenauftragskoppelpunkts zur Bestimmung der notwendigen Ressourcenkapazität und der weiteren Auftragseingänge weiteres Gewicht verleiht.<sup>22</sup>

Bei einer MTO trifft vor der eigentlichen Produktion der Leistung der Kundenauftrag ein. Damit sind die Forschungs/Entwicklung der Leistung und die Beschaffung der Komponenten bzw. Ressourcen hauptsächlich prognosegetrieben. Alle weiteren Teilsysteme des Unternehmens können sich speziell an den Forderungen des

<sup>19</sup>Vgl. Ryll und Freund (2010), S. 23-24

<sup>20</sup>Vgl. Ryll und Freund (2010), S. 24-26; Hinsch (2010), S. 190-191

<sup>21</sup>Vgl. Hax (1956), S. 247; Gutenberg (1965), S. 164-165

<sup>22</sup>Vgl. Quante (2009), S. 21

Auftrags richten. Ähnliche Rahmenbedingung besitzt eine ATO, die den Kunden-auftragskoppelpunkt innerhalb des Produktionsablaufs hat. Da nur ein gewissen Umfang der Komponenten an auftragsspezifischen Eigenschaften angepasst wird, sind die Grundkomponenten der Produkte abhängig der Prognosemethoden des Unternehmens. Bei MTS erfolgt der Auftragseingang erst nach der Produktion, womit diese Fertigungsart den höchsten Anteil des Einsatzes von Prognosemethoden aufweist.<sup>23</sup> Abbildung 2 zeigt im Teil b die Unterschiede der Fertigungsarten im Verlauf des Wertschöpfungsprozesses.

Da bei MRO-Prozessen erst mit Auftragseingang die erforderlichen Produktionsschritte und der Ressourcenbedarf bekannt sind, werden diese mit MTO-Prozessen gleichgesetzt. Zur Erfüllung möglichst vieler Aufträge muss eine möglichst gute Prognose der benötigten Ressourcen vorliegen, damit kurze Liefer- und Durchlaufzeiten gewährleistet bleiben.<sup>24</sup> Sofern die Prognose fehlerhaft ist und ein zu geringer Bestand an Ressourcen vorhanden ist, konkurrieren die unterschiedlich eintreffenden Anfragen nach MRO-Prozessen des Unternehmens bzgl. der Ressourcen untereinander. Sofern ein zu hoher Ressourcenbestand vorhanden ist, stellt sich die Frage über den besten Mix der unterschiedlichen Aufträge, damit die Ressourcenkapazität optimal genutzt wird und dementsprechend der Ertrag maximiert wird. Im nächsten Abschnitt wird dieser Frage in Bezug von Produktionsplanungssystemen und der betrieblichen Entscheidungsfindung weiter nachgegangen.

## 2.3 Relevanz für betriebliche Entscheidungen

Die Entscheidung über die Ausgestaltung des MRO-Prozesses hat eine hohe Relevanz für den Erfolg der angebotenen Leistung sowie der Effizienz des gesamten SCM-Prozesses des Unternehmens und kann der nachhaltigen Konsumentenzufriedenheit dienen. Wichtiger Erfolgsfaktor für ein erfolgreiches SCM und somit der Konsumentenzufriedenheit ist der Einsatz von Advanced Planning and Scheduling Systemen (APS).<sup>25</sup>

Bei APS handelt es sich um computergestützte Systeme, mit denen die Planung der ganzheitlichen Wertschöpfung der Leistung mit Hilfe von mathematischer Mo-

<sup>23</sup>Vgl. Fleischmann und Meyr (2004), S. 300-303; Quante (2009), S. 21-22

<sup>24</sup>Vgl. Thaler (2001), S. 68.

