

Kapitel 1

Einführung

1.1 Aktuelle Rahmenbedingungen in der Ersatzteilwirtschaft

Die fortschreitende Globalisierung treibt produzierende Unternehmen in ständig neue Herausforderungen, wobei eine Trendwende zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht erkennbar ist. Um die gestiegenen Kundenansprüche dauerhaft zu befriedigen, die Kundenbindung zu erhöhen und letztendlich die eigene Wettbewerbssituation zu verbessern, müssen alle Unternehmensbereiche ständig an die veränderten Wettbewerbsbedingungen angepasst werden. Ziel ist es dabei, die Produkte nicht nur zu einem wettbewerbsfähigen Preis und in hoher Qualität anzubieten, zusätzlich müssen auch die immer wichtiger werdenden produktnahen Dienstleistungen (z. B. After-Sales-Services) höchsten Ansprüchen genügen.

Nach wie vor größte Herausforderung ist der steigende Kostendruck. Durch die Globalisierung und die damit verbundene Vernetzung der weltweiten Märkte sind Unternehmen aus Ländern mit niedrigen Lohnkosten im Vorteil, weil sie Produkte sehr günstig herstellen können. Außerdem schafft das der Mehrheit der Privatkunden und Unternehmen zugängliche Internet durch Online-Shops und produktvergleichende Plattformen eine enorme Preistransparenz. Dies führt für den Kunden zu einer sehr guten Vergleichbarkeit verschiedener Anbieter, für die Unternehmen verstärkt sich hierdurch der Wettbewerb und damit der Kostendruck weiter.

Die gestiegenen Kundenansprüche zeigen sich nicht nur in der hohen Sensibilität für Preise, auch die Qualität und einzelne Differenzierungsmerkmale der Produkte spielen eine große Rolle. Durch die hervorragende Informationslage ist neben dem Preisvergleich auch die Gegenüberstellung von Produkteigenschaften möglich, außerdem verbreiten sich qualitative Mängel eines Produktes über die Vielzahl von Internetforen rasant. Dies zwingt Produktionsunternehmen dazu, in immer kürzeren

Entwicklungszyklen Produkte auf den Markt zu bringen, die sich keine qualitative Schwäche leisten dürfen.

Weitere Herausforderung für produzierende Unternehmen ist die hohe Erwartungshaltung der Kunden, was die Verfügbarkeit von Produkten angeht. In Zeiten des 24h/48h-Lieferservices werden längere Lieferzeiten kaum mehr akzeptiert. Ist ein Produkt einmal nicht verfügbar, sind Kunden schnell in der Lage, die Verfügbarkeit vergleichbarer Produkte zu ermitteln und zu einem Konkurrenzanbieter zu wechseln.

Nicht nur die Anforderungen der Kunden steigen. Auch die ökologischen Rahmenbedingungen verändern sich. Hierbei spielt nicht nur die verschärfte Gesetzgebung zur Stärkung des Umweltschutzes eine Rolle. Ebenso kann es sich kaum ein Unternehmen mehr leisten, durch achtlosen Umgang mit der Umwelt in den Medien negativ aufzufallen. Gleiches gilt für die Sicherheitsbestimmungen und Arbeitsplatzbedingungen in den Produktionsanlagen selbst. Auch hier haben sich nicht nur die gesetzlichen Rahmenbedingungen zu Gunsten der Mitarbeiter geändert. Genauso muss auf mitarbeiterfreundliche Arbeitsplatzgestaltung Wert gelegt werden, um gut ausgebildete Fachkräfte langfristig an ein Unternehmen binden zu können.

Die größer werdenden Herausforderungen, mit denen produzierende Unternehmen konfrontiert sind, lassen sich in folgenden Punkten zusammenfassen:

- ▶ Kostendruck durch Globalisierung und erhöhte Markttransparenz
- ▶ Steigende Kundenansprüche hinsichtlich
 - Qualität
 - Innovationskraft und
 - Verfügbarkeit der Produkte
- ▶ Verschärfte ökologische Rahmenbedingungen
- ▶ Steigende Anforderungen an die Arbeitsplatzgestaltung zur langfristigen Bindung von Mitarbeitern

Die unter Druck geratenen Produktionsunternehmen der Industrienationen reagieren mit unterschiedlichen Strategien auf diese Herausforderungen. Beispielsweise versuchen sie den Anteil der Lohnkosten an den Produktionskosten durch die Steigerung des Automatisierungsgrades zu senken. Dies führt im Gegenzug zu stark vernetzten und sehr komplexen Anlagenstrukturen¹. Eine weitere Möglichkeit Produktionskosten zu senken besteht darin, die Produktionsmenge je Zeiteinheit zu steigern. Dies kann einerseits durch eine Steigerung der Betriebsintensität von Anlagen, andererseits durch die Erhöhung der Verfügbarkeit von Anlagen erreicht werden.

¹Anlagenstruktur im Sinne dieser Arbeit meint eine räumlich abgegrenzte Anordnung von mehreren Produktionsanlagen in einem Werk bzw. Werksverbund.

