

**HAW**

# im Dialog

Weidener Diskussionspapiere

**Modell zur Losgrößenoptimierung  
am Beispiel der Blechteilindustrie  
für Automobilzulieferer**

**Bärbel Stein und Christian Voith**

**Diskussionspapier No. 11  
Dezember 2008**

ISBN 978-3-937804-13-2

# Modell zur Losgrößenoptimierung am Beispiel der Blechteilindustrie für Automobilzulieferer

Bärbel Stein, Christian Voith

Hochschule für angewandte Wissenschaften  
Amberg-Weiden  
Hetzenrichter Weg 15  
92637 Weiden  
email: [b.stein@haw-aw.de](mailto:b.stein@haw-aw.de)

email: christian.voith@gmx.de

Dezember 2008

## **Abstract:**

Im Mittelpunkt der Serien- oder Sortenfertigung steht die Frage, wie häufig der Materialfluss unterbrochen werden muss und welche geschlossene Auftragsmenge eines Produktes jeweils hergestellt wird, es tritt also die Aufgabe auf, die kostenoptimierte Losgröße zu ermitteln. Lagerkosten, Rüstkosten und Kapitalbindungskosten beeinflussen den Cash-Flow des Unternehmens und sind die wichtigsten Parameter bei der Ermittlung der optimierten Losgröße. Anhand einer praktischen Untersuchung und Berechnung wird ein Modell entwickelt, welches in der Serien- und Sortenfertigung genutzt werden kann, um eine Optimierung der Losgröße und damit des Cash-Flows eines Unternehmens zu erreichen.

How frequently the flow of material must be interrupted and which closed order quantity of a product is manufactured in each case, is located it arises thus the task to determine the cost-optimized lot size. Storage costs, setup costs and capital freeze costs affect the cash-flow of the enterprise and are the most important parameters with the determination of the optimized lot size. On the basis a practical investigation and computation a model is developed, which can be used in the series and sort manufacturing, in order to reach an optimization of the lot size and thus the cash-flow of an enterprise.

D24, L14, L62

**Schlüsselwörter:** Supply Chain, Losgrößenoptimierung, Zulieferer, OEM's

## Inhaltsverzeichnis

<b>1. PROBLEMSTELLUNG .....</b>	<b>3</b>
<b>2. EINORDNUNG DER THEMATIK .....</b>	<b>5</b>
<b>3. LOSGRÖßENPLANUNG .....</b>	<b>7</b>
<b>3.1. Rüstkosten als kritischer Faktor der Losgrößenermittlung .....</b>	<b>8</b>
<b>3.2. Lagerkosten als kritischer Faktor der Losgrößenbestimmung .....</b>	<b>8</b>
<b>4. KRITISCHE WÜRDIGUNG DER VERSCHIEDENEN BERECHNUNGSVERFAHREN DER OPTIMALEN LOSGRÖßE IN DER THEORIE</b>	<b>9</b>
<b>5. ENTWICKLUNG DES KONZEPTS ZUR VERBESSERUNG DER LOSGRÖßENPLANUNG .....</b>	<b>10</b>
<b>5.1. Die Ermittlung der Kapitalbindungskosten .....</b>	<b>10</b>
<b>5.2. Ermittlung und Berechnung der Lagerkosten .....</b>	<b>16</b>
<b>5.3. Ermittlung und Berechnung der Rüstkosten.....</b>	<b>22</b>
<b>5.4. Die Berechnung der annualisierten Gesamtkosten .....</b>	<b>26</b>
<b>5.5. Berechnung der optimalen Losgröße .....</b>	<b>27</b>
<b>5.6. Umsetzbarkeit der optimierten Losgröße .....</b>	<b>31</b>
<b>5.7. Checkliste .....</b>	<b>33</b>
<b>5.8. Zusammenfassung.....</b>	<b>35</b>

## Literaturverzeichnis

## 1. Problemstellung

Im Bereich der Automobilindustrie ist vor allem innerhalb der letzten 20 Jahre ein grundlegender Wandel feststellbar. Während der Wettbewerb früher allein auf den Absatzmärkten stattfand, ist er nun immer stärker entlang der Wertschöpfungsstrukturen spürbar. Dieser Wandel wird vor allem durch folgende vier Parameter bestimmt:<sup>1</sup>

- Marktentwicklung
- Marktsegmente
- Wettbewerbszunahme
- Makroökonomische Faktoren

Vor allem letztere haben ihren Einfluss durch deren starke Volatilität und zunehmende Verknappung auf den Rohstoffmärkten. Explizit sind hier die Rohstoffe Rohöl, Stahl und Kunststoff zu nennen, von denen die Automobilhersteller stark abhängig sind.<sup>2</sup>

Der Globalisierungsschub der 90er Jahre bildete die Triebkraft dieser Veränderungen und wurde zugleich in seiner Ausrichtung von diesen Veränderungen wesentlich beeinflusst. Outsourcing bildet nur ein Moment des Umstrukturierungsprozesses. Ganz allgemein geht es um die Neustrukturierung der Arbeitsteilung. Vor allem die Arbeitsteilung und die Wege der Zusammenarbeit zwischen den **Original Equipment Manufacturer** (OEM's), den Zulieferern und Dienstleistern ändern sich grundlegend. Attestiert wird diese Veränderung durch den kontinuierlichen Rückgang des Wertschöpfungsanteils der Automobilhersteller von ca. 35% auf ungefähr 25% in den nächsten sieben bis zehn Jahren.

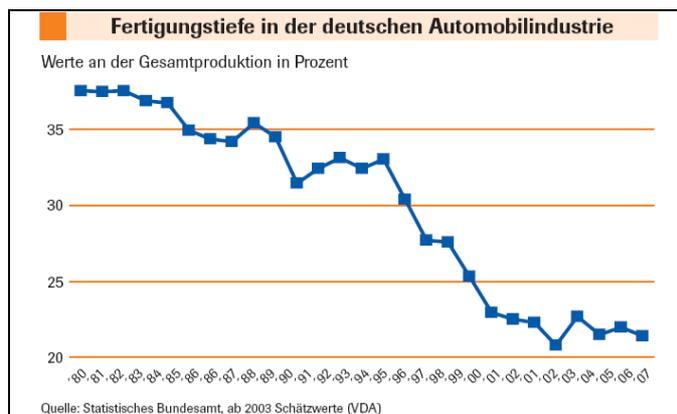


Abbildung 1: Entwicklung der Fertigungstiefe in der deutschen Automobilindustrie<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Vgl. Sanz, F., Semmler, K., Walther, J. (2007), S. 3

<sup>2</sup> Vgl. ebenda

<sup>3</sup> Vgl. Statistisches Bundesamt, entnommen: VDA-Automotive, Jahresbericht 2008, S. 76

Die Automobilhersteller sind durch die dargestellten Entwicklungen gezwungen, sich den dargestellten Entwicklungen entsprechend anzupassen und neu auszurichten. Sie müssen sich für eine höhere Flexibilität und für eine höhere Anpassungs- und Wandlungsfähigkeit rüsten. Die steigenden Marktanforderungen bezüglich Kosten, Qualität und Zeit erfordern eine weitreichende Gestaltung der Beschaffungsbeziehungen, da die klassischen Beziehungen unter reinen Preis- und Kostengesichtspunkten nicht mehr ausreichen. Stattdessen ist eine gemeinsame Koordination von Zielen und Aufgaben durch die Zuliefer- und Abnehmerunternehmen erforderlich. Vor allem der Fähigkeit zur Kooperations- und Netzwirkbildung, hinsichtlich der optimalen Verbesserung der gemeinsamen Wertschöpfungskette, kommt eine stetig wachsende Bedeutung zu. Der Trend entwickelt sich weg von der klassischen Zulieferer – Abnehmer Beziehung und hin zur strategischen Partnerschaft.<sup>4</sup>

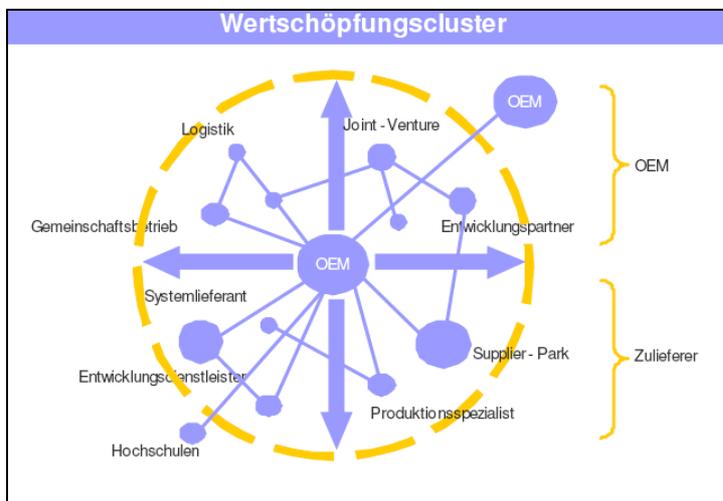


Abbildung 2: Entwicklung von Wertschöpfungscluster<sup>5</sup>

Die OEM's treten aus der hierarchischen Spitze der Pyramide aus und werden zunehmend Teil eines Netzwerkes. Dabei ändern sich die Ausprägungen, Interaktionen und Schwerpunkte entlang unternehmensübergreifender Wertschöpfungsketten und entlang konkreter strategischer oder operativer Herausforderungen,

Aufgrund des beschriebenen Wandels im Verhältnis zwischen den Automobilherstellern und seinen Zulieferern und der Tatsache, dass die Preise für Rohmaterialien extrem ansteigen werden, müssen die Zulieferer interne Kosteneinsparungen realisieren, um bei den OEM's nicht an Attraktivität zu verlieren und um vielmehr die Geschäftsbeziehungen zu stärken und langfristig zu sichern.

<sup>4</sup> Vgl. Sanz, F., Semmler, K., Walther, J., (2007), S. 6

<sup>5</sup> Vgl. VDA-Automotive, Jahresbericht 2008, S. 78

Eine Option der Effizienzerhöhung liegt in der Optimierung der Produktionsplanung und hier konkret in der Gestaltung der Losgrößen. Die folgende Abhandlung beschäftigt sich mit der Fragestellung, wie für einen Zulieferer der OEM's die optimierte Losgröße am Beispiel einer Pressstrasse zur Gewinnung von Blechteilen zu berechnen wäre. Es wird der Versuch unternommen, hieraus ein allgemeingültiges Modell abzuleiten.