<sup>25</sup>Vgl. Fleischmann und Meyr (2004), S. 298

delle des Operations Research (OR) unterstützt wird.<sup>26</sup> Neben der reinen Planung der Produktion, helfen moderne APS mit ihrem modularen Aufbau auch bei der gesamten Auftragsabwicklung und unterstützen damit Unternehmensteilnehmer bei betrieblichen Entscheidungen innerhalb des SCM-Prozesses, wie z. B. bei dem Einkauf von Ressourcen, der Produktionsplanung und dem Absatz der Leistung.<sup>27</sup> Meyr et al. (2015) sortieren einige wichtige Module eines APS in den Dimensionen des SCM-Prozesses und des Planungshorizonts. Abbildung 2 in Teil c greift diese Sortierung auf. Bei dem Modul der strategischen Netzwerkplanung werden die Lieferanten, Werke und Lagerpunkte in einer langfristigen Betrachtungsweise festgelegt. Die Entscheidungen die Aufgrund der strategischen Netzwerkplanung getroffen werden, haben großen Einfluss auf die langfristige Rentabilität sowie Wettbewerbsposition des Unternehmens und haben räumlichen und zeitlichen Charakter.<sup>28</sup> D. h. das Unternehmen die Planungsmodelle und Entscheidungen aufgrund der strategischen Netzwerkplanung in Bezug auf bestimmte regionale Gegebenheiten und einem vordefinierten Betrachtungszeitraum festlegen.<sup>29</sup> Die Absatzplanung dient einerseits der Absatzprognose und andererseits der Analyse der notwendigen Sicherheitsbestände.<sup>30</sup> Das Modul Masterplanung synchronisiert den Materialfluss entlang des gesamten SCM-Prozesses und unterstützt dadurch mittelfristige Entscheidungen über die effiziente Nutzung der Ressourcen, damit für einen kontinuierlichen Materialfluss größere Puffer gemieden werden.<sup>31</sup> Mit dem Modul der Einkaufs- und Materialbedarfsplanung werden kurzfristig terminierte Pläne für Komponenten und Teile (Ressourcen) für die Fertigung berechnet.<sup>32</sup> Aufbauend auf diesen Plänen kann die Produktionsplanung und die weitere Prognose für die Produktion und Logistik erfolgen, die den organisatorischen Anforderungen des Produktionssystems gerecht werden müssen und einen kurzfristigen Planungshorizont aufweisen.<sup>30</sup> Bei diesen Modulen werden in einer kurzfristigen Betrachtung u. a. die Maschinenverfügbarkeit und die Losgrößen geplant bzw. prognostiziert. Eine effiziente Produktionsplanung setzt eine gute Prognose voraus.<sup>33</sup> Bei den Modulen der Distributions- und Transportplanungen werden die Pläne für die Verkaufsstellen und die Logistik generiert.<sup>30</sup> Zum Abschluss wird das Modul Bedarfsdeckung aufgeführt. Das Modul dient hauptsächlich der Kundenzufriedenheit, indem es die eintreffenden Kundenaufträge auf Realisierbarkeit prüft und die geforderte Liefe-

<sup>26</sup>????? steht eig auch bei Fleischmeyer, aber besser andere Quelle finden...

<sup>27</sup>Vgl. Meyr et al. (2015), S. 99-100; Fleischmann und Meyr (2004), S. 298

<sup>28</sup>Vgl. Goetschalckx und Fleischmann (2005), S. 117-118

<sup>29</sup>Datengrundlage bilden u. a. Prognosen und Wirtschaftstrends.

<sup>30</sup>Vgl. Fleischmann und Meyr (2004), S. 298,

<sup>31</sup>Vgl. Rohde und Wagner (2002), S. 143.

<sup>32</sup>Vgl. Stadtler (2008), S. 217-218.

<sup>33</sup>Vgl. Dickersbach (2004), S. 131.

rung der Leistung zusagt.<sup>30</sup>

Diese Module wurden von Meyr et al. (2015) jedoch im Verhältnis eines typischen SCM-Prozess gesetzt. Es stellt sich die Frage, welche Systeme bei betriebliche Entscheidungen durch Einbeziehung von MRO-Prozessen in den SCM-Prozess relevant sind. Die strategische Netzwerkplanung scheint keinen Einfluss auf MRO-Prozesse zu haben, da diese sich an der Grundleistung des Unternehmens orientiert. Anders formuliert bedeutet dies, dass nur dort eine Instandhaltung der Produkte angeboten wird, wo auch das eigentliche Produkt den Absatz findet. Inwieweit die Masterplanung ebenfalls den Materialfluss von MRO-Prozessen synchronisiert wird in dieser Arbeit nicht betrachtet. Die Distributionsplanung findet keine Relevanz bei MRO-Prozessen, da es sich um Auftragsfertigung handelt.

Bei MRO-Prozessen sind die Module der Absatzplanung, der Einkaufs- und Materialbedarfsplanung, der Produktionsplanung, die Transportplanung und der Bedarfsdeckung relevant. Ein effizientes APS bei MRO-Prozessen muss den erwarteten Absatz bzw. die erwarteten Auftragseingänge mittelfristig gut prognostizieren können. Aufbauend auf dieser Prognose kann eine Einkaufs- und Materialbedarfsplanung erfolgen. Dies erfolgt jedoch kurzfristig, da der Ressourcenbedarf abhängig der Kundenaufträge ist. Anschließend erfolgt bereits die Prüfung der Realisierbarkeit und abhängig dieser die Entscheidung über die Annahme des Auftrags über die Instandsetzung des Produkts mittels des Moduls der Bedarfsdeckung. Anschließend erfolgt die Produktions- und Transportplanung.