1.1. AKTUELLE RAHMENBEDINGUNGEN IN DER ERSATZTEILWIRTSCHAFT⁵

Der Verfügbarkeit von Anlagen kommt dabei aus verschiedenen Gründen eine besondere Bedeutung zu. Einerseits ist seit einigen Jahrzehnten der Trend ungebrochen, Puffer bestmöglich zu reduzieren und mit möglichst geringen Fertigungsbeständen zu produzieren. Die Konsequenz einer solchen Produktionsstrategie ist es aber, dass bei einem ungeplanten Ausfall einer Anlage nachgelagerte Betriebsmittel sehr schnell "leerlaufen" und kostspielige Produktionsfaktoren ungenutzt bleiben. Schon aus diesem Grund ist eine Optimierung der Verfügbarkeit anzustreben. Andererseits kann ein Produktionsausfall durch die Nicht-Verfügbarkeit einer Anlage eine direkte Wirkung zum Kunden hin haben. Immer dann, wenn nach einem Produktionsausfall dem Kunden ein bestelltes Produkt nicht geliefert werden kann bzw. ein Produkt am Point-of-Sales nicht verfügbar ist, kann neben dem entgangenen Umsatz ("lost sale") ein beträchtlicher Imageverlust resultieren. Abgesehen von diesen beiden Gründen können plötzliche und unerwartete Maschinenstillstände auch gesundheitliche Gefahren für die Mitarbeiter bergen oder enorme Ausfall- und Ausfallfolgekosten nach sich ziehen.

Die erforderliche Verfügbarkeit von Produktionsanlagen zu geringsten Kosten sicherzustellen ist Aufgabe der Instandhaltung. Mit Hilfe einer auf die jeweilige Anlagen angepassten Instandhaltungsstrategie versuchen die Instandhalter über den gesamten Lebenszyklus, die Funktionstüchtigkeit und eine hohe Produktionsleistung der Anlage sicherzustellen. Dabei sollen ungeplante Stillstände mit all ihren negativen Auswirkungen vermieden werden. Mit Hilfe ausgefeilter Diagnoseverfahren wird beispielsweise heutzutage bei einigen Anlagentypen versucht, den Zustand einer Anlage permanent zu überwachen, um den Ausfallzeitpunkt zu prognostizieren. Dadurch lassen sich in vielen Fällen Reparaturmaßnahmen spätestmöglich aber rechtzeitig planen und durchführen.

Die Ersatzteilwirtschaft spielt in diesem Kontext eine entscheidende Rolle: Nur wenn die erforderlichen Ersatzteile im Bedarfsfall zeitnah zur Verfügung stehen, können Instandhaltungsmaßnahmen, ob geplant oder ungeplant, überhaupt durchgeführt werden. Deswegen ist die Hauptaufgabe der Ersatzteilwirtschaft, die für die Instandhaltung von Anlagen und Betriebsmitteln benötigten Ersatzteile in der erforderlichen Menge und Art beim entsprechenden Bedarfsträger zum richtigen Zeitpunkt kostenminimal bereitzustellen. Um diese Aufgabe zu erfüllen, muss durch die Ersatzteilwirtschaft sichergestellt werden, dass die Materialverfügbarkeit der Ersatzteile gewährleistet ist und Bestände und die daraus resultierenden Kapitalbindungskosten möglichst gering sind. Weiterhin müssen die Prozesse der Ersatzteilwirtschaft (Beschaffung, Warenausgang, physische Verteilung an die Instandhalter etc.) so gestaltet werden, dass der anfordernde Instandhalter das benötigte Ersatzteil in der erforderlichen Reaktionszeit erhält, um die schnelle Reparatur einer defekten Anlage nicht zu gefährden.

Eine Ersatzteilwirtschaft setzt sich häufig aus unterschiedlichen Ersatzteillagern zusammen. Die zentrale Lagerwirtschaft bevorratet in der Regel DIN- und Normteile

und alle Materialien, die in mehreren Anlagen verbaut sind. Dadurch wird sichergestellt, dass die Bestände derjenigen Ersatzteile, auf die unterschiedlichste Anlagen zugreifen, konsolidiert und reduziert werden können. Häufig werden am Standort der zentralen Lagerwirtschaft zusätzlich wichtige Funktionen der Ersatzteilwirtschaft gebündelt. Dazu gehören beispielsweise der zentrale Wareneingang bzw. eine zentrale Reparaturabwicklung für Ersatzteile.

Zusätzlich zur zentralen Lagerwirtschaft existieren in der Regel für bestimmte Anlagen sogenannte Vor-Ort-Lager in direkter Anlagennähe. Hier lagern Teile, auf die Instandhalter in kürzester Zeit zugreifen müssen bzw. spezielle Ersatzteile, die nur in einer ganz bestimmten Anlage verbaut werden können. Die Mitarbeiter der Ersatzteilwirtschaft haben nicht nur die Aufgabe, die zentralen Lagerbereiche zu bewirtschaften, je nach Ausprägung des Vor-Ort-Lagers sind sie zusätzlich für die Nachversorgung und Warenausgabe in den Vor-Ort-Lagern zuständig.

Wie bereits erläutert, müssen produzierende Unternehmen mit größtmöglicher Flexibilität auf geänderte Marktanforderungen reagieren. Dies betrifft sowohl das Produkt-Portfolio als auch die zur Deckung des Marktes erforderlichen Produktionsmengen. Daraus ergibt sich ein ständiger Bedarf zur Anpassung von Betriebsmitteln und Produktionsanlagen und, in letzter Konsequenz, die Notwendigkeit, die Instandhaltung und auch die Ersatzteilwirtschaft kontinuierlich auf angepasste Betriebssituationen auszurichten.