Im ersten Schritt werden die kritischen Faktoren der Losgrößenberechnung definiert. Dies sind explizit die Lagerkosten, die Kapitalbindungskosten und die Rüstkosten. Nachdem alle Parameter, die diese Kosten bestimmen, dargestellt wurden, wird die Ist-Situation anhand von drei ausgewählten Beispielartikeln berechnet und den einzelnen Kosten direkt gegenübergestellt. Die Berechnungsbeispiele sind in einem Praxisprojekt ermittelt worden. Anschließend wird auf Basis dieser Ergebnisse die optimale Losgröße für diese drei Artikel berechnet. Über ein mathematisches Verfahren wird dann ein allgemeingültiges Modell zur Optimierung der Losgröße aufgestellt und mit der Praxis verglichen. Im letzten Schritt soll aus den gesammelten Ergebnissen und Erkenntnissen eine Checkliste erstellt werden, die für die zukünftige Produktionsplanung eine Hilfestellung zur Findung einer kostenoptimaleren Losgröße geben soll bzw. die Kostentreiber für die Losgrößen darstellt.

## **2. Einordnung der Thematik**

Die Herausforderung der Ermittlung der optimalen Losgröße in der Blechteilindustrie der Automobilzulieferer ist im Bereich des Logistik-Controllings einzuordnen. Der Begriff stellt ein funktionales Subsystem des gesamten Controllingsystems dar, welches auf Controllingaufgaben im Logistikbereich eines Unternehmens abzielt.<sup>6</sup> Die Aufgaben des Logistik-Controlling bestehen darin, spezifische Rationalisierungspotentiale zu erschließen, „indem eine Informationsbasis geschaffen wird, mit deren Hilfe die logistischen Prozesse zielorientiert geplant, gesteuert und kontrolliert werden können“.<sup>7</sup> Das Logistik-Controlling bezieht sich nicht auf einen bestimmten Unternehmensfunktionsbereich sondern auf die gesamte Logistikkette von der Beschaffung über die Produktion und Distribution bis hin zur Entsorgung.<sup>8</sup> Die Problematik der optimalen Losgrößenbestimmung ist damit ein wichtiger Teil innerhalb der Produktionsplanung, die sich wiederum in vier Teilbereiche untergliedern lässt.

---

<sup>6</sup> Vgl. Plagemann, N., (2005), S. 5

<sup>7</sup> Liessmann, K., (1999), S. 433

<sup>8</sup> Vgl. Plagemann, N., (2005), S. 5

**Die Prozessplanung:** Die Produktionsplanung bzw. die taktische Produktionsplanung umfasst insbesondere die Produktentwicklung, die Sortimentsplanung sowie die Planung der Produktionsmengen und der Produktionstermine. Sie plant die Produktion mittelfristig.<sup>9</sup>

**Die Prozesssteuerung:** Die Prozesssteuerung bzw. die operative Produktionsplanung ist für die Umsetzung der taktischen Produktionsplanung verantwortlich. Hier kann es abhängig von der Produktionsstruktur zu verschiedenen Problemstellungen oder Herausforderungen kommen. Bei auftragsbestimmter Einzelfertigung steht die Frage der Auftragsfolge im Vordergrund. Bei marktbestimmter Massenfertigung stehen die Fragestellungen der zeitlichen Abstimmung zwischen Nachfrage und Produktion, der Bestimmung der Losgrößen und der Kapazitätenzuordnung der Maschinen im Fokus. Bei der Sorten- und Serienfertigung, bei der eine begrenzte Anzahl von Produkten nacheinander losweise auf denselben Anlagen hergestellt wird, sind die Kernfragen nach der Seriengröße und der Reihenfolge, in der die einzelnen Serien gefertigt werden sollen, zu klären. Mit welcher Losgröße die Serien produziert werden sollen, ist eine weitere entscheidende Frage.<sup>10</sup>

**Die Prozesskontrolle:** Die Aufgaben der Prozesskontrolle sind die Überwachung der Durchführung der Produktion sowie die Aufdeckung eventueller Abweichungen von den gesetzten Plänen und Normen. Wenn Abweichungen diagnostiziert werden, ist die Prozesskontrolle dafür zuständig eine schnelle Behebung einzuleiten. Insbesondere umfasst sie die Qualitäts-, Quantitäts- und Terminkontrolle.<sup>11</sup>

**Bereitstellungsplanung:** Die Bereitstellungsplanung ist der taktischen und operativen Produktionsplanung vorgelagert und ist verantwortlich dafür, dass die in der Produktion benötigten Betriebsmittel, Werkstoffe und Arbeitskräfte zu rechten Zeit am rechten Ort zur Verfügung stehen, und ein reibungsloser Produktionsprozess von Statten gehen kann.<sup>12</sup>

Die Ziele der Produktionsplanung und –steuerung lassen sich aus den Unternehmenszielen ableiten und bestehen hauptsächlich aus den Ansätzen zur:

- Senkung der Bestände
- Verminderung der Durchlaufzeiten
- Erhöhung der Kapazitätsauslastung
- Erhöhung von Flexibilität und Termintreue

---

<sup>9</sup> Vgl. Kistner, K.-P., Steven, M., (2001), S. 7

<sup>10</sup> Vgl. ebenda

<sup>11</sup> Vgl. Kistner, K.-P., Steven, M., (2001), S. 7f.

<sup>12</sup> Vgl. Kistner, K.-P., Steven, M., (2001), S. 8f

### 3. Losgrößenplanung

Das Ziel der Losgrößenplanung ist es, die Größe des Loses kostenoptimal zu definieren. Bei regelmäßig wiederkehrenden Aufträgen oder Abrufen von bestimmten Artikeln scheint es sinnvoll, bei jedem Produktionsvorgang mehrere Aufträge und Abrufe in einem Schritt zu bearbeiten, um ein häufiges Wechseln der Produkte auf den Maschinen zu vermeiden. Bei jedem Wechsel können während der Umbauten keine Güter produziert werden, die einen positiven Deckungsbeitrag für das Unternehmen liefern. Deswegen scheint man auf den ersten Blick geneigt, möglichst große Losgrößen zu fertigen um ein häufiges Umrüsten der Maschinen zu umgehen. Jeder Umrüstvorgang erfordert Zeit und verursacht Kosten, die zum einen durch den Leerlauf der Maschinen und zum anderen durch Personaleinsatz generiert werden. Andererseits resultieren aus dem Zusammenfassen mehrerer Aufträge und Abrufe zu einem Produktionslos hohe Lagerbestände. Die hohen Bestände müssen bis zu ihrem Auslieferungstermin adäquat eingelagert werden. Diese Zwischenlagerung bringt einen erheblichen Platzbedarf, der anderweitig für Produktionsanlagen genutzt werden könnte mit sich und verursacht hohe Lagerkosten. Mit der Lagerung sind Kapitalbindungskosten verbunden, die nicht unerheblich in Fragen der Rationalisierung unserer Prozesse sind. Solange die Aufträge nicht abgesetzt sind, erfolgt keine Zahlung. Dies wirkt sich wiederum negativ auf den Cash-Flow des Unternehmens aus.

Die Kür der Losgrößenplanung ist es, das Los zu finden, bei dem die Gesamtkosten der gegenläufigen Kostenentwicklungen am geringsten sind.

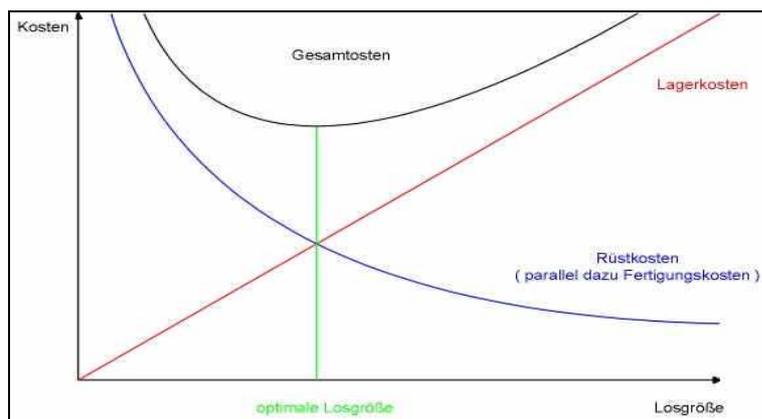


Abbildung 3: Optimale Losgröße<sup>13</sup>

Hierzu gibt es zahlreiche Verfahren, die die Berechnung der optimalen Losgröße erleichtern sollen.

<sup>13</sup> <http://www.rz.fh-ulm.de/projects/lars/Projstud/Fallbsp/FISCHER/Berech2.jpg/> 28.12.07

### **3.1. Rüstkosten als kritischer Faktor der Losgrößenermittlung**

Durch den Produktionswechsel können Umrüst- und Einrichtungsarbeiten entstehen. Bevor mit der Produktion eines anderen Guts begonnen werden kann, ist es oft notwendig, dass Maschinen umgerüstet oder eingestellt werden müssen. In diesem Zusammenhang ist es manchmal unabdingbar, Werkzeuge oder Vorrichtungen zu wechseln, umzubauen oder zu reinigen. Dabei können Rüstkosten in Form eines Faktorverzehrs an Material oder Werkzeugen während des Umrüstvorgangs entstehen.<sup>14</sup>

Weitere direkte Rüstkosten stellt oftmals der benötigte Personaleinsatz dar, der während des Umrüstvorgangs keine Aufgaben verrichten kann, die sich positiv auf das Unternehmensergebnis ausrichten.

Wenn die Maschine einen Engpassfaktor darstellt, werden des Weiteren indirekte Rüstkosten in Form von Opportunitätskosten für den Stillstand der Maschine generiert, da während der Dauer des Umrüstvorgangs kein Gut produziert werden kann.

Nachdem alle Maschinen umgerüstet wurden, können weitere Kosten, die mit dem Anlauf der Produktion in Verbindung stehen, anfallen. Oft wird ein erstes Gut produziert und mit einem Musterteil verglichen, um die Maschine auf eventuelle Abweichungen zu kontrollieren. Sofern Differenzen existieren, müssen solange Nacharbeitungs- und Justieraufgaben verrichtet werden, bis ein stabiler Fertigungsprozess gewährleistet werden kann.

### **3.2. Lagerkosten als kritischer Faktor der Losgrößenbestimmung**

Sofern nicht nach dem Just-in-Time Prinzip produziert werden kann, müssen die gefertigten Güter zwischen- oder eingelagert werden. Jedes Lager verursacht jedoch Kosten, die die Wirtschaftlichkeit des Unternehmens mindern. Die dabei entstehenden Lagerkosten lassen sich in drei Teilbereiche unterteilen.<sup>15</sup>

Den ersten Bereich bilden die Kosten der Güterlagerung. Hierunter fallen Lagerraumkosten wie beispielsweise die Miete bzw. Abschreibung auf die Lagergebäude oder Einrichtung sowie Kapitalbindungskosten als Kosten aus Lagerbeständen.