In dieser Arbeit wird der Fokus auf die Auftragsannahme mittels des Moduls der Bedarfsdeckung gelegt. Die Entscheidung, ob ein Auftrag zur Instandhaltung angenommen wird, ist abhängig der verfügbaren Ressourcenkapazität und des Lagerbestand an Teilen bzw. Fertigerzeugnissen (Produkten). Mit Ressourcenkapazität wird in dieser Arbeit ein Bestand an den Produktionsfaktoren Produktionskapazität oder Arbeitskraft verstanden. Es handelt sich hier um erneuerbare Ressourcen, die mit Ablauf des Betrachtungszeitraums den vordefinierten Kapazitätswert wieder annehmen. Bei dem Lagerbestand handelt es sich um einen physischen Bestand an Teilen, die für die Fertigung bzw. Instandhaltung verwendet werden, oder um Fertigerzeugnisse. Fertigerzeugnisse sind die durch den Fertigungsprozess erzeugten Leistungen in Form von Produkten. Für die Entscheidungsträger muss das Modul der Bedarfsdeckung dementsprechend die Entscheidung über die Auftragsannahme unter Beachtung der Auftrags-, der Materialbedarfs- und der Produktionsplanung unterstützen. Im nächsten Kapitel wird eine OR-Methode zur klassischen Auftrags-

annahme bei konstanten Ressourcenkapazitäten vorgestellt und im Kapitel ?? wird dieses Modell um die Besonderheiten der MRO-Prozesse erweitert.

## 3 Das Konzept des Revenue Managements bei der Annahme von Aufträgen

### 3.1 Herkunft des Revenue Managements

Der Begriff *Revenue Management* wird im deutschsprachigen Raum meist mit *Erlagsmanagement* oder *Erlösmanagement* übersetzt.<sup>5</sup> Yield Management wird als Synonym benutzt.<sup>6</sup> Dabei greift der Begriff zu kurz, da Yield im Luftverkehr den Erlös je Passagier und geflogener Meile bezeichnet.<sup>7</sup> Daher hat sich der Term *Revenue Management* gegenüber Yield Management durchgesetzt.<sup>8</sup> Erste Ansätze des RM wurden in der Praxis entwickelt. Durch die Deregulierung des amerikanischen Luftverkehrsmarktes im Jahr 1978 mussten die traditionellen Fluggesellschaften ihre Wettbewerbsfähigkeit gegenüber Billiganbietern erhöhen und entwickelten das frühe RM.<sup>9</sup> In der Literatur ist der Begriff des RM unterschiedlich definiert. Friege (1996) bezeichnet das RM als *Preis-Mengen-Steuerung*, Daudel und Vialle (1992) als *Preis-Kapazitäts-Steuerung* und Talluri und van Ryzin (2004b) verstehen es als das gesamte *Management der Nachfrage*. Klein (2001, S. 248) definiert RM als:

„Revenue Management umfasst eine Reihe von quantitativen Methoden zur Entscheidung über Annahme oder Ablehnung unsicherer, zeitlich verteilt eintreffender Nachfrage unterschiedlicher Wertigkeit. Dabei wird das Ziel verfolgt, die in einem begrenzten Zeitraum verfügbare, unflexibel Kapazität möglichst effizient zu nutzen.“

---

<sup>5</sup>Vgl. z. B. Zehle (1991), S. 486

<sup>6</sup>Vgl. z. B. Kolisch und Zatta (2006), S. 319

<sup>7</sup>Vgl. z. B. Weatherford (1998), S. 69

<sup>8</sup>Vgl. Klein und Steinhardt (2008), S. 6

<sup>9</sup>Vgl. Petrick (2009), S. 1-3



Petrick (2009) definiert das RM als Ziel einer Unternehmung die Gesamterlöse zu maximieren, die sich aufgrund der speziellen Anwendungsgebiete ergeben. Damit definiert Petrick (2009) das RM als Zusammenfassung aller Interaktionen eines Unternehmens, die mit dem Markt, also der Absatz- oder Nachfrageseite, zusammenhängen. Kimms und Klein (2005) weisen darauf hin, dass eine differenzierte Betrachtung des Konzepts notwendig ist: Einerseits im Hinblick auf die **Anwendungsvoraussetzungen** und andererseits im Hinblick auf die **Instrumente des Revenue Managements**, damit verdeutlicht dargestellt ist, in welchen Branchen das RM Potentiale liefert. Dabei sollten branchenspezifische Besonderheiten, neben den zahlreichen Ähnlichkeiten Berücksichtigung finden, sowie das begrenzte Kapazitätenkontingent, damit die Potentiale des RM zur Maximierung der Gesamterlöse in den Dienstleistungsbranchen erfolgen kann.<sup>10</sup>