Abbildung 1.1 zeigt in einem Überblick den schematischen Aufbau einer typischen Ersatzteilwirtschaft eines komplexen Produktionsbetriebes und die Änderungstreiber mit denen die Ersatzteilwirtschaft kontinuierlich konfrontiert ist.

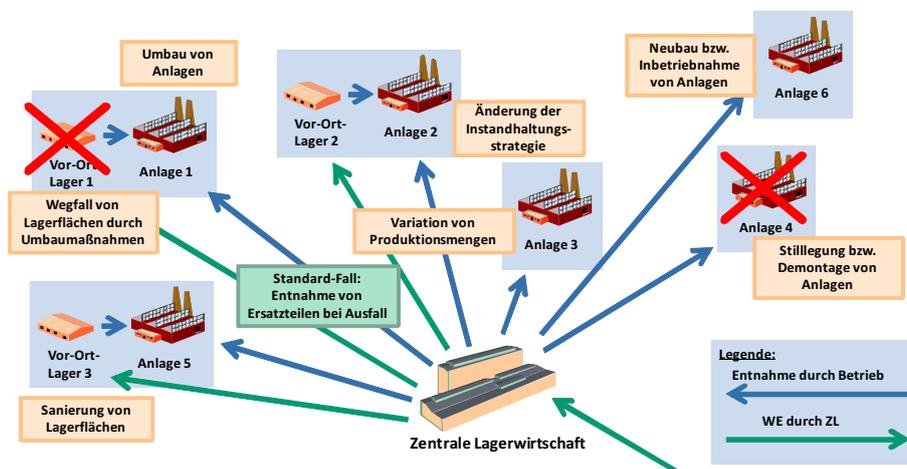


Abbildung 1.1: Ersatzteilwirtschaft in komplexen Anlagenstrukturen

Es gibt eine Reihe von Änderungstribern, die zu einer Änderung der Ausgestaltung einer Ersatzteilwirtschaft führen. Die wichtigsten dieser Änderungstreiber sind in Abbildung 1.1 dargestellt:

1.1. AKTUELLE RAHMENBEDINGUNGEN IN DER ERSATZTEILWIRTSCHAFT⁷

- ▶ Beim *Neubau bzw. der Inbetriebnahme von Anlagen* müssen für genau diese Anlagen zusätzliche Ersatzteile beschafft und bevorratet werden. Die Menge der zu lagernden Ersatzteile ändert sich in der Regel während der Neubau- und Inbetriebnahme-Phase. Bei den ersten Testläufen einer Anlage wird nur ein Grundbestand an Ersatzteilen benötigt. Ist aber die volle Betriebsintensität erreicht, müssen alle aus Sicht der Instandhaltung kurzfristig benötigten Ersatzteile im Lager vorhanden sein.
- ▶ Werden bestimmte Anlagen nicht mehr benötigt, weil die zugehörigen Produkte eingestellt bzw. neue Anlagen auf aktuellem technischen Stand in Betrieb genommen wurden, erfolgt die *Stilllegung bzw. Demontage*. In diesem Fall können alle ausschließlich für diese Anlage beschafften Ersatzteile aus dem Lager entfernt werden (Reduzierung der erforderlichen Lagerkapazität). Außerdem reduziert sich beispielsweise die Anzahl der durchzuführenden Wareneingänge bzw. Lagerentnahmen, die zuvor für diese Anlage erforderlich waren.
- ▶ Wird ein *Umbau von Anlagen* vorgenommen, werden Teile einer Anlage auf Grund geänderter Marktanforderungen bzw. technischer Erfordernisse verändert. Die Auswirkungen auf die Ersatzteilwirtschaft setzen sich aus den Auswirkungen der zuvor beschriebenen Inbetriebnahme und der Stilllegung von Anlagen zusammen. Teilweise entfallen Ersatzteilbedarfe für entfernte Anlagenteile, für neu erstellte Anlagenkomponenten kommen Ersatzteilbedarfe hinzu.
- ▶ Eine *Variation von Produktionsmengen* hat in der Regel ebenfalls Auswirkungen auf die Ersatzteilwirtschaft. Bei einer Steigerung von Ausbringungsmengen erhöht sich der Ersatzteilbedarf durch zusätzliche Abnutzung der Anlage, eine Reduzierung von Produktionsmengen hat den gegenteiligen Effekt.
- ▶ Entscheiden sich die Instandhalter, für eine bestimmte Anlage eine *Änderung der Instandhaltungsstrategie* vorzunehmen, bedeutet dies meist auch eine veränderte Situation für die Ersatzteilwirtschaft. Erhöhen die Instandhalter beispielsweise den Anteil geplanter Wartungsarbeiten, ergibt sich für die Ersatzteilwirtschaft eine viel bessere Planbarkeit von Ersatzteilbedarfen. Ersatzteile können damit zu einem bestimmten Termin bestellt werden und müssen nicht kontinuierlich im Lager liegen. Dies wirkt sich positiv auf den Kapazitätsbedarf im Lager aus.
- ▶ Die oben beschriebenen Änderungstreiber in Anlagenstrukturen können in bestimmten Fällen auch indirekten Einfluss auf die Ersatzteilwirtschaft haben. Dies gilt z. B für den *Wegfall von Lagerflächen durch Umbaumaßnahmen*. Wenn ein Vor-Ort-Lager direkt in einem Anlagenbetriebsgebäude untergebracht ist, kann sich bei Umbaumaßnahmen herausstellen, dass diese Lagerfläche im Rahmen des Umbaus entfernt und an anderer Stelle neu geschaffen werden muss.