Den zweiten Bereich umfassen die Kosten der Güterbehandlung. Dies können Kosten aus der Güterbewegung, Tätigkeiten wie zum Beispiel das Einlagern, Auslagern oder Kommissionieren sein. Arbeitsschritte wie das Lüften, Umfüllen, Wenden oder Ähnliches fallen in die Rubrik Gütererhaltung und sind ebenfalls im Bereich Güterbehandlung angesiedelt. Durch qualitätsändernde Tätigkeiten, wie das Reifen oder Ernten, können Kosten der Güter-

---

<sup>14</sup> Bloech, J., Bogaschewsky, R., Buscher, U., Daub, A., Götze, U., Roland, F. (2008), S. 260

<sup>15</sup> Eichner, W., (1995), S. 69

Veränderung entstehen. Kosten die durch das Auszeichnen, Umzeichnen, Verpacken oder Bemustern generiert werden, gehören zu den Kosten der sonstigen Güterbehandlung und werden ebenfalls unter dem Bereich Güterbehandlung aufgeführt.

Den letzten Bereich kennzeichnen die Kosten der Güterverwaltung. Alle Kosten, die durch Tätigkeiten der Lagerverwaltung, der Disposition sowie der Leitungsfunktion entstehen, gehören zu diesen Lagerkosten. Auch die eventuell anfallenden anteiligen Kosten des Rechnungswesens und bei Beschaffungslagern die Kosten für den Einkauf, für den Wareneingang und die Qualitätskontrolle können ein Bestandteil der Kosten dieses Bereichs sein.

#### **4. Kritische Würdigung der verschiedenen Berechnungsverfahren der optimalen Losgröße in der Theorie**

In der Theorie existieren viele verschiedene Modelle, die versuchen einen hilfreichen Ansatz zu der Losgrößenproblematik darzustellen, wie beispielsweise die Andlersche Losgrößenformel, das Silver - Meal - Verfahren, das Wagner - Within - Verfahren und viele weitere. Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die theoretischen Modelle nur bedingt in der Praxis einsetzbar sind, da sie zumeist realitätsferne Prämissen verlangen oder nur eine isolierte Betrachtung eines einzelnen Guts zulassen. Eine häufig genannte Voraussetzung ist die Unbeschränktheit von Lager – und Produktionskapazitäten. Jedoch wird in den Unternehmen gerade aus den Gründen der beschränkten Kapazitäten, der Wunsch nach einer Losgrößenoptimierung generiert.

Einige Modelle sind speziell für ein Einproduktunternehmen konstruiert worden, welche man nur noch sehr selten in der Wirtschaftswelt antrifft. Mit zunehmender Produktvielfalt steigt zudem der Rechenaufwand überproportional an. Als Beispiel stelle man sich eine Maschine vor, die von 2000 verschiedenen Teilen beansprucht wird.

Weitere Beschränkungen für die Funktionalität der genannten Verfahren, wie eine Unterteilung des Planungszeitraum in diskrete Perioden sowie eine bekannte genaue Nachfragemenge in den Teilperioden, lassen sich in der Praxis nur sehr schwer und selten realisieren.

Einige weitere Faktoren wie zum Beispiel der Rohmaterialbestand, Leergutträgerbestand oder die Liquidität werden in allen Verfahren komplett vernachlässigt. Jedoch können gerade diese Aspekte zu losgrößenbeschränkenden Umständen führen.

Resümierend ist festzuhalten, dass in der Theorie keine allgemeingültige Formel existiert, die alle unternehmensspezifischen Charakteristika berücksichtigt und die damit auf jedes Unternehmen abbildbar ist.

## **5. Entwicklung des Konzepts zur Verbesserung der Losgrößenplanung**

Nachdem die Rüstkosten, die Lagerkosten und die Kapitalkosten als wichtigste Parameter für die Berechnung der optimalen Losgröße erkannt wurden, sollen im Folgenden die tatsächlichen Rüstkosten den tatsächlichen Lager- und Kapitalbindungskosten gegenübergestellt werden, die in einem konkreten Praxisprojekt ermittelt wurden. Ziel ist es, die gesamt-kostenoptimale Menge zu ermitteln. Dies soll zur Veranschaulichung anhand dreier unterschiedlicher Pressteile geschehen. Unter den Pressteilen befindet sich ein voluminöses Bodenblech der Serienfertigung mit einer bisherigen Losgröße von ca. 5000 in einem Intervall von 14 Tagen. Ein weiteres Pressteil ist die Konsole einer Sitzbefestigung, das ebenfalls in Serie 14-tägig zu je ca. 5000. Stück abgepresst wird, von den Abmessungen jedoch wesentlich geringer ist. Der dritte Untersuchungsgegenstand ist ein vorderer Kotflügel für die Ersatzteilversorgung, der durchschnittlich alle sechs bis sieben Wochen zu je ungefähr 2500 Stück abgepresst wird.

In einem ersten Schritt der Analyse werden die tatsächlichen Rüst-, Lager- und Kapitalkosten ermittelt. Hierauf sollen auf Basis von vergangenen Abpressungen die tatsächlichen Kosten berechnet und analysiert werden, ehe dann die kostenoptimale Produktionsmenge kalkuliert wird. Im letzten Schritt soll die errechnete optimierte Losgröße auf ihre Umsetzbarkeit kritisch geprüft werden.

### **5.1. Die Ermittlung der Kapitalbindungskosten**

In der Regel muss der Hersteller bei einem Abruf alle Ausgaben, die im Zusammenhang mit der Produktion bis zum Erfolg des Zahlungseingangs stehen, vorfinanzieren. Explizit beinhaltet dies, beginnend mit dem Rohmaterialeinsatz, alle Ausgaben und Kosten, die im Zusammenhang mit der Wertschöpfung und Güterbehandlung anfallen. Das dabei investierte und damit zugleich gebundene Kapital, muss über Kredite bereitgestellt werden und verursacht Kosten – Kapitalbindungskosten. Für die Berechnung der Kapitalbindungskosten müssen vier Faktoren hinreichend bekannt sein:

- Zinssatz
- Durchschnittliche Kapitalbindungsdauer
- Rohmaterial und Wertschöpfungskosten pro Stück
- Durchschnittliche Losgröße

Diese vier Werte sollen im Nachfolgenden beschrieben werden und in der Berechnung der Kapitalbindungskosten für die drei genannten Beispielpressteile zum Einsatz kommen.

## **Zinssatz**

Der Zinssatz ist ein maßgeblicher und sehr sensibler Faktor für die Höhe der Kapitalbindung. Wie bereits genannt, müssen die einzelnen Abrufe mit Fremdkapital vorfinanziert werden. Aus diesem Grund muss für die Berechnung der Kapitalbindungskosten der Zinssatz verwendet werden, zu dem der Zulieferer Kredite aufnehmen kann. In der weiteren Berechnung wird ein Fremdkapitalzinssatz von 7 % angesetzt, da er die derzeitige Geldmarktsituation sehr gut reflektiert.

Es ist für die Berechnung sehr wichtig, immer den aktuellen Prozentsatz zu wählen, da eine Differenz von einem Prozentpunkt eine Abweichung der Kapitalbindungskosten von ca. 14 % verursacht.

## **Durchschnittliche Kapitalbindungsdauer**

Die durchschnittliche Kapitalbindungsdauer stellt einen weiteren Einflussfaktor für die Kapitalbindungskosten dar. Diese müssen jedoch für die Kosten des Rohmaterials und die Kosten der Wertschöpfung der Herstellung - das Rüsten und Fertigen - getrennt betrachtet werden.

Sobald das Rohmaterial aus dem Konsignationslager entnommen wurde, muss in unserem Beispiel die Bezahlung des Rohmaterials in die Wege geleitet werden. Für die Bezahlung des Rohmaterials bestehen die gleichen Zahlungsmodalitäten wie bei dem Zahlungseingang der Forderungen für die Lieferungen von Fertigerzeugnissen. Bezahlt wird in diesem Ansatz zum fünfundzwanzigsten Kalendertag des Folgemonats. Das heißt, dass mit dem Rohmaterial bereits 25 bis 55 Tage (im Durchschnitt 40 Tage) gewirtschaftet werden kann, bevor es bezahlt werden muss. Für allgemeingültige Berechnungen muss dieser Zahlungsansatz jeweils neu ermittelt werden. Ab diesem Zeitpunkt, an dem das Rohmaterial mit Fremdkapital bezahlt wird, entstehen Kapitalbindungskosten für das Rohmaterial bis der Zahlungseingang erfolgt. Je länger der Zeitraum von Bezahlung des Rohmaterials bis zum Zahlungseingang der Fertigerzeugnisse ist, desto höher sind die Kapitalbindungskosten.

Die Kapitalbindungskosten auf die Ausgaben der Wertschöpfung müssen ab dem Zeitpunkt an dem sie anfallen berechnet werden. Um die Kapitalbindungskosten möglichst gering zu halten, muss größerer Wert auf kurze Durchlaufzeiten und niedrige Bestände Wert gelegt werden.

Die gesamte Kapitalbindungsdauer unterteilt sich in diesem Beispiel in drei Phasen:

Die erste Phase stellt die Entnahme des Rohmaterials aus dem Konsignationslager und der damit verbundene Platinezuschnitt dar. In der Regel erfolgt der Zuschnitt drei Tage vor dem Abpresstermin. Diesem Zeitraum muss jedoch noch ein durchschnittlicher Aufschlag von ungefähr fünf Tagen gemacht werden, da nicht jeder Coil bei einem Zuschnitt komplett aufgebraucht wird, sondern kapitalbindend bis zum nächsten Zuschnitt, in dem eigenen Coillager, verweilt. Die Phase eins der Kapitalbindung, der Zeitraum von der Entnahme des Coils, dem Zuschnitt und der Bereitstellung zur Abpressung, wird folglich mit fünf Tagen angesetzt.

Die zweite Phase im Zeitraum der gesamten Kapitalbindungsdauer ist das Abpressintervall. Dies ist der durchschnittliche Zeitraum zwischen der Abpressung und dem Versand der Artikel. Es ist zu unterscheiden, ob eine Abpressung für einen einzigen oder für mehrere Abrufe erfolgt. Bei nur einem Abruf ist als Zeitraum der zweiten Phase die Dauer von Abpressung bis zum Versand anzusetzen. Bei einer Abpressung, die mehrere Abrufe deckt, muss der Zeitraum zwischen zwei Abpressungen herangezogen und anschließend halbiert werden. Dies hat den Hintergrund, dass bei mehreren Abrufen die abgepresste Losgröße sukzessive an den Kunden versendet wird.

In einem Beispiel mit einer monatlichen Losgröße von 5000 wäre der Lagerbestand am Tag der Abpressung 5000 nach vierzehn Tagen ungefähr 2500 und am letzten Tag des Monats null. Daraus ergibt sich eine durchschnittliche Lagerdauer von jedem Pressteil von 14 Tagen.