### 3.2 Anwendungsvoraussetzungen und Instrumente des Revenue Managements

Es wurden typische Anwendungsgebiete für das RM aufgezeigt. (???) Jedoch bereitet die Definition weitere Schwierigkeiten. Kimms und Klein (2005) versuchen durch eine umfangreiche Diskussion einige Erklärungsansätze aufzuzeigen. Zum einen hat das RM vor allem aus dem älteren, englischsprachigen Bereich einen engen Bezug zu konkreten Anwendungsgebieten. Weiter versuchen viele Autoren das komplexe Konzept des Revenue Managements in einer kurzen Erklärung zu verdeutlichen. Dieses läuft letztlich darauf hinaus, dass diese Autoren einige situative Merkmale und Instrumente des Managements vermischen, gleichzeitig aber versuchen, die Zielsetzung festzulegen und das Anwendungsgebiet auf bestimmte Branchen zu beschränken.

Die beiden ersten Definitionen können als Synonym für eines der Instrumente des RM stehen und daher finden diese für das gesamte Konzept keine weitere Verwendung.<sup>11</sup>

Im Kern lassen sich drei wichtige Perspektiven für eine Definition des Revenue

---

<sup>10</sup>Vgl. z. B. von Martens (2009), S. 11-24

<sup>11</sup>Vgl. z. B. Petrick (2009)

Managements nach Petrick (2009), Stuhlmann (2000), Corsten und Stuhlmann (1999) übernehmen:

- Ziel ist es die Gesamterlöse unter möglichst optimaler Auslastung der vorhandenen Kapazitäten zu maximieren.
- Durch eine aktive Preispolitik wird das reine Kapazitäts- oder Auslastungsmanagement unterstützt.
- Für die erfolgreiche Implementierung des Revenue Managements ist eine umfangreiche Informationsbasis notwendig. Es muss u. a. eine möglichst gute Prognose über die zukünftige Nachfrage und Preisbereitschaft der Kunden vorhanden sein.

Wie im vorherigen Abschnitt beschrieben, müssen bestimmte Voraussetzungen bestehen, damit die Instrumente des RM zur Anwendung kommen können.

Petrick (2009) weist darauf hin, dass anhand von Anwendungsvoraussetzungen geprüft wird, ob das RM für die jeweilige Situation des Unternehmens (oder die gesamte Branche) zur Maximierung des Gesamterlöses beiträgt. Kimes (1989b) definiert die in der Literatur häufigsten Anwendungsvoraussetzungen:<sup>12</sup>

„weitgehend fixe“ Kapazitäten

„Verderblichkeit“ bzw. „Nichtlagerfähigkeit“ der Kapazitäten und der Leistung

Möglichkeit zur Vorausbuchung von Leistungen

stochastische, schwankende Nachfrage

hohe Fixkosten für die Bereitstellung der gesamten Kapazitäten bei vergleichsweise geringen variablen Kosten für Produktion einer Leistungseinheit

Möglichkeit zur Marktsegmentierung und im Ergebnis dessen zur segmentorientierten Preisdifferenzierung Klein und Steinhardt (2008) setzen sich mit den Anwendungsvoraussetzungen von mehreren Autoren auseinander. Sie konnten Gemeinsamkeiten innerhalb der Definitionen der Autoren finden, aber zeigten auch die

---

<sup>12</sup>Vgl. u. a. Friege (1996), S. 616-622, und Weatherford und Bodily (1992), 831-832

Unterschiede und die Kritiken auf. In ihrer Arbeit übernehmen sie die Anwendungsvoraussetzung von Corsten und Stuhlmann (1998): "Marktseitige Anpassungserfordernis steht unternehmenseitig unzureichendes Flexibilitätspotential hinsichtlich der Kapazität - bezogen auf Mittel- oder Zeitaufwand gegenüber". Zugleich weisen sie jedoch darauf hin, dass zum Verständnis eines komplexen und interdisziplinären Ansatzes auch die Definitionen anderer Autoren im Hinblick auf das Verständnis der Anwendungsvoraussetzungen beitragen.

Auf Grundlage der von Friege (1996) beschriebenen Anwendungsvoraussetzungen hat Petrick (2009) drei Instrumente des RM bestimmt. Die Instrumente benötigen als Grundlage *Daten der Prognose*, damit sie zur Anwendung kommen.<sup>13</sup> Zu den Instrumenten zählen die **segmentorientierte Preisdifferenzierung**, die **Kapazitätensteuerung** und die **Überbuchungssteuerung**. Es lassen sich unterschiedliche Abhängigkeiten der Instrumente untereinander ermitteln.<sup>14</sup>

### 3.3 Mathematische Modellformulierung des Revenue Managements beim Entscheidungsproblem der Auftragsannahme von Instandhaltungsprozessen