- ▶ In sehr alten Werksstrukturen kann es sein, dass auf Grund eines schlechten baulichen Zustands von Lagerbereichen eine *Sanierung von Lagerflächen* notwendig wird. Dadurch müssen für einen Übergangszeitraum Ersatzteile umgelagert werden, um die notwendigen Freiräume für die Sanierungsmaßnahmen zu schaffen.

Diese Beispiele machen deutlich, dass Anpassungen von Strukturen und Produktionsbedingungen in komplexen Anlagenstrukturen dazu führen, dass auch eine Ersatzteilwirtschaft als unterstützende Funktion für die Instandhaltung ständig mit geänderten Anforderungen konfrontiert ist.²

1.2 Problemstellung und Zielsetzung der Arbeit

In einer Ersatzteilwirtschaft müssen die verantwortlichen Mitarbeiter mit Hilfe von Planungsaktivitäten und darauffolgenden Umsetzungsmaßnahmen kontinuierlich auf unterschiedlichste Änderungstreiber (s. Kapitel 1.1) reagieren. Dies ist notwendig, um die in einem Anlagenkomplex durchzuführenden Instandhaltungsmaßnahmen optimal durch die Bereitstellung der richtigen Ersatzteile zu unterstützen, ohne dabei die Kosten für die Ersatzteilwirtschaft zu vernachlässigen. Dabei ist zu beachten, dass Planungskapazitäten gerade für eine "Hilfsfunktion" wie die Ersatzteilwirtschaft in der Regel begrenzt sind und die für eine exakte Planung erforderlichen Eingangsgrößen häufig nicht in der nötigen Detailtiefe zur Verfügung stehen. Wichtige Rahmenbedingung bei Ausgestaltung einer Ersatzteilwirtschaft ist es außerdem, nicht immer nur auf die nächste bekannte Veränderung zu reagieren, sondern alle in der Zukunft liegenden, bekannten Rahmenbedingungen im Blick zu haben und bei der Planung zu berücksichtigen. Vor dem Hintergrund all dieser genannten Anforderungen müssen dem Planer geeignete Methoden und Instrumente zur Verfügung gestellt werden, mit denen er auf Basis vorhandener Planungsparameter mit möglichst geringem zeitlichen Aufwand die notwendigen Änderungen und die richtigen Zeitpunkte dieser Änderungen ermitteln kann.³ Dabei liegt der Schwerpunkt auf den folgenden Fragestellungen:

- ▶ Wie kann der Ersatzteilbedarf für zukünftige, neue Anlagen ermittelt werden?
- ▶ Wie verhält sich der Lagerkapazitäts- und Ressourcenbedarf einer Anlage über den gesamten Lebenszyklus?
- ▶ Zu welchem Zeitpunkt ist zusätzliche Lagerkapazität erforderlich, wann wird Kapazität frei?

²Mit dieser Thematik befasst sich zudem der an der Technischen Universität Dortmund eingerichtete Sonderforschungsbereich 696 "Forderungsgerechte Auslegung intralogistischer Systeme: Logistics on Demand"

³Das Teilprojekt C4 "Antizipative Veränderungsplanung" des SFB 696 behandelt diese Problemstellung auf Basis einer diskreten Materialflusssimulation.

- ▶ Wieviel Lagerkapazität wird in den einzelnen Lagerbereichen mit welcher Lagertechnik benötigt?
- ▶ Zu welchem Zeitpunkt ist es sinnvoll, in effizientere/automatisierte Lagertechnik zu investieren?
- ▶ Welche Vor-Ort-Lager werden benötigt?
- ▶ Wie entwickelt sich der Ressourcenbedarf (z. B. Personal) in der Ersatzteilwirtschaft im Zeitverlauf?
- ▶ Wie bringt man den Aufwand für die Lagerwirtschaft und für die Instandhalter (z. B. für selbstständige Entnahme aus einem Vor-Ort-Lager) in ein kostenminimales Gleichgewicht?
- ▶ Welche Maßnahmen müssen zu welchem Zeitpunkt in der Ersatzteilwirtschaft umgesetzt werden, um ein Gesamtkostenminimum zu erzielen?

Um diese Fragen zu beantworten, werden bei aktuellen Planungsansätzen meist unterschiedliche Szenarien ausgearbeitet und hinsichtlich der Zielerfüllung und der entstehenden Kosten bewertet. Am Ende eines solchen Planungsprozesses stehen sich verschiedene Szenarien mit unterschiedlichen Gesamtkosten gegenüber. In Abhängigkeit von den gewählten Bewertungskriterien muss dann eines dieser Szenarien zur Umsetzung ausgewählt werden.