Die dritte Phase ist der Zeitraum zwischen dem Versand und dem Zahlungseingang. Alle Auslieferungen während eines Monats werden zum fünfundzwanzigsten des Folgemonats beglichen. Im Umkehrschluss heißt dies, dass die Kapitalbindungsdauer der Phase drei maximal vom ersten und minimal vom letzten Tag des Auslieferungsmonats bis zum fünfundzwanzigsten des Folgemonats ist. Die Kapitalbindungsdauer in dieser Phase ist somit minimal fünfundzwanzig und maximal fünfundfünfzig Tage, jedoch im Durchschnitt vierzig Tage. Aus diesem Grund werden für die Dauer vom Versand bis zum Zahlungseingang in den weiteren Berechnungen vierzig Tage angesetzt.

Die dritte Phase fließt jedoch nur in die Kapitalbindungskosten der Kosten der Wertschöpfung mit ein, da für die Bezahlung des Rohmaterials dieselben Modalitäten gelten wie für die Bezahlung der Fertigerzeugnisse seitens der Kunden. Dadurch dass die durchschnittlich 40 Tage bis zum Erfolg des Zahlungseingangs von den 40 Tagen Vorschub, in denen gewirtschaftet werden kann ohne dass das Material bezahlt wurde, aufgehoben werden, fließen sie in die Kapitalbindungskosten nicht mit ein.

Werden die drei Phasen aufsummiert, erhält man die durchschnittliche Kapitalbindungsdauer der einzelnen Pressteile auf die Kosten der Wertschöpfung der Herstellung. In der Berechnung wurde die Zeitspanne der Phase II aus den Vergangenheitswerten der Abpressungen im Zeitraum Januar 2007 bis Juli 2008 errechnet.

Als Beispiel für die Berechnung der Phase II dient die Produktion des Bodenteils. Es wurde im Jahr 2007 insgesamt 23-mal abgepresst. Im Jahr 2008 bis zum Monat Juli insgesamt elf mal. Addiert man die Werte, so erhält man zusammen 34 Abpressungen in 82 Wochen (52+30). Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass alle 16,88 Tage abgepresst wurde ( $82 / 34 * 7 = 16,88$  Tage). Für die Kapitalbindung muss dieser Wert halbiert werden, wodurch sich eine durchschnittliche Kapitalbindungsdauer für das Bodenblech von 8,5 Tagen ergibt.

### **Die Rohmaterialkosten und Herstellungskosten pro Stück**

Eine weitere Größe, die Einfluss auf die Höhe der Kapitalbindung nimmt, stellen die Rohmaterialkosten und Wertschöpfungskosten der Herstellung pro Stück dar. Je kapitalintensiver der Materialeinsatz und die Produktion eines Erzeugnisses ist, desto mehr Fremdkapital pro Stück wird benötigt, um die Produktion realisieren zu können. Die Kapitalintensivität des Rohmaterials hängt sehr stark von der Güte des eingesetzten Materials und dem Verbrauch pro Stück ab. So sind die Materialkosten eines sensiblen Außenhautteils wesentlich höher als die eines kleinen Verbauteils.

In der späteren Kalkulation werden die gesamten Kapitalbindungskosten zum einen aus den Kosten der Kapitalbindung des Rohmaterials und aus den Kosten der Kapitalbindung der Wertschöpfung der Herstellung berechnet. Die Kosten der Wertschöpfung der Herstellung berechnen sich aus den Herstellkosten abzüglich der Rohmaterialkosten. Explizit sind das die Kosten des Rüstens und Fertigen auf der Platinenschneidanlage und der Pressstraße über den Maschinenstundensatz, zuzüglich dem damit verbundenem Personaleinsatz.

Um die Berechnung anhand eines konkretem Zahlenbeispiel durchführen zu können, werden in den nachfolgenden Berechnungen die durchschnittlichen Herstellkosten pro Stück der letzten acht bis zwölf Abpressungen verwendet. Diese Vergangenheitswerte werden zur exakteren Berechnung mit den aktuellen Stundensätzen aktualisiert, um eine exaktere Basis für spätere Kalkulationen zu stellen. Siehe nachfolgendes Zahlenbeispiel dargestellt am Kotflügel:

Auftrags- start	Gut- menge	Ausschuss		Herstellkosten pro Stück
Datum	Stück	Stück	in %	EUR
<b>Vorderkotfluegel</b>				<b>NEU</b> Basis = Std.satz 2008
09.01.2007	2.113	27	1,3%	17,51
26.03.2007	2.419	28	1,1%	16,07
14.05.2007	2.672	36	1,3%	14,53
31.07.2007	2.356	32	1,3%	13,15
09.10.2007	2.776	46	1,6%	12,36
10.12.2007	2.199	190	8,0%	15,34
05.03.2008	2.481	84	3,3%	14,63
26.05.2008	2.156	18	0,8%	12,43
				<b>14,50</b>

Abbildung 4: Herstellkosten des Kotflügels<sup>16</sup>

Die Kosten des Rohmaterials pro Stück sind mit 6,84 € bekannt. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass Kosten der Wertschöpfung in Höhe von 7,66 € angefallen sind. (14,50 € - 6,84 €)

### Durchschnittliche Losgröße

Die letzte Größe, die die Kapitalbindungskosten mittelbar beeinflusst ist die Losgröße. Je nach Veränderungsrichtung der Losgröße wirkt sich dies auf zwei bereits genannte Einflussgrößen der Kapitalbindung aus – die Herstellkosten pro Stück und die Kapitalbindungsdauer.

Im Falle einer Losgrößenerhöhung wird die Phase „zwei“ der Kapitalbindungsdauer, d.h. das Abpressintervall verlängert, wodurch die Kapitalbindungskosten steigen. Im selben Zug werden jedoch, durch die Verlängerung der Losgröße, die Herstellkosten pro Stück im Rahmen der Fixkostendegression gesenkt, wodurch die Kapitalbindungskosten pro Stück gesenkt werden. Je nach Größe des Anteils der Fixkosten an den Herstellkosten, wird der eine oder der andere Effekt, annualisiert betrachtet, überwiegen. Ist der Anteil niedrig, werden bei einer Losgrößenverlängerung die gesamten Kapitalbindungskosten auf lange Sicht betrachtet steigen. Ist der Anteil und der Effekt der Fixkostendegression jedoch sehr groß,

<sup>16</sup> Quelle: Kostenrechnung aus dem Beispielunternehmen

überkompensieren sie den negativen Effekt der verlängerten Kapitalbindungsdauer durch den Wegfall der Fixkosten von zusätzlichen Abpressungen.

Für die Berechnung der Kapitalbindungskosten werden zur Veranschaulichung Durchschnittslosgrößen von 2397 für den Kotflügel, 4973 für die Sitzkonsole und 5154 für das Bodenblech verwendet, die sich aus den Vergangenheitswerten der Abpressungen Januar 2007 bis Juli 2008 errechnet haben.

### Die Berechnung der Kapitalbindungskosten

Nachdem alle maßgeblichen Faktoren für die Ermittlung der Kapitalbindungskosten definiert sind, ergibt sich für die Berechnung folgende Formel:

$$K = (MK/St * L * Z / 365 * (t1 + t2)) + (WK/St * L * Z / 365 * (t1 + t2 + t3))$$

- K = Kapitalbindungskosten
- MK/St = Materialkosten pro Stück
- L = Losgröße
- Z = Fremdkapitalzinssatz
- tn = Kapitalbindungsdauer der Phase n
- WK/St = Wertschöpfungskosten pro Stück

In der nachfolgenden Tabelle wurde diese Formel für die drei bekannten Beispielartikel berechnet.

Kapitalbindung	7%
----------------	----

	Kotflügel	Sitzkonsole	Bodenblech
Losgröße Durchschnitt	2397	4973	5154
Kapitalbindung Material			
MK /St	6,84	3,35	13,59
Phase I	5	5	5
Phase II	30	8	8,50
Gesamt	35,0	13,0	13,5
MK	16.394,53 €	16.636,69 €	70.033,59 €

Kapitalbindung Material	110,05 €	41,48 €	181,32 €
Kapitalbindung Wertschöpfung			
WK/St	7,66	1,86	4,92
Phase II	5	5	5
Phase II	30	8	8,5
Phase III	40	40	40
Gesamt	75,0	53,0	53,5
HK	18.361,46 €	9.262,36 €	25.349,40 €
Kapitalbindung Wertschöpfung	264,10 €	94,15 €	260,09 €
Kapitalbindung gesamt	374,15 €	135,62 €	441,41 €

Abbildung 5: Berechnung der Kapitalbindungskosten<sup>17</sup>

Es ergeben sich für die drei verschiedenen Artikel sehr unterschiedliche Kapitalbindungskosten aufgrund der starken Differenzen in den Herstellkosten und der Kapitalbindungsdauer.

## 5.2. Ermittlung und Berechnung der Lagerkosten

Jedes Gut, das nicht sofort nach der Produktion weiterverarbeitet oder versendet wird, sondern zwischengelagert werden muss verursacht Lagerkosten. Um die konkreten Lagerkosten für ein Los eines bestimmten Artikels zu berechnen, sind folgende Faktoren, die die Lagerkosten im direkten Maße beeinflussen, zu ermitteln:

- Lagerkostensatz pro Quadratmeter
- Durchschnittliche Losgröße
- Benötigter Lagerraum
- Durchschnittliche Lagerdauer

Die genannten Parameter werden im nachfolgenden Teil ermittelt und in die Berechnung der drei Beispielartikel eingebracht.

### Ermittlung des Lagerkostentagesatz pro Quadratmeter

In diesem Gliederungspunkt werden die gesamten Lagerkosten bei unserem Beispielpartner eruiert. Prinzipiell können Lagerkosten durch drei Arten entstehen. Sie unterteilen sich in die

<sup>17</sup> Quelle. Eigene Berechnung

Kosten der Güterlagerung, der Güterbewegung und der Güterverwaltung. Jede Kostenart unterteilt sich wiederum in verschiedene Bereiche, wie die nachfolgende Aufzählung attestiert.<sup>18</sup>

Kosten der Güterlagerung:

Lagerraumkosten:

Kosten für den Lagerraum:

- Miete
- Abschreibung auf Lagergebäude und Lagereinrichtung

Kosten für Energie:

- Beleuchtung
- Heizung

Sonstige:

- Instandhaltung
- Reinigung
- Versicherung (Gebäude, Einrichtung + Vermögens und Grundsteueranteile
- Verzinsung des eingesetzten Kapitals (Opportunitätskosten)

Kosten aus Lagerbeständen:

- Zinsen auf Vorräte
- Versicherung
- Anteilige Steuern
- Kosten aus (Verderb) Schwund und Q-Minderung

Kosten der Güterbehandlung:

Kosten der Güterbewegung:

- Alle Kosten aus Tätigkeiten der Materialflussskette (Ab-, Um-, Auslagern, Beladen, Kommissionieren)
- Alle Kosten für die Bedienung und den Betrieb der Transport- und Lagerhilfsmittel (Gabelstapler, Krane, Regalbediengeräte etc.)