Im Folgenden wird das dynamisch, stochastische Grundmodell des RM nach Talluri und van Ryzin (2004, S. 18-19) beschrieben. Ein Dienstleistungsnetzwerk eines Anbieters benötigt jeweils zur Erstellung einer Dienstleistung eine bestimmte Kombination an Ressourcen aus der Menge der Ressourcen  $\mathcal{H} = \{1, \dots, l\}$ . Der Index  $h$  beschreibt dabei eine jeweilige Ressource und der Index  $l$  die gesamte Anzahl an möglichen Ressourcen. Die jeweilig verbleibende Kapazität einer Ressource  $h \in \mathcal{H}$  ist durch den Parameter  $c_h$  beschrieben und die gesamten Kapazitäten der Ressourcen ist als Vektor  $\mathbf{c} = (c_1, \dots, c_h, \dots, c_l)$  formuliert. Ein Produkt in dem Netzwerk ist durch den Parameter  $j$  aus der Menge an Produkten  $\mathcal{J} = \{1, \dots, n\}$  beschrieben. Die gesamte Anzahl an Produkten ist durch den Parameter  $n$  definiert. Sobald ein

<sup>13</sup>Die Prognose zählt laut Petrick (2009) nicht als eigenständiges Instrument des RM.

<sup>14</sup>Als Beispiel baut die Kapazitätensteuerung auf den Ergebnissen der Preisdifferenzierung auf und die Überbuchungssteuerung kann selten ohne Kapazitätensteuerung gelöst werden.

Produkt  $j \in \mathcal{J}$  abgesetzt ist, fällt für den Verkauf der Ertrag  $r_j$  an. Der Buchungshorizont entspricht  $T$  Perioden und kann jeweils in einzelne Perioden  $t = 1, \dots, T$  aufgeteilt werden. Dabei muss Beachtung finden, dass der Buchungshorizont  $T$  gegenläufig verläuft. Die Wahrscheinlichkeit der Nachfrage eines Produkts  $j$  in der Periode  $t$  entspricht  $p_j(t)$  und die Wahrscheinlichkeit, dass keine Nachfrage in der Periode  $t$  eintrifft, entspricht  $p_0(t)$ . Es gilt  $\sum_{j \in \mathcal{J}} p_j(t) + p_0(t) = 1$  und somit kann  $p_0(t)$  durch den Term  $p_0(t) = 1 - \sum_{j \in \mathcal{J}} p_j(t)$  für die Periode  $t$  ermittelt werden.<sup>15</sup> Die noch erwartete Nachfrage  $D_{jt}$  für ein bestimmtes Produkt  $j$  für eine beliebige Periode  $t$  lässt sich durch  $\sum_{\tau=1}^t p_j(\tau)$  aggregieren.

Die bisherige Notation ist analog der Formulierung des Grundmodells nach Talluri und van Ryzin (2004, S. 18-19). Nachfolgend wird die Modellerweiterung nach Gönsch und Steinhardt (2013) beschrieben. Sofern ein Anbieter opake Produkte in sein Produktportfolio integriert, muss die Menge  $\mathcal{M}_j \subseteq \mathcal{I}$  eingeführt werden. Mit dieser Menge ist die Erfassung des differenzierten Ressourcenverbrauchs der spezifischen und opaken Produkte  $j \in \mathcal{J}$  möglich. Sie ist eine Teilmenge der Indexmenge  $\mathcal{I} \subseteq \mathbb{N}^+$ , die alle produktspezifischen Kombinationen für die Menge der Ressourcen  $\mathcal{H}$  beschreibt. Die Menge  $\mathcal{I}$  beschreibt alle möglichen Kombinationen von Produkten und Ressourcen. Für das weitere Vorgehen genügt das Betrachten der jeweiligen möglichen Ausführungsmodi  $\mathcal{M}_j$  eines Produkts  $j \in \mathcal{J}$ . Eine einzelne produktspezifische Kombination der verfügbaren Ressourcen ist durch den Parameter  $m \in \mathcal{M}_j$  beschrieben. Der jeweilige Verbrauch einer Ressource  $h$  im Ausführungsmodus  $m$  durch Annahme einer Anfrage nach einem Produkt  $j$  ist anhand des Parameters  $a_{hm}$  beschrieben. Durch Vektorschreibweise kann der Ressourcenverbrauch einer produktspezifischen Kombination als  $\mathbf{a}_m = (a_{1m}, \dots, a_{hm}, \dots, a_{lm})$  formuliert werden. Die Tabelle 1 verdeutlicht den Zusammenhang der Produkte  $j \in \mathcal{J}$  und der Ressourcen  $h \in \mathcal{H}$  mit dem dazugehörigen produktspezifischen Ausführungsmodus  $m \in \mathcal{M}_j$  in einer Matrix.