Mit diesem Planungsansatz der Ausarbeitung und Bewertung unterschiedlicher Alternativen mit anschließender Auswahl eines dieser Szenarien sind verschiedene Nachteile verbunden: Die Qualität der gewählten Szenarien hängt stark von den Fähigkeiten und der Erfahrung der beteiligten Planer ab. Außerdem gibt es bei komplexen Planungsproblemen keine endgültige Sicherheit darüber, ob alle zu erfüllenden Randbedingungen (z. B. ausreichende Dimensionierung von Vor-Ort-Lagern) bei allen betrachteten Szenarien auch tatsächlich erfüllt werden bzw. ob nicht doch noch ein besseres Szenario existiert.

Ziel dieser Arbeit ist es deshalb die Entwicklung eines Optimierungsmodells für die Ausgestaltung einer Ersatzteilwirtschaft. Mit Hilfe dieses Modells soll die optimale Gestaltungsalternative, die alle erforderlichen Randbedingungen erfüllt, ermittelt werden.

1.3 Aufbau der Arbeit

Nachdem in den vorangegangenen Ausführungen des ersten Kapitels der Handlungsbedarf zur Entwicklung eines Optimierungsmodells für die Ausgestaltung der Ersatzteilwirtschaft in komplexen Anlagenstrukturen skizziert wurde, soll im weiteren Verlauf dieser Arbeit eine detaillierte Auseinandersetzung mit diesem Thema erfolgen. Die vorliegende Arbeit ist dazu in drei Teile gegliedert (vgl. Abbildung 1.2).

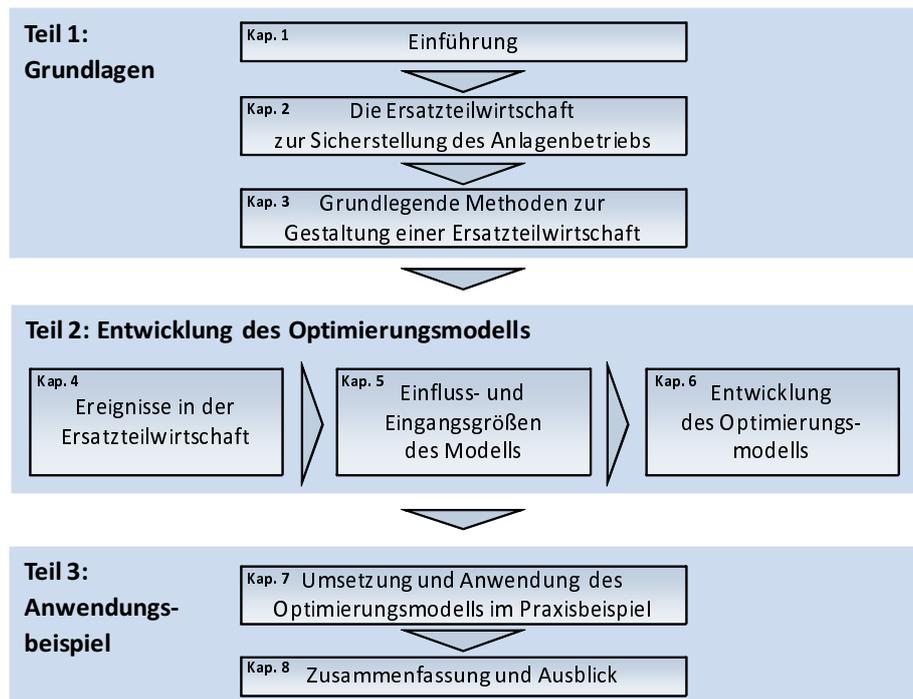


Abbildung 1.2: Aufbau der Arbeit

Im ersten Teil *Grundlagen* wird nach dem einleitenden Kapitel die Ersatzteilwirtschaft als unterstützende Einheit zur Sicherstellung des Anlagenbetriebs mit ihren Aufgaben und Rahmenbedingungen beschrieben (Kapitel 2). Das dritte Kapitel legt mit der Beschreibung der Methoden des Prozessketteinstrumentariums, der Prozesskostenrechnung und einer Erläuterung der wichtigsten Grundlagen der (ganzzahligen) linearen Optimierung die methodische Basis für die Entwicklung des Optimierungsmodells zur Ausgestaltung einer Ersatzteilwirtschaft.

Der zweite Teil *Entwicklung des linearen Optimierungsmodells* beschreibt in den Kapiteln 4 bis 6 die in dieser Arbeit entwickelte Methodik. Gegenstand des Kapitels 4 ist die Herleitung eines ereignisorientierten Ansatzes zur Beschreibung des Ersatzteilbedarfs von Anlagen im Lebenszyklus. Außerdem werden in diesem Kapitel die relevanten Gestaltungsmöglichkeiten (z. B. Schaffung von neuen Lagerbereichen oder Wechsel der Lagertechnik) innerhalb einer Ersatzteilwirtschaft entwickelt.

Die detaillierte Definition der Einfluss- und Eingangsgrößen, die zur Erstellung eines Optimierungsmodells benötigt werden, und die anschließende Beschreibung von Ansätzen zur Ermittlung dieser Größen ist Inhalt des Kapitels 5. Im Kapitel 6 erfolgt die Entwicklung des Optimierungsmodells. Hierfür wird mit Hilfe der in Kapitel 3 beschriebenen Methoden der linearen Optimierung und der Prozesskostenrechnung ein mathematisches Modell erstellt, welches alle definierten Eingangsgrößen bei der Lösungsfindung berücksichtigt.