Kosten der Gütererhaltung

- Kosten zur Erhaltung der Qualität (Lüften, Wenden, Umfüllen), zuzüglich den dabei entstehen Personalkosten + Kosten aus dem Betrieb notwendiger Einrichtungen + Material

Kosten der Güterveränderung

- qualitative Veränderungen (Reifen, Ernten)
- quantitative Veränderungen (Teilen, Zuschneiden) + Kosten aus dem Betrieb notwendiger Einrichtungen + Material

Kosten der Güterbehandlung

- Vorgänge (Aus-, Umzeichnen, Probenehmen, Bemustern, Verpacken + Kosten aus dem Betrieb notwendiger Einrichtungen + Material)

---

<sup>18</sup> Eichner, W., (1995), S. 69ff

#### Kosten der Güterverwaltung:

- Kosten durch Tätigkeiten der Lagerverwaltung, Disposition und der Leitungsfunktion + Kosten für Büroräume incl. Beleuchtung, Heizung,
- Einrichtung, Material und EDV
- Anteilige Kosten des Rechnungswesens
- Bei Beschaffungslagern für den Einkauf und Kosten für Wareneingang und Qualitätskontrolle

Nun ist es auf Grund der Unternehmensspezifika so, dass bei der Beispielfirma nicht in allen Positionen Lagerkosten anfallen. So existieren zum Beispiel keine Kosten für die Gütererhaltung und Güterbehandlung. Um die Lagerkosten pro Quadratmeter je Tag zu ermitteln, müssen dem Betriebsabrechnungsbogen alle Kostenpositionen entnommen werden, die im Zusammenhang mit der Lagerung stehen. Dies sind Kosten, die den jeweiligen Lagern über die jeweilige Kostenstelle zugeordnet sind, wie beispielsweise die Abschreibung der Lagereinrichtung und deren Verzinsung oder auch direkte Personal- und Sachkosten (d. PuS-Kosten), wie beispielsweise das Gehalt für das Personal im Hochregallager (HRL) und dem Versand oder die vorhandenen Regalbediengeräte.

Die Summen der jeweiligen Kostenart werden anschließend durch die gesamte Lagerfläche geteilt, um einen Kostenwert pro Jahr und Quadratmeter zu erhalten, die in die spätere Lagerkostenberechnung, basierend auf Quadratmeter und Tag, mit einfließen.

Des Weiteren müssen Aufwendungen berücksichtigt werden, die über den Anteil der Lagerfläche an der gesamten Hallenfläche umgelegt werden müssen. Diese sind im Einzelnen die Kosten für Heizung, Beleuchtung, Miete, Reinigung und Versicherung.

Die gesamten Aufwendungen werden durch die Gesamtfläche dividiert, um die jährlichen Quadratmeterkosten zu ermitteln.

In einem weiteren Schritt addiert man die berechneten jährlichen Quadratmeterkosten miteinander und teilt sie durch die Kalendertage.

In unserer Beispielberechnung gehen wir von einem Lagerkostentagesatz pro Quadratmeter von 0,15 Euro pro Tag aus.

#### **Festsetzen der durchschnittliche Losgröße**

Im Bereich der Lagerkosten spielt die durchschnittliche Losgröße eine noch stärkere Rolle als bei der Kapitalbindung. Während die Kapitalbindung pro Stück aufgrund der Fixkostendegression geringer wird, entwickeln sich die Lagerkosten bezugnehmend auf die Losgröße

stufenweise direkt proportional. Das heißt, wenn die Losgröße verdoppelt wird, steigen die Lagerkosten im Regelfalle im selben Maße an. Die Losgröße macht sich unmittelbar über die nächsten beiden Faktoren, den benötigten Lagerraum und die durchschnittliche Lagerdauer, bemerkbar.

Für die Berechnung der Lagerkosten im Falle der drei Beispielartikel wird mit der gleichen Losgröße kalkuliert, wie oben beschrieben.

### **Kalkulation der benötigter Lagerfläche**

Ein weiterer wesentlicher Faktor, der die Höhe der Lagerkosten bestimmt, ist der mit der Einlagerung in Verbindung stehende Lagerraum. In der Berechnung wurde bereits der Lagerkostensatz pro Quadratmeter je Tag ermittelt. Wenn dieser Wert mit der benötigten Lagerfläche multipliziert wird ergeben sich die täglichen Lagerkosten des gesamten Loses.

Bei der Berechnung des benötigten Lagerbedarfs sind weitere Faktoren zu beachten. Sie unterteilt sich in drei Schritte. Die produzierten Güter werden nicht lose in Regalen gelagert, sondern in dafür vorgesehenen Ladungsträgern (LT) möglichst platz sparend in einem Blocklager eingelagert. Daraus ergibt sich der erste Berechnungsschritt.

Im ersten Berechnungsschritt muss festgestellt werden wie viel leere Ladungsträger benötigt werden, um das gesamte Los adäquat ein- oder zwischenzulagern. Da zu jedem Artikel ein passender Ladungsträger existiert, ist auch die zugehörige Füllmenge bekannt. Um die benötigte Anzahl leerer Ladungsträger zu ermitteln, wird die produzierte Losgröße durch die Füllmenge eines Ladungsträgers geteilt.

Im zweiten Berechnungsschritt wird über die Stapelbarkeit der Ladungsträger die Menge der Ladungsträgertürme eruiert. Die meisten Ladungsträger sind, je nach Höhe und Bauart, drei- bis sechsfach stapelbar. Die Anzahl der Türme ergibt sich durch die Division der benötigten Ladungsträger aus dem ersten Berechnungsschritt durch die Stapelbarkeit des jeweiligen Trägers.

Im dritten und zugleich letzten Lagerbedarfsberechnungsschritt wird die benötigte Grundfläche kalkuliert. Zuerst wird die Grundfläche des Ladungsträgers kalkuliert, indem die Breite mit der Länge multipliziert wird. Anschließend multipliziert man diese wiederum mit dem Ergebnis des zweiten Berechnungsschritts – den Ladungsträgertürmen. Das Ergebnis ist ein Nettolagerflächenbedarf. Diesen kann man jedoch nicht als reale Größe ansehen, da ein Blocklager keinen Nutzungsgrad von 100 % aufweist. Der Nutzungsgrad beträgt in der Regel ungefähr 60 % Es müssen Zwischengänge für den Staplerverkehr und Sicherheitsabstände zwischen den einzelnen Ladungsträgertürmen einkalkuliert werden, weshalb für den

Bruttolagerflächenbedarf ein Aufschlag von ungefähr 67 % auf den Nettolagerflächenbedarf mit einbezogen werden sollte (67% von 60% entsprechen ca. 40% von 100%). Für die drei bekannten Beispielartikel ergeben sich bei Abpressung der durchschnittlichen Losgröße folgende benötigte Lagerflächen:

	Beschreibung	Kotflügel	Konsole	Bodenblech
Schritt I	Losgröße	2397	4973	5154
	LT-Volumen	45	80	28
	LT	53,26	62,17	184,09
	Stapelbarkeit	4	6	4
Schritt II	LT-Türme	13,31	10,36	46,02
Schritt III	QM <sup>2</sup> pro LT	3,84	2,40	1,95
	Benötigte Bodenfläche in QM <sup>2</sup>	51,13	24,87	89,65
	Lagerfläche in QM <sup>2</sup>	85,38	41,53	149,72

Abbildung 6: Berechnung der benötigten Lagerfläche<sup>19</sup>

### Ermittlung der durchschnittliche Lagerdauer

Die Berechnung der durchschnittlichen Lagerdauer erfolgt im Wesentlichen nach dem nunmehr bekannten System. Die Phase I, der Zuschnitt, ist für die Lagerkosten ebenso relevant wie die Phase II, das Intervall zwischen den einzelnen Abpressungen. Die Phase III, der Zeitraum zwischen dem Versand und dem Zahlungseingang ist bei den Lagerkosten nicht zu berücksichtigen, da für diese Phase keine Lagerkosten anfallen. Für die Phase I werden ebenso wie bei der Berechnung der Kapitalbindung acht Tage veranschlagt. Die Phase II errechnet sich ebenso nach demselben Strickmuster wie oben dargestellt.

### Einbeziehung der Leergutträgerkosten

Für externe Universalbehälter wird eine Mietgebühr von ca. 20 Cent pro Tag von den Kunden erhoben. Im Bezug auf die Lagerkostenermittlung hat dies erhebliche Auswirkung, da durch diese Gebühr für die betroffenen Artikel die Lagerkosten 2,5 mal so hoch sind, verglichen mit mietkostenfreien Ladungsträgern.

Da die für unser Beispielunternehmen eigenen Ladungsträger in der Anschaffung ebenfalls sehr kostenintensiv sind, dürfen auf Teile, die in internen Ladungsträgern eingelagert werden, ebenfalls 20 Cent für die Abschreibung und den Verschleiß der Ladungsträger angesetzt

<sup>19</sup> Quelle: eigene Berechnung

werden. Ausschließlich Spezialladungsträger bleiben von einem Ladungsträger-Kostenzuschlag befreit.

### Berechnung der gesamten Lagerkosten

Nachdem alle maßgeblichen Faktoren für die Ermittlung der Lagerkosten definiert sind, ergibt sich für die Berechnung folgende Formel:

$$K = L / LTV / S * FLT * 1,67 * T * (LK+LTK)$$

K	=	Lagerkosten gesamt
L	=	Losgröße
LTV	=	Ladungsträgervolumen
S	=	Stapelbarkeit
FLT	=	Grundfläche des LT
1,67	=	Aufschlag für den Staplerverkehr und Sicherheitsabstände
T	=	durchschnittliche Lagerdauer
LK	=	Lagerkostensatz pro Tag und QM <sup>2</sup>
LTK	=	Ladungsträgerkosten pro Tag

In der nachfolgenden Tabelle wurden mit dieser Formel die Lagerkosten für die drei bekannten Beispielartikel berechnet.