Das Beispiel in Tabelle 1 zeigt einen Reiseveranstalter mit fünf Ressourcen. Bei den ersten zwei Ressourcen handelt es sich um einen 1.-Klasse-Flug ( $h = 1$ ) und um einen 2.-Klasse-Flug ( $h = 2$ ). Bei der Ressource 3 handelt es sich jeweils um eine mögliche Überführungsfahrt ( $h = 3$ ) zu einem Hotel am Strand ( $h = 4$ ). Bei der letzten Ressource handelt es sich um ein Business-Hotel direkt am Flughafen ( $h = 5$ ). Die verschiedenen Ressourcen sind in dem Beispiel unterschiedlich zu

<sup>15</sup>Vgl. Talluri und van Ryzin, S. 18

Tabelle 1 Beispiel einer Produkt-Ressourcen-Matrix

Produkt $j$	Ressourcenverbrauch $a_{hm}$ für jeweilige Ressource $h$					Ausführungsmodus $m$	Erlös $r_j$
	1	2	3	4	5		
1	$a_{11}$	–	$a_{31}$	$a_{41}$	–	1	100
	–	$a_{22}$	$a_{32}$	$a_{42}$	–	2	
	$a_{13}$	–	–	$a_{43}$	–	3	
	–	$a_{24}$	–	$a_{44}$	–	4	
2	$a_{15}$	–	–	–	$a_{55}$	5	150

Produkten  $j \in \mathcal{J}$  kombiniert. Dies könnte einerseits daran liegen, dass einige Kombinationen für einen Anbieter nicht rentabel sind oder andererseits keine Nachfrage erhalten. Damit zeigt die Produkt-Ressourcen-Matrix nicht alle möglichen Kombinationsmöglichkeiten  $i \in \mathcal{I}$  für die Menge an Ressourcen  $\mathcal{H}$ . Die Matrix zeigt keinen Wert für den Ressourcenverbrauch an, sofern  $a_{hm} = 0$  entspricht. Damit wird zur Erstellung des Produkts  $j$  in dem Ausführungsmodus  $m$  die jeweilige Ressource  $h$  nicht benötigt. In dem Beispiel ist das Produkt  $j = 1$  ein opakes Produkt mit den Ausführungsmodi  $m \in \mathcal{M}_1 = \{1, 2, 3, 4\}$ . Dies liegt an der frei gewählten Angebotsstruktur. Der Anbieter könnte jeden Ausführungsmodus  $m \in \mathcal{M}_j$  für ein eigenständiges Produkt nutzen. Bspw. handelt es sich bei dem Produkt  $j = 2$  um ein spezifisches Produkt, das der Anbieter nur in einem Ausführungsmodus  $m \in \mathcal{M}_2 = \{5\}$  anbietet. Somit sind spezifische Produkte eines Netzwerks als Sonderfall von opaken Produkten anzusehen, die nur einen Ausführungsmodus aufweisen ( $|\mathcal{M}_{j'}| = 1$ ).<sup>16</sup>

Mit den vorangegangenen Parametern kann der maximal erwartete Ertragswert  $V(\mathbf{c}, t)$  für eine Periode  $t$  bei einer noch vorhandenen Ressourcenkapazität  $\mathbf{c}$  als Bellman-Gleichung formuliert werden (DP-op):<sup>17</sup>

<sup>16</sup>Vgl. Gönsch und Steinhardt (2013), S. 96

<sup>17</sup>Vgl. Gönsch und Steinhardt (2013), S. 97

$$V(\mathbf{c}, t) = \sum_{j \in \mathcal{J}} p_j(t) \max \left( V(\mathbf{c}, t-1), r_j + \max_{m \in \mathcal{M}_j} V(\mathbf{c} - \mathbf{a}_m, t-1) \right) + p_0(t) V(\mathbf{c}, t-1) \quad (1)$$

Es handelt sich hier um die Modellformulierung der dynamischen Programmierung im RM opaker Produkte. Die Gleichung weist die Grenzbedingungen  $V(\mathbf{c}, 0) = 0$  für  $\mathbf{c} \geq 0$  sowie sonst  $V(\mathbf{c}, 0) = -\infty$  auf, da eine jeweilig verbleibende Kapazität nach Bereitstellung des Produkts wertlos und eine negative Ressourcenkapazität nicht möglich ist. Die Standardformulierung der dynamischen Programmierung wird mit dem Term  $\max_{m \in \mathcal{M}_j} V(\mathbf{c} - \mathbf{a}_m, t-1)$  erweitert. Damit ist sichergestellt, dass eine Anfrage nach einem opaken Produkt  $j$  nur im Ausführungsmodus  $m$  mit dem höchsten Ertragswert gewählt wird. Der Gesamtertrag des Anbieters ist maßgeblich durch die Entscheidung der gewählten Ausführungsmodi  $m \in \mathcal{M}_j$  abhängig, da das Modell durch eine jede Entscheidung bzgl. der weiteren möglichen opaken Produkte neu gelöst werden muss. Eine eintreffende Anfrage nach einem opaken Produkt  $j$  ist demnach dann akzeptiert, wenn gilt:

$$r_j \geq \min_{m \in \mathcal{M}_j} \{V(\mathbf{c}, t-1) - V(\mathbf{c} - \mathbf{a}_m, t-1)\} \quad (2)$$