Der dritte Teil beschreibt das *Anwendungsbeispiel*, in welchem die entwickelte Methodik an einer beispielhaften Ersatzteilwirtschaft angewendet wurde (Kapitel 7). Hierfür wurde im Rahmen dieser Arbeit ein Prototyp eines Assistenzsystems entwickelt, mit dem auch bei komplexen Planungsproblemen eine Vielzahl von Planungsparameter mit geringem manuellen Aufwand bei der Lösungsfindung berücksichtigt werden kann. Mit einer Zusammenfassung der Ergebnisse und dem anschließenden Ausblick zu weiteren Forschungsbedarfen bei der Ausgestaltung einer Ersatzteilwirtschaft schließt diese Arbeit.

Der Anhang beinhaltet die im Rahmen dieser Arbeit erstellte mathematische Gesamtdarstellung des linearen Optimierungsmodells und den Quellcode des im dritten Teil verwendeten Anwendungsbeispiels.

Kapitel 2

Die Ersatzteilwirtschaft zur Sicherstellung des Anlagenbetriebs

Aufgrund der wachsenden Anforderungen an die Verfügbarkeit von Produktionsanlagen ist der Stillstand einer Anlage wegen eines Defektes in Zeiten der Just-in-Time Fertigung und Belieferung von Kunden häufig mit schwerwiegenden wirtschaftlichen Folgen für das Unternehmen verbunden. Aus diesem Grund ist im Falle eines Anlagenausfalls eine schnellstmögliche Reparatur und erneute Inbetriebnahme der Anlage sicherzustellen.¹ Für die Wartung und Reparatur von komplexen Anlagen beschäftigen alle größeren Unternehmen eigene Instandhalter. Diese sorgen für den reibungslosen Betrieb einer Anlage und reagieren bei auftretenden Defekten mit geeigneten Instandhaltungsmaßnahmen. Eine besondere Rolle kommt dabei der Ersatzteilwirtschaft zu. Denn nur, wenn die für die Wartung bzw. Reparatur einer Anlage benötigten Ersatzteile zeitnah zur Verfügung stehen, können die Instandhalter ihrer Aufgabe effektiv nachkommen.

In den folgenden Unterkapiteln werden die theoretischen Grundlagen der Ersatzteilwirtschaft beschrieben. Dazu wird in Kapitel 2.1 mit einer Erläuterung des Begriffes Ersatzteil und einer detaillierten Beschreibung der Funktionen einer Ersatzteilwirtschaft begonnen. Ändern sich in einer Anlagenstruktur wesentliche Teilkomponenten, wechseln häufig auch die Anforderungen an die dazugehörige Ersatzteilwirtschaft. Die relevanten Änderungen solcher Rahmenbedingungen und deren Auswirkungen auf die Ersatzteilwirtschaft werden in Kapitel 2.2 dargestellt. Kapitel 2.3 leitet aus den definierten Änderungstreibern einer Ersatzteilwirtschaft schließlich den Handlungsbedarf ab und definiert den Betrachtungsbereich dieser Arbeit.

¹vgl. Bandow/Schmidt (2008) S. 66.

Kapitel 3

Grundlegende Methoden zur Gestaltung einer Ersatzteilwirtschaft

Im Folgenden werden die in dieser Arbeit verwendeten Methoden und Instrumente im Einzelnen vorgestellt und erläutert. Dies ist zum einen die Prozesskettenmethode, mit deren Hilfe die Prozesse der Ersatzteilwirtschaft dokumentiert werden (Kapitel 3.1). Des Weiteren werden die Grundlagen der Prozesskostenrechnung (insbesondere Ressourcenorientierte Prozesskostenrechnung) vorgestellt (Kapitel 3.2), mit der eine visualisierte Prozesskette quantitativ beschrieben und analysiert werden kann. Im letzten Teil dieses Kapitels wird die Methode der (ganzzahligen) linearen Optimierung (Kapitel 3.1) erläutert, die die Basis dieser Arbeit bildet.

In diesem Kapitel werden die ursprünglichen Verfahren vorgestellt. Die Beschreibung der Adaptierung, für die dieser Arbeit zugrunde liegende Aufgabenstellung, erfolgt in den Kapiteln 4, 5 und 6.

3.1 Prozessketteninstrumentarium

Das Prozessketteninstrumentarium ist am Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik zur Visualisierung, Bewertung und Analyse von Wertschöpfungsketten bzw. der damit verbundenen Material- und Informationsflüsse entwickelt worden. Dabei können Unternehmensprozesse in Form einer prozessorientierten Modelldarstellung (Material- und Informationsflüsse) mithilfe von Prozesskettenplänen ganzheitlich visualisiert, analysiert und gestaltet werden.^{1,2} Als Entwicklungsgrundlage dienten die

¹Kuhn (1999) S. 13.

²Kuhn (1995) S. 37.