Artikelbezeichnung Beschreibung	Kotflügel	Konsole	Bodenblech
Losgröße	2397	4973	5154
LT-Volumen	45	80	28
LT	53,26	62,17	184,09
Stapelbarkeit	4	6	4
LT-Türme	13,31	10,36	46,02
QM <sup>2</sup> pro LT	3,84	2,40	1,95
Benötigte Bodenfläche in QM <sup>2</sup>	51,13	24,87	89,65
Lagerfläche	85,38	41,53	149,72
Lagerdauer	46	13	13,5
LK / Tag	0,15 €	0,15 €	0,15 €
Ladungsträgerkosten	- €	0,20 €	- €
LK / Tag gesamt	0,15 €	0,35 €	0,15 €
LK	462,16 €	191,25 €	311,80 €

Abbildung 7: Berechnung der gesamten Lagerkosten<sup>20</sup>

<sup>20</sup> Quelle: eigene Berechnung

### **5.3. Ermittlung und Berechnung der Rüstkosten**

Jedes Mal, wenn die Produktion von einem Gut auf ein Anderes umgestellt wird, können während der Umstellung keine Güter produziert werden und es fallen in diesem Zeitraum Rüstkosten an. Das Ausmaß und die Konstellation dieser generierenden Kosten werden in hier dargestellt. Im Wesentlichen setzen sich die Rüstkosten aus den folgenden Faktoren zusammen:

- Maschinenrüstkosten
- Personaleinsatz
- Logistikkosten für das Werkzeughandling

Nachdem die genannten Parameter im nachfolgenden Teil ermittelt wurden, werden sie in die Berechnung der drei Beispielartikel eingebracht.

#### **Festsetzung des Maschinenrüstkostenstundensatzes**

Die Maschinenrüstkosten errechnen sich prinzipiell über den Maschinenstundensatz und der Rüstzeit. Der Maschinenstundensatz wird für jede Pressenstraße und Coilanlage getrennt ermittelt. Jedoch sind die darin auflaufenden Kostenpunkte nahezu identisch. Es werden folgende Kostenpunkte veranschlagt:

- GK – Lohnkosten aus Tätigkeiten (Reparatur, Wartung, Maschinenpflege, Qualitäts- u. Materialprobleme, Neuanlauf...)
- GK – Material (Blech / Guss / Stahl, Schneidwerkzeuge, Rohre, Handwerkzeuge, Elektromaterial, Schmierstoffe / Reinigungs- u. Lösemittel, Hilfsmittel u. Chemikalien, Löt- u. Schweißmittel)
- Energiekosten
- Reparatur und Wartung
- Versicherungen
- Kalkulatorische Abschreibung
- Kalkulatorische Zinsen
- Diverse Umlagen

Die Summe dieser Gesamtkosten wird anschließend durch die jährlichen Stundenbasis dividiert, um den Maschinenstundensatz zu erhalten.

Es gibt Pressenstraßen bei welchen eine Entnahme der Erzeugnisse nur nach der letzten Presse möglich. Aus diesem Grund müssen auch in dem Falle, dass nur drei bzw. vier Pressen der Pressenstraße benötigt werden, alle umgerüstet werden (die freie Presse dient dann ausschließlich als Ablagestation für den Transport). Die Folge ist, da bei jedem Artikel die

gesamte Pressenstraße umgerüstet wird, dass auf diesen Pressenstraßen mit nur einem gesamten Maschinenstundensatz gerechnet werden kann. Bei anderen Pressenstraßen existiert für jede einzelne Presse in der Pressenstraße ein eigener Maschinenstundensatz, da die Möglichkeit der Entnahme der Teile flexibler gestaltbar ist. Die Berechnung für die einzelnen Maschinenstundensätze erfolgt identisch mit den gleichen Kostenpositionen. Für Einzelpressen und die Coilanlagen gilt das Berechnungsverfahren analog zu den Pressenstraßen mit flexibler Entnahme der Teile.

Um die gesamten Maschinenrüstkosten zu berechnen, wird die Rüstzeit mit den einzelnen Maschinenstundensätzen multipliziert. Bei den Straßen die keine flexiblen Entnahmemöglichkeiten bieten, sowie bei den Einzelpressen wird nur ein Stundensatz herangezogen, wohingegen je nach Belegung bei den Straßen mit flexibler Entnahme, mehrere Sätze in die Berechnung miteinbezogen werden.

### **Personalkostenstundensatz**

Bei den Personalrüstkosten ergibt sich das gleiche System wie bei den Maschinenrüstkosten. Bei den Straßen vier und sechs ist die Anzahl der Werker immer gegeben. Bei den Straßen eins und zwei hängt die Anzahl der benötigten Werker von der Anzahl der Werkzeuge ab. Prinzipiell wird pro Werkzeug ein weiterer Werker benötigt.

Die Kosten belaufen sich wiederum je nach Anzahl der rüstenden Werker und der Höhe des Stundensatzes. Je nachdem wie viele Werker benötigt werden, um den Rüstvorgang zu vollziehen, desto flexibel gestalten sich auch die Rüstkosten für den Personaleinsatz. Die exakte Berechnung ergibt sich aus der Anzahl der Werker multipliziert mit dem Stundensatz und multipliziert mit der Rüstzeit.

### **Rüstzeit**

Die Rüstkosten errechnen sich aus der Addition der einzelnen Maschinen- und Personalstundensätzen multipliziert mit der Rüstzeit. Der Rüstvorgang beinhaltet einen Werkzeug- und einen Greifertausch. Die Rüstzeit der einzelnen Pressen und Pressenstraßen ist deshalb aufgrund der verschiedenen Aufbauarten verschieden. So verfügen die manche Pressenstraße über Wechseltische. Am Beispiel einer vierstufigen Pressenstraße bedeutet dies, dass für die vier Einzelpressen jeweils zwei Tische zur Verfügung stehen. Während vier Tische im Einsatz sind, können auf den anderen vieren bereits die Werkzeuge für den nächsten Rüstvorgang bereitgestellt werden. Kommt es zum Rüstvorgang werden die vier benutzten Werkzeuge auf

ihren Tischen herausgenommen und die neuen Tische eingefahren. Dies führt zu einem schnelleren Rüsten, als wenn die Werkzeuge während des Rüstvorgangs erst entnommen werden müssten, um anschließend neu bestückt zu werden. Neben dem Werkzeugtausch ist auch der Greifertausch maßgeblich für die Rüstzeit. So müssen beispielsweise bei einem Artikel mit fünf Pressschritten auf der einen Straße lediglich fünf Greifer für die Roboter getauscht werden, wohingegen bei dem Shuttlesystem auf der einer anderen Pressenlinie insgesamt 15 Greifer gewechselt werden.

### **Logistikkosten des Werkzeughandlings**

Neben den Maschinen- und Personalrüstkosten fallen weitere Kosten an, die in Verbindung mit einem Umrüstvorgang stehen. Explizit sind hier die Logistikkosten des Werkzeughandlings zu nennen.

Aufgrund der Tatsache, dass für jedes einzelne Pressteil ein Satz Werkzeuge vorhanden ist, können diese wegen der Vielzahl verschiedenster Pressteile nicht in unmittelbarer Nähe der zugehörigen Pressen oder Pressenlinien gelagert werden. Die Werkzeuge werden in speziellen Hallen auf dem Werksgelände gelagert, wodurch für jeden Abpressvorgang die Werkzeuge aus den Hallen ausgelagert, zur Presse transportiert und nach der Abpressung wieder abtransportiert und eingelagert werden müssen.

In die weitere Berechnung fließen pro Rüstvorgang sechs Werkerstundensätze à 50 Euro und zwei Stundensätze der Lokomotive à 65 Euro pauschal für die Tätigkeiten der Ein- und Auslagerung sowie den Transport zwischen den Hallen und die Bereitstellung der Werkzeuge durch den Kranführer. Es sind keine exakten realen Zahlen für die Dauer der Bewältigung der Aufgaben vorhanden, weswegen mit diesem Näherungswert von 430 Euro gerechnet werden muss.

## Berechnung der gesamten Rüstkosten

Nachdem alle maßgeblichen Faktoren für die Ermittlung der Rüstkosten definiert sind, ergibt sich für die Berechnung folgende Formel:

$$RK = (\sum (\text{Mrk1} + \text{Mrk2} \dots \text{Mrkn}) + m * \text{Prk}) * T + 430$$

RK	=	Rüstkosten gesamt
Mrk1	=	Maschinenrüstkostensatz Presse 1 pro Stunde
Mrkn	=	Maschinenrüstkostensatz Presse n pro Stunde
m	=	Anzahl der Werker
Prk	=	Personalkostensatz Werker pro Stunde
T	=	Rüstzeit in Stunden
430	=	Logistikkosten des Werkzeughandling

Rüstkosten Konsole		
PR (2.1)	140,00 €	
PR (2.2)	115,00 €	
PR (2.3)	110,00 €	
PR (2.4)	112,00 €	
PR (2.5)	106,00 €	
PR (2.6)	132,00 €	
		715,00 €
WERKER (2.1)	50,00 €	
WERKER (2.2)	50,00 €	
WERKER (2.3)	50,00 €	
WERKER (2.4)	50,00 €	
WERKER (2.5)	50,00 €	
WERKER (2.6)	50,00 €	
		300,00 €
Rüstkosten pro Stunde		1.015,00 €
Ist-Rüstzeit in Minuten	53,00	
Ist- Rüstzeit in Stunden	0,8877	
Ist - Rüstkosten		901,00 €
Logistikkostenzuschlag		430,00 €
Rüstkosten gesamt		1.331,00 €

Abbildung 8: Berechnung der Rüstkosten<sup>21</sup>

<sup>21</sup> Quelle: eigene Berechnung

Für das Pressteil Konsole, dass auf der zweiten Pressenlinie auf sechs Pressen gefertigt wird, ergeben sich gesamte Rüstkosten in Höhe von 1331,00 Euro.

#### 5.4. Die Berechnung der annualisierten Gesamtkosten

Im nachfolgenden Schritt werden die jährlich entstehenden Gesamtkosten der Rüst-, Kapitalbindungs- und Lagerkosten für die drei Beispielartikel berechnet.

	Kotflügel Ist	Sitzkonsole Ist	Bodenblech Ist
Losgröße Durchschnitt	2397	4973	5154
Kapitalbindung Material	110,07 €	41,48 €	181,32 €
Kapitalbindung Wertschöpfung	264,13 €	94,15 €	260,09 €
Kapitalbindung gesamt	374,20 €	135,62 €	441,41 €
LK	461,08 €	191,25 €	311,80 €
Kapitalbindung + LK	835,28 €	326,88 €	753,21 €
Rüstkosten	1.838,00 €	1.331,00 €	1.829,00 €
Gesamtkosten /Jahr	16.258,23 €	37.820,29 €	55.441,61 €

Abbildung 9: Berechnung der annualisierten Gesamtkosten<sup>22</sup>

Die Gesamtkosten im Jahr ergeben sich aus der Summe der Rüst-, Kapitalbindungs- und Lagerkosten multipliziert mit der Anzahl der Abpressungen pro Jahr. Diese werden ermittelt indem der Jahresbedarf durch die durchschnittliche Losgröße dividiert wird. Es ergeben sich unter Verwendung der aktuellen Losgröße, Gesamtkosten von 16.258 Euro für den Kotflügel, 37.820 Euro für die Konsole und 55.442 Euro für das Bodenblech.