Somit erfolgt die Akzeptanz einer Anfrage nach einem opaken Produkt  $j \in \mathcal{J}$  ausschließlich nur dann, sofern die OK des Ressourcenverbrauchs niedriger als der Ertrag ist. Zusätzlich wird der Ausführungsmodus  $m \in \mathcal{M}_j$  mit den niedrigsten OK gewählt, wodurch das Maximum des gesamten Ertragswerts gewährleistet bleibt. Ein potentieller Ausführungsmodus  $m^*$  mit minimalen OK ( $V(\mathbf{c}, t-1) - V(\mathbf{c} - \mathbf{a}_{m^*}, t-1)$ ) ist gewählt und die Kapazität werden dementsprechend reduziert. Bei spezifischen Produkten existiert nur ein Ausführungsmodus  $|\mathcal{M}_{j'}| = 1$  und daher ist die Maximalfunktion in der Gleichung (1) und die Minimalfunktion in der Gleichung (2) nicht notwendig.

## 4 Bestehende Ansätze zur Annahme von Auftragsproduktion und Instandhaltungsprozessen

### 4.1 Review 1

### 4.2 Review 2

### 4.3 Review 3

### 4.4 Review 4

## 5 Ein exaktes Lösungsverfahren zur Auftragsannahme- und Lagerhaltungsentscheidung bei auftragsbezogenen Instandhaltungsprozessen

### 5.1 Mathematische Modellformulierung zur Auftragsannahme- und Lagerhaltungsentscheidung bei auftragsbezogenen Instandhaltungsprozessen

### 5.2 Implementierung mittels IPython Notebook

### 5.3 Numerische Untersuchung



## 6 Schlussbemerkung

## Anhang

## Literaturverzeichnis

- Bach, N.; Brehm, C.; Buchholz, W. und Petry, T. (2012): Wertschöpfung als zentrales Ziel von Unternehmensführung. Gabler Verlag. S. 1–25.
- Corsten, H. und Stuhlmann, S. (1998): Yield Management: Ein Ansatz zur Kapazitätsplanung und-steuerung in Dienstleistungsunternehmen. In: Schriften zum Produktionsmanagement. Bd. 18.
- Corsten, H. und Stuhlmann, S. (1999): Yield Management als Ansatzpunkt für die Kapazitätsgestaltung von Dienstleistungsunternehmen. In: Wettbewerbsfaktor Dienstleistung: Produktion von Dienstleistungen-Produktion als Dienstleistung, Vahlen, München, S. 79–107.
- Daudel, S. und Vialle, G. (1992): Yield-Management: Erträge optimieren durch nachfrageorientierte Angebotssteuerung. Campus-Verlag.
- Dickersbach, J. (2004): Production Planning. In: Supply Chain Management with APO. Springer Berlin Heidelberg, S. 131–234.
- Dyckhoff, H. und Spengler, T.S. (2010): Springer-Lehrbuch. Bd. 0. Springer Berlin Heidelberg. S. 3–11.
- Fleischmann, B. und Meyr, H. (2004): Customer Orientation in Advanced Planning Systems. In: H. Dyckhoff; R. Lackes und J. Reese (Hrsg.), Supply Chain Management and Reverse Logistics. Springer Berlin Heidelberg, S. 297–321.
- Friege, C. (1996): Yield-Management. In: WiSt–Wirtschaftswissenschaftliches Studium. Bd. 25, S. 616–622.
- Goetschalckx, M. und Fleischmann, B. (2005): Strategic network planning. In: Supply chain management and advanced planning. Springer, S. 117–137.
- Gönsch, J. und Steinhardt, C. (2013): Using dynamic programming decompositi-