Kapitel 4

Ereignisse in der Ersatzteilwirtschaft

Wie in Kapitel 2.3 beschrieben, gibt es eine Reihe von Änderungen in komplexen Anlagenstrukturen, die direkten Einfluss auf die Ersatzteilwirtschaft haben. Treten solche Änderungen in kurzen Abständen und bei unterschiedlichen Anlagen oder Anlagenteilen auf, ist der Logistik-Planer mit den aktuell zur Verfügung stehenden Methoden (siehe Kapitel 3) nicht mehr in der Lage, alle möglichen Gestaltungsalternativen zu überschauen. Die Bestimmung einer optimalen Lösung ist kaum möglich.

Deshalb wird in diesem Kapitel ein grundlegendes Konzept auf Basis von Ereignissen erarbeitet, welches die formalisierte Abbildung aller relevanten Veränderungen ermöglicht. Dabei werden sowohl Änderungen in der Anlagenstruktur (Abbildung des *Ressourcenbedarfs*) als auch die daraus resultierenden Reaktionsmöglichkeiten der Ersatzteilwirtschaft (Abbildung des *Ressourcenangebots*) berücksichtigt. Dieses Konzept bildet die Grundlage für das mathematische Modell zur Beschreibung des Ersatzteilbedarfs einzelner Anlagen und der Ausgestaltung des Kapazitätsangebots der Ersatzteilwirtschaft (siehe Kapitel 6).

Im ersten Unterkapitel wird der Zusammenhang zwischen Anlagen-Lebenszyklus, Ersatzteilbedarf und Ersatzteilbestand erläutert. Darauf aufbauend wird in Kapitel 4.2 der Begriff des Ereignisses eingeführt und definiert. Im folgenden Unterkapitel werden alle relevanten Ereignisse beschrieben und in eine Hierarchie eingeordnet. Kapitel 4.5 stellt die Verbindung zwischen Anlagen-Lebenszyklus und den für das zu entwickelnde Modell erforderlichen Ereignissen her. Im letzten Unterkapitel wird auf Basis des entwickelten Ereigniskonzepts der Lösungsansatz zur optimalen Ausgestaltung des Ressourceneinsatzes in der Ersatzteilwirtschaft vorgestellt.

Kapitel 5

Einfluss- und Eingangsgrößen des Modells

In Kapitel 2 wurde erläutert, welche Veränderungstreiber in komplexen Anlagenstrukturen Auswirkungen auf die Gestaltung einer Ersatzteilwirtschaft haben können. Darauf aufbauend wurde in Kapitel 4 beschrieben, wie Veränderungen in einer Ersatzteilwirtschaft mit Hilfe von Ereignissen beschrieben werden können. In dem nun folgenden Kapitel soll auf dieser Basis in Unterkapitel 5.1 hergeleitet werden, welche quantifizierbaren Detailinformationen der einzelnen Ereignisse erforderlich sind, um in Kapitel 6 ein Optimierungsmodell entwickeln zu können. Hierbei werden diese Eingangsgrößen bereits so vorbereitet, dass die Überführung in mathematische Variablen problemlos möglich ist.

Neben den einzelnen Ereignissen sind zur vollständigen Beschreibung einer Ersatzteilwirtschaft im Sinne der Aufgabenstellung weitere Einflussgrößen notwendig. Diese werden im letzten Unterkapitel 5.2 detailliert erläutert. Unterkapitel 5.3 liefert einige Methoden und Verfahren, mit denen die erforderlichen Eingangsgrößen ermittelt und in hinreichender Genauigkeit quantifiziert werden können.

5.1 Ereignisse als Eingangsgrößen des Modells

In Kapitel 4.2 werden Ereignisse des Typs *Bedarf* (Beschreibung des Ersatzteilbedarfs einer Anlage) und des Typs *Angebot* (Beschreibung des Kapazitätsangebots je Lagertechnik) unterschieden. Die Ereignisse des Typs *Bedarf* sind die auslösenden Ereignisse, die einen sich ändernden Ressourcenbedarf zu einem definierten Zeitpunkt beschreiben. Um einen reibungslosen Ablauf in der Ersatzteilwirtschaft zu gewährleisten, muss auf diese Ereignisse mit Anpassungen der Lagerwirtschaft (Ereignis *Angebot*) reagiert werden. Für die Überführung dieser Ereignistypen in ein mathematisches Modell ist genau zu definieren, welche Einzelparameter für die jeweiligen

Kapitel 6

Entwicklung des Optimierungsmodells

Der Logistikplaner soll mit Hilfe der Linearen Optimierung dabei unterstützt werden, bei der Ausgestaltung einer Ersatzteilwirtschaft die kostengünstigste Gestaltungsalternative zu finden. Dazu wurde in Kapitel 4 eine Möglichkeit geschaffen, geänderte Anforderungen an die Ersatzteilwirtschaft mit Ereignissen des Typs Bedarf zu beschreiben. Die Reaktionsmöglichkeiten zur Anpassung einer Ersatzteilwirtschaft an geänderte Anforderungen werden mit Ereignissen des Typs Angebot analog dokumentiert.

In Kapitel 5 wurden diesen Ereignissen und allen anderen relevanten Eingangs- und Einflussgrößen Parameter zugeordnet, die neben der qualitativen auch eine quantitative Beschreibung des Planungsfalls erlauben. Damit wurden die Änderungstreiber der Ersatzteilwirtschaft für die Nutzung in einem mathematischen Modell vorbereitet.