<sup>22</sup> Quelle: eigene Berechnung

## 5.5. Berechnung der optimalen Losgröße

Die optimale Losgröße wird durch das Gesamtkostenminimum aus den gegenläufigen Kosten des Rüstens und der Lagerung definiert.

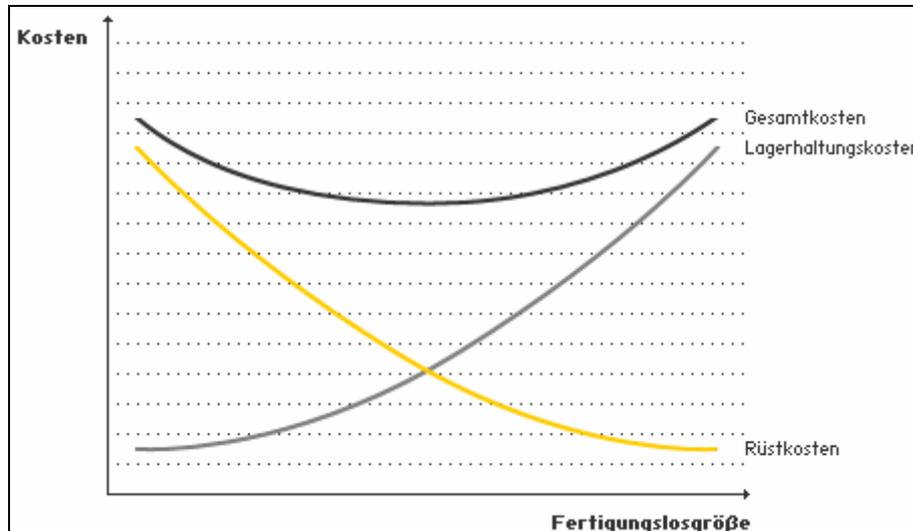


Abbildung 10: Kostenkurven der Losgrößen

Aus der Graphik ist ersichtlich, dass bei der Losgröße gleich 1 und bei der Losgröße gleich unendlich die Kostenmaxima liegen. Das Kostenminimum befindet sich zwischen diesen beiden Eckpunkten. Anzumerken ist, dass es in der Mitte einen großen Bereich auf der Gesamtkostenkurve gibt, der eine geringe Steigung aufweist. Das beschriebene Intervall lässt sich jedoch nicht genau abgrenzen, da mit jedem Punkt, mit dem man sich von dem Gesamtkostenminimum wegbewegt, die Steigung auf der Gesamtkostenkurve größer wird. Zu erkennen ist dies, wenn man in der Grafik als Maßstab die Linie über dem Gesamtkostenminimum heranzieht. Man betrachte alles darunter als gesamtkostenoptimales Intervall und alles darüber als suboptimalen Bereich. In diesem kostenoptimalen Produktionsbereich kann die Losgröße durchaus größer verändert werden. Dieser Spielraum lässt unabhängig von den Kosten Raum für losgrößenpolitische Entscheidungen. Bei Lagerkapazitätsengpässen wird man die Losgröße in diesem gegebenen Spielraum möglichst gering wählen, während man bei Maschinenkapazitätsengpässen geneigt scheint, in diesem Bereich, indem sich die Gesamtkosten kaum ändern, die Losgröße möglichst hoch anzusetzen.

### Unternehmensspezifisches Berechnungsverfahren

Aufgrund der hohen Rüstkosten, die bei unserem Beispielunternehmen anfallen, wird das Kostenminimum tendenziell bei einer hohen Losgröße liegen. In Stichprobenberechnungen, unter Verwendung der aktuellen Losgrößen anhand der drei gewählten Beispielartikel, kam

eindeutig heraus, dass das Produktionsniveau auf der linken Seite der Gesamtkostenkurve liegt. Um Produktionskosten zu sparen ist es das Ziel, die Losgrößen nach Möglichkeit so zu adaptieren, dass sie in dem Bereich liegen, indem die Gesamtkosten auf einem gleich bleibenden niedrigen Niveau sind - oder anders ausgedrückt, dass die Losgröße einen Punkt auf der Gesamtkostenkurve einnimmt, der eine geringe Steigung aufweist. In den genannten Berechnungen kam definitiv heraus, dass die Rüstkosten größer sind als die Kapitalbindungs- und Lagerkosten. Die Losgröße, bei der die kumulierten Rüstkosten gleich den kumulierten Kapitalbindungs- und Lagerkosten sind, befindet sich in dem Intervall, in dem die Gesamtkosten tendenziell niedrig sind.

Aus diesem Anlass soll nachfolgend zunächst eine allgemeingültige Formel aufgestellt werden, mit deren Hilfe die jeweilige Losgröße ermittelt werden kann, bei der die Rüstkosten den Kapitalbindungs- und Lagerkosten entsprechen.

Die Losgrößenformel setzt sich aus den einzelnen Berechnungsformeln der drei Kostenarten zusammen:

$$\left( \sum (\text{Mrk1} + \text{Mrk2} \dots \text{Mrkn}) + m * \text{Prk} \right) * T + 430 = \text{MK/St} * L * z/364 * (t1 + t2) + \text{WK/St} * L * z/364 * (1t + t2 + t3) + L / \text{LTV} / S * \text{FLT} * (\text{LK} + \text{LTK})$$

mit  $t2 = L / (M / 364 * 2)$  und  $M = \text{Jahresbedarf}$

Der erste Teil beinhaltet die Berechnung der Rüstkosten, der zweite Teil kalkuliert die Kapitalbindungskosten des Rohmaterials und ermittelt die Kapitalbindungskosten der Wertschöpfung der Herstellung. Der letzte Teil errechnet die Lagerkosten.

Da alle Parameter bis auf die Losgröße „L“ bekannt sind, kann man diese einsetzen. Anschließend wird die Formel nach „L“ aufgelöst. Das Ergebnis ist eine „ax<sup>2</sup>+bx-c“ Funktion, die dann mit dem Satz von Vieta, - oder auch Mitternachtsformel genannt, gelöst werden kann. Das Ergebnis ist die Losgröße, bei der die Rüstkosten den Kapitalbindungs- und Lagerkosten entsprechen. Im Folgenden am Beispiel des Kotflügels dargestellt:

$$RK = (\sum (Mrk1 + Mrk2 \dots Mrkn) + m * Prk) * T + 430 = MK/St * L * z/364 * (t1 + t2) + WK/St * L * z/364 * (1t + t2 + t3) + L / LTV / S * FLT * 1,67 * (t1 + t2) * (LK + LTK)$$

Mit:  $t1 = 5$ ;  $t2 = L / (M / 364 * 2)$ ;  $t3 = 40$

RK	=	Rüstkosten gesamt	=	1838
Mrk1	=	Maschinenrüstkostensatz Presse 1 pro Stunde		
Mrkn	=	Maschinenrüstkostensatz Presse n pro Stunde		
m	=	Anzahl der Werker		
Prk	=	Personalkostensatz Werker pro Stunde		
T	=	Rüstzeit in Stunden		
430	=	Logistikkosten des Werkzeughandling		
MK/St	=	Materialkosten pro Stück	=	6,84
L	=	Losgröße	=	???
z	=	Fremdkapitalzinssatz	=	7%
tn	=	Kapitalbindungsdauer der Phase n		
WK/St	=	Wertschöpfungskosten pro Stück	=	7,66
LTV	=	Ladungsträgervolumen	=	45
S	=	Stapelbarkeit	=	4
FLT	=	Grundfläche des LT	=	3,84 QM <sup>2</sup>
1,67	=	Aufschlag für den Staplerverkehr und Sicherheitsabstände		
T	=	durchschnittliche Lagerdauer	=	(t1 + t2)
LK	=	Lagerkostensatz pro Tag und QM <sup>2</sup>	=	0,15
LTK	=	Ladungsträgerkosten pro Tag	=	0,00
M	=	Gesamtbedarf Güter pro Jahr	=	14535

Istdaten einsetzen:

$$1838 = 6,84 * L * 0,07/364 * (5 + L / (14535 / 364 * 2)) + 7,66 * L * 0,07/364 * (5 + L / (14535 / 364 * 2) + 40) + L / 45 / 4 * 3,84 * 1,67 * (5 + L / (14535 / 364 * 2)) * (0,15 + 0,00)$$

$$1838 = 6,84 * L * 0,000192 * (5 + L / (M / 182)) + 7,66 * L * 0,000192 * (45 + L / (M / 182)) + L / 180 * 6,4128 * (5 + L / (M / 182)) * 0,15$$

$$1838 = 0,001312 * L * (5 + L / 79,86) + 0,001469 * L * (45 + L / 79,86) + L / 180 * 0,9619 * (5 + L / 79,86)$$

$$1838 = 0,00656L + 0,001312 * L * (L / 79,86) + 0,066105L + 0,001469 * L + (L / 79,86) + 0,0053L * (5 + L / 79,86)$$

$$1838 = 0,00656 L + 0,001312 * L^2 / 79,86 + 0,066105 L + 0,001469 * L^2 / 79,86 + 0,0053L * (5 + L / 79,86)$$

$$1838 = 0,00656 L + 0,001312 * L^2 / 79,86 + 0,066105 L + 0,001469 * L^2 / 79,86 + 0,027L + 0,0053 * L^2 / 79,86$$

- \*79,86

$$0 = 0,008132L^2 + 7,95 L - 146782,68 \rightarrow ax^2 + bx - c \rightarrow$$

Satz von Vieta:

$$\begin{array}{l} ax^2 + bx + c = 0 \\ x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \end{array}$$

$$X = 3788$$

Die Gesamtkostenfunktion besitzt eine ähnliche Form wie eine Parabel. Mathematisch gibt es ein Näherungsverfahren, mit welchem es, mit Hilfe dreier auf der Gesamtkostenkurve liegender Punkte, möglich ist, den Scheitelpunkt, welcher dem Gesamtkostenminimum entspricht, zu berechnen.

Für die weitere Berechnung werden nun, das Los, bei dem die Rüstkosten den Kapitalbindungs- und Lagerkosten gleichen, sowie die Losgröße die zehn Prozent über und zehn Prozent unter diesem Wert liegen, verwendet. Setzt man diese drei Werte in die Gesamtkostenberechnung ein, ergeben sich daraus drei Punkte, die auf der Gesamtkostenkurve liegen. Im Folgenden am Beispiel des Kotflügels dargestellt.

Pn (Losgröße/ ann. Gesamtkosten)

P1 (3788/14.107€)    P2 (3409/14.330€)    P3 (4166/14.026€)

Es ergeben sich die drei Funktionen:

$$Y = ax^2 + bx + c$$

$$\text{I} \quad 14.107\text{€} = a \cdot 3788^2 + b \cdot 3788 + c$$

$$\text{II} \quad 14.330\text{€} = a \cdot 3409^2 + b \cdot 3409 + c$$

$$\text{III} \quad 14.026\text{€} = a \cdot 4166^2 + b \cdot 4166 + c$$

Nun werden die Gleichungen in drei Schritten gegeneinander verrechnet so dass nach und nach eine Variable wegfällt. Wenn nur noch eine Variable übrig ist kann diese bestimmt werden. Rechnet man nun jeden Schritt mit der bekannten Variable zurück, liefert das die Kostenfunktion. Berechnet man anschließend die erste Ableitung der Kostenfunktion, stellt sich als Ergebnis der Scheitelpunkt der Kostenfunktion ein. Im Beispiel des Kotflügels liegt der Scheitelpunkt bei 4191.

Da dieses Berechnungsverfahren kein exaktes Verfahren zur Berechnung der optimalen Losgröße darstellt, weil die Parabelgleichung die exakte Kostenfunktion der Beispielfirma nicht abbilden kann, stellt der berechnete Scheitelpunkt nicht die optimale Losgröße sondern eine **optimierte Losgröße** dar. Die Losgröße des Scheitelpunkts ist wesentlich

wirtschaftlicher als diese, bei der die Rüstkosten den Kapitalbindungs- und Lagerkosten entsprechen, jedoch ist sie nicht die Losgröße bei der das Gesamtkostenminimum erreicht werden kann.

Die optimale Losgröße kann jedoch in weiteren Schritten berechnet werden. Setzt man in das Verfahren, indem man mit Hilfe von drei auf der Kostenkurve liegenden Punkte die Parabelfunktion bestimmt, anstelle der Losgröße, bei der die Rüstkosten und die Kapitalbindungs- und Lagerkosten identisch sind, den gerade berechneten Scheitelpunkt ein und wählt als weitere Punkte wiederum die zehn Prozent niedrigere und höhere Losgröße des Scheitelpunkts, ergibt sich aufgrund des Näherungsverfahrens ein neuerer exakterer Scheitelpunkt. Dieses Verfahren wird so oft wiederholt, bis der neuste Scheitelpunkt dem vorherigen Scheitelpunkt entspricht. Ergeben sich keine Veränderungen bezüglich des Scheitelpunkts, ist die optimale Losgröße ermittelt. In der Regel<sup>23</sup> stellt sich ab der vierten bis fünften Berechnung der gesamtkostenoptimale Scheitelpunkt ein. Dieser Scheitelpunkt bildet bis auf kleine Abweichungen, die sich im ein Prozent- und gesamtkostentechnisch im Centbereich abspielen, die optimale Losgröße.

Im Beispiel des Kotflügels errechnen sich folgenden Scheitelpunkte:

$$S1 = 4191$$

$$S2 = 4268$$

$$S3 = 4270$$

$$S4 = 4270$$

Bei 4270 liegt demnach die optimale Losgröße für den Kotflügel.

## 5.6. Umsetzbarkeit der optimierten Losgröße

Eine Entwicklung der Losgrößen in Richtung des Produktionsniveaus, bei dem die annualisierten Gesamtkosten am geringsten sind, könnte die Wirtschaftlichkeit des Beispielunternehmens erheblich steigern. Um die vorgeschlagenen Losgröße zu produzieren, muss zuvor die Umsetzbarkeit anhand der Pressenkapazitäten überprüft werden. Ist die errechnete Losgröße höher als die praktizierte Losgröße, dürften sich langfristig Kapazitätseinsparungen realisieren lassen, da weniger häufig gerüstet werden muss. Es ist jedoch möglich, dass es aufgrund von Erhöhungen der Lose kurzfristig zu einem Engpass kommen kann, wenn zufällig mehrere verschiedene Abrufe zu einem Zeitpunkt anfallen. Eine Verringerung der Losgröße hingegen würde sich auf manchen Pressen und Pressenstraßen kaum realisieren

---

<sup>23</sup> eigene Berechnung

lassen, da die Kapazitäten beinahe komplett ausgeschöpft sind und eine Verringerung zusätzliche Kapazitäten aufgrund der vermehrten Umrüstvorgänge beansprucht.

Als nächster Prüfpunkt ist die Lagerkapazität zu nennen. Da sich eine Erhöhung der Losgrößen negativ auf die freien Lagerkapazitäten auswirken, muss, gerade bei voluminösen Gütern, Rücksprache gehalten werden, ob die abgepressten Güter eingelagert werden können. Eine Verringerung der Losgrößen würde hingegen die freie Lagerkapazität vergrößern, weshalb es in diesem Fall zu keinen Problemen führen sollte. Sollte sich aus den Berechnungen der optimierten Losgrößen eine starke Tendenz zur Erhöhung der Losgrößen ergeben, muss über verschiedene Möglichkeiten zur Erweiterung der Lagerflächen nachgedacht werden. Eventuell könnte über die Errichtung eines Logistikcenters auf dem Werksgelände diskutiert werden.

Die Leergutträgerverfügbarkeit ist ein weiterer Aspekt, der maßgeblich für die Höhe der Losgröße ist. Damit die vorgeschlagene Losgröße produziert werden kann müssen ausreichend Leergutträger vorhanden sein, damit die Pressteile adäquat eingelagert werden können. Aus diesem Grund ist bei der Produktionsplanung, Rücksprache mit der Abteilung Versand zu halten, ob ausreichend Leergutträger vorhanden sind oder beschafft werden können, damit die berechneten optimierten Losgrößen produziert werden können. Dies kann im Falle von Losgrößenerhöhungen zu Engpässen in der Leergutträgerversorgung kommen, während es im Fall der Losgrößenreduktion im Normalfall keine Schwierigkeiten geben sollte.

Ein weiterer wichtiger Faktor, der bei der Produktionsplanung beachtet werden muss ist der Rohmaterialbestand. Es ist zu prüfen ob genügend Rohmaterial vorhanden ist um die gewünschte Losgröße zu produzieren. Jedoch sollte es hier höchstens in der Umstellungsphase von der ursprünglichen auf die neue Losgröße und nur im Fall einer Losgrößenerhöhung zu Problemen kommen. Denn wenn sich die neue Losgröße eingespielt hat, bedeutet dies für die Rohmaterialbereitstellung nur eine Veränderung der Bestellintervalle und Bestellmengen, da man nun in längeren Intervallen höhere Mengen benötigt. Der Jahresbedarf bleibt der gleiche. Im Falle der Losgrößenreduktion kommt es zu keinen Engpässen, da mit einer größeren Losgröße geplant wurde als diese, mit der produziert wird. Jedoch werden sich im Falle einer dauerhaften Umstellung auch die Bestellrhythmen und –mengen ändern.

Wenn sich nach Prüfung aller genannten Aspekte keine Losgrößenbegrenzungen ergeben, kann die neue Losgröße produziert werden. Diese Prüfung muss in der Implementierungs-

phase vor jeder Abpressung geschehen, bis absehbar ist, ob diese optimierte Losgröße dauerhaft gewährleistet werden kann oder nicht.

## 5.7. Checkliste

Die nachfolgende Checkliste fasst alle Daten und Prüfpunkte zusammen, welche notwendig sind um die optimierte Losgröße zu berechnen und auf seine Umsetzbarkeit zu prüfen.

### Schritt 1: Aggregation benötigter Daten

Um die optimale Losgröße zu berechnen müssen in einem ersten Schritt alle notwendigen Daten beschafft werden. Es kann zwischen fixen bzw. gesetzten Daten und artikelspezifischen Daten unterschieden werden. Erstere müssen nicht bei jeder einzelnen Berechnung neu hinterfragt werden sondern sind allgemeingültig.

Die Rüstkosten werden, wie bereits erläutert berechnet. Sie sind fix und müssen nicht angefordert werden. Die Berechnung funktioniert nach folgender bekannter Formel:

$$RK = (\sum (Mrk1 + Mrk2 \dots Mrkn) + m * Prk) * T + 430$$

Bei der Berechnung der Kapitalbindungskosten des Rohmaterials und der Wertschöpfung der Herstellung könnten folgende Parameter als gegeben angenommen werden:

$$MK/St * L * z/364 * (t1 + t2) + WK/St * L * z/364 * (1t + t2 + t3)$$

Der Zinssatz z sowie die werte für t1 und t3 bleiben in der Regel immer konstant. Sie sind nicht artikelspezifisch und ändern sich, Gesetz dem Fall das, allgemeingültig für alle Berechnungen.

Die Werte für die Materialkosten und Wertschöpfungskosten der Herstellung je Stück, sowie der Parameter des Abpressintervalls t2, sind artikelspezifisch und müssen wie oben beschrieben berechnet werden. Ändern sich, wie erwartet, aufgrund von stark steigenden Stahlpreisen beispielsweise der Rohmaterialeinsatz sehr stark, muss von dem beschriebenen Berechnungsverfahren der Rohmaterialkosten und Wertschöpfungskosten der Herstellung abgesehen werden und mit den Istwerten kalkuliert werden. Das beschriebene Durchschnittsverfahren kann nur unter Verwendung stabiler Rohmaterialkosten verwendet werden.

Die generierte Berechnungsformel der Lagerkosten ist folgendermaßen aufgebaut:

$$L / LTV / S * FLT * (LK + LTK)$$

Die Werte für das Ladungsträgervolumen (LTV), die Stapelbarkeit(S), die Abmessungen(FLT) und die eventuell anfallenden Ladungsträgerkosten(LTK) müssen artikelspezifisch hinterfragt werden. Der Lagerkostensatz (LK) hingegen kann als fix angenommen werden.

Das Abpressintervall  $t_2$  berechnet sich mit der nachfolgenden Gleichung:

$$t_2 = L / (M / 364 * 2)$$

Der Jahresbedarf (M) ist ebenfalls bei jedem Artikel in Erfahrung zu bringen um die Berechnung der optimierten Losgröße vollziehen zu können.

Zusammenfassend müssen vor der Berechnung für jeden Artikel folgende Parameter bekannt sein:

RK	=	Rüstkosten
MK/St	=	Materialkosten je Stück
WK/St	=	Wertschöpfungskosten der Herstellung je St
LTV	=	Ladungsträgervolumen
S	=	Stapelbarkeit
FLT	=	Bodenfläche des Ladungsträgers
LTK	=	Ladungsträgerkosten
M	=	Jahresbedarfmenge

Als allgemeingültig gelten die folgenden Werte:

z	=	Zinssatz
$t_1$	=	Kapitalbindungsdauer der Phase 1
$t_3$	=	Kapitalbindungsdauer der Phase 3
LK	=	Lagerkosten

### **Schritt 2: Berechnung der optimierten Losgröße**

Nachdem alle relevanten Daten zur