- on for revenue management with opaque products. In: BuR-Business Research. Bd. 6, Nr. 1, S. 94–115.
- Gutenberg, E. (1959): Enzyklopädie der Rechts- und Staatswissenschaft. Springer Berlin Heidelberg. S. 34–74.
- Gutenberg, E. (1965): Die dispositiven Faktoren. In: Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre. Abteilung Staatswissenschaft. Springer Berlin Heidelberg, S. 130–285.
- Hax, K. (1956): Industriebetrieb. In: Handwörterbuch der Sozialwissenschaften, Stuttgart ua.
- Helbing, K. (2010): Instandhaltung. In: Handbuch Fabrikprojektierung. Springer Berlin Heidelberg, S. 983–989.
- Hinsch, M. (2010): Instandhaltung. In: Industrielles Luftfahrtmanagement. Springer Berlin Heidelberg, S. 189–221.
- Kimes, S.E. (1989b): Yield management: a tool for capacity-considered service firms. In: Journal of operations management. Bd. 8, Nr. 4, S. 348–363.
- Kimms, A. und Klein, R. (2005): Revenue Management im Branchenvergleich. Arbeitspapier. Darmstadt Technical University, Department of Business Administration, Economics and Law, Institute for Business Studies (BWL).
- Klein, R. (2001): Revenue Management: Quantitative Methoden zur Erlösmaximierung in der Dienstleistungsproduktion. Arbeitspapier. Darmstadt Technical University, Department of Business Administration, Economics and Law, Institute for Business Studies (BWL).
- Klein, R. und Steinhardt, C. (2008): Revenue Management : Grundlagen und mathematische Methoden. Springer, Berlin [u.a.].
- Kolisch, R. und Zatta, D. (2006): Revenue-Management in der Sachgüterproduktion. In: Marketing Journal. Bd. 12, S. 38–41.
- von Martens, T. (2009): Kundenwertorientiertes Revenue Management im Dienstleistungsbereich. Gabler, Wiesbaden, 1. Aufl.. Aufl.

- Meyr, H.; Wagner, M. und Rohde, J. (2015): Structure of advanced planning systems. In: Supply chain management and advanced planning. Springer, S. 99–106.
- Petrack, A. (2009): Multimodale Produkte im Revenue Management : Potenziale und Ansätze zur Realisierung einer Kapazitätssteuerung. Südwestdeutscher Verl. für Hochschulschriften, Saarbrücken.
- Quante, R. (2009): Management of stochastic demand in make-to-stock manufacturing. Bd. 37. Peter Lang.
- Rohde, J. und Wagner, M. (2002): Master Planning. In: H. Stadtler und C. Kilger (Hrsg.), Supply Chain Management and Advanced Planning. Springer Berlin Heidelberg, S. 143–160.
- Ryll, F. und Freund, C. (2010): Grundlagen der Instandhaltung. In: M. Schenk (Hrsg.), Instandhaltung technischer Systeme. Springer Berlin Heidelberg, S. 23–101.
- Schmidt, G. (2012): Grundlagen betriebswirtschaftlicher Prozesse. Springer Berlin Heidelberg. S. 1–29.
- Schmidt, S. (2009): Komplexe Produkte und Systeme. In: Die Diffusion komplexer Produkte und Systeme. Gabler, S. 77–121.
- Stadtler, H. (2008): Purchasing and Material Requirements Planning. In: H. Stadtler und C. Kilger (Hrsg.), Supply Chain Management and Advanced Planning. Springer Berlin Heidelberg, S. 217–229.
- Strunz, M. (2012): Gegenstand, Ziele und Entwicklung betrieblicher Instandhaltung. Springer Berlin Heidelberg. S. 1–35.
- Stuhlmann, S. (2000): Kapazitätsgestaltung in Dienstleistungsunternehmen: eine Analyse aus der Sicht des externen Faktors. Deutscher Universitäts-Verlag.
- Talluri, K. und van Ryzin, G.J. (2004): Revenue management under a general discrete choice model of consumer behavior. In: Management Science. Bd. 50, Nr. 1, S. 15–33.
- Talluri, K.T. und van Ryzin, G.J. (2004b): The Theory and Practice of Reve-

- nue Management. International Series in Operations Research and Management Science, vol. 68. Springer.
- Tempelmeier, H. und Günther, H.O. (1994): Produktion und Logistik. Springer.
- Thaler, K. (2001): Supply chain management: Prozessoptimierung in der logistischen Kette. Fortis-Verlag.
- Weatherford, L.R. (1998): A tutorial on optimization in the context of perishable-asset revenue management problems for the airline industry. In: Operations Research in the airline industry. Springer, S. 68–100.
- Weatherford, L.R. und Bodily, S.E. (1992): A taxonomy and research overview of perishable-asset revenue management: yield management, overbooking, and pricing. In: Operations Research. Bd. 40, Nr. 5, S. 831–844.
- Zehle, K.O. (1991): Yield-Management–Eine Methode zur Umsatzsteigerung für Unternehmen der Tourismusindustrie. In: Tourismusmanagement und-marketing. Landsberg/Lech: Moderne Industrie, S. S. 483–504.

## Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe, dass alle Stellen der Arbeit, die wörtlich oder sinngemäß aus anderen Quellen übernommen wurden, als solche kenntlich gemacht sind und dass die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegt wurde.

Hannover, 11. September 2015