Unter Berücksichtigung der in den vorangegangenen Kapiteln entwickelten Ereignisse, Eingangs- und Einflussgrößen wird in diesem Kapitel das ganzzahlige lineare Optimierungsmodell entwickelt.¹ Dazu fasst Kapitel 6.1 die Anforderungen an das Modell zusammen und ordnet diese den drei Komponenten eines Optimierungsmodells (Zustandsvariablen, Nebenbedingungen und Zielfunktion) zu. In weiteren Unterkapiteln werden diese Komponenten detailliert beschrieben. Unterkapitel 6.4.7 beschreibt, wie auf Basis der Modells mittels Simplex-Algorithmus die optimale Lösung gefunden wird. Das letzte Unterkapitel widmet sich der Berechnung von Planungsparametern, die sich direkt aus der gefundenen Lösung ergeben (z. B. Anzahl der benötigten Ressourcen im Zeitverlauf).

¹Es wird an den jeweiligen Stellen explizit darauf hingewiesen, welcher neu eingeführte mathematische Parameter welcher in Kapitel 5 beschriebenen Größe entspricht.

Kapitel 7

Umsetzung und Anwendung des Optimierungsmodells im Praxisbeispiel

Im vorhergehenden Kapitel wurde ein lineares Optimierungsmodell entwickelt, welches alle erforderlichen Rahmenbedingungen zur Gestaltung einer Ersatzteilwirtschaft abbilden kann. Durch die umfangreiche Integration von unterschiedlichsten Kostenparametern in die Zielfunktion wird hierbei sichergestellt, dass nach der Durchführung der Optimierung die kostengünstigste Gestaltungsalternative für die Ersatzteilwirtschaft gefunden wird. Durch die Berücksichtigung aller relevanten logistischen Randbedingungen ist gewährleistet, dass die gefundene Lösung realitätsnah und umsetzbar ist.

Das Modell wurde im bisherigen Verlauf dieser Arbeit ausschließlich theoretisch und in mathematischer Schreibweise entwickelt und dokumentiert. In diesem Kapitel soll anhand eines Anwendungsbeispiels gezeigt werden, wie das entwickelte Modell in der Praxis mit Hilfe eines Tools angewendet werden kann. Dazu wird im Kapitel 7.1 erläutert, warum die Entwicklung einer geeigneten Softwareunterstützung wichtige Voraussetzung für die praxistaugliche Anwendung des Optimierungsmodells ist. Im folgenden Kapitel 7.2 wird die Vorgehensweise bei einer IT-gestützten Optimierung und die dafür erforderlichen Softwarekomponenten beschrieben. Die Darstellung dieser Softwarekomponenten erfolgt in den darauffolgenden Kapiteln 7.3 und 7.4. Das letzte Unterkapitel zeigt, welche Ergebnisse die softwaregestützte Optimierung liefert und wie sie durch den Planer einer Ersatzteilwirtschaft genutzt werden können.

Kapitel 8

Zusammenfassung und Ausblick

Die Ersatzteilwirtschaft ist verantwortlich für die bedarfsgerechte Bereitstellung von Ersatzteilen im Rahmen der Durchführung von Instandhaltungsmaßnahmen. Sie fungiert damit als Dienstleister für die Instandhaltung und erfüllt eine wichtige Funktion bei der Sicherstellung des Anlagenbetriebs in komplexen Produktionsstrukturen. Auf Grund einer Vielzahl von Änderungstreibern (z. B. Entstehung eines neuen Ersatzteilbedarfs für eine neue Anlage oder Erhöhung des Ersatzteilbedarfs durch Steigerung der Produktionsmenge) sind die Verantwortlichen einer Ersatzteilwirtschaft gezwungen, durch eine kontinuierliche Veränderungsplanung eine Neuausrichtung von Prozessen und Ressourcen auf die aktuellen Bedarfe vorzunehmen. Je nach Komplexität (abhängig z. B. von der Anzahl der unterschiedlichen Lagerbereiche, Anzahl der unterschiedlichen Anlagen mit Ersatzteilbedarf) entstehen dabei Planungsprobleme, die mit aktuellen Methoden aus verschiedenen Gründen kaum bewerkstelligt werden können: Zum einen ist die Menge der zu berücksichtigenden Einflussgrößen und Planungsparameter so groß, dass mit manuellen Verfahren ein Überblick über diese Datenmenge schnell verlorenght. Zum anderen ergeben sich in der Regel eine Vielzahl unterschiedlicher Planungsvarianten, von denen meist nur ein sehr kleiner Teil als Szenario definiert und bewertet werden kann. Bei diesem Vorgehen ist außerdem nie sichergestellt, dass die optimale d. h. kostengünstigste Gestaltungsalternative gefunden wird.

Deshalb war es Ziel dieser Arbeit, mit Hilfe der Prozesskettenmethodik, der Methodik der Prozesskostenrechnung und der linearen Optimierung ein Modell zu entwickeln, mit dem die oben beschriebenen Planungsprobleme bearbeitet und mit geringem Aufwand die bestmögliche Gestaltungsalternative gefunden werden kann. Dieses Modell sollte in den Prototyp eines Assistenzsystems integriert und an einem Beispiel angewendet werden.

Bevor mit der Entwicklung des Optimierungsmodells begonnen werden konnte, musste ein Konzept entwickelt werden, mit dem Veränderungen in einer Ersatzteil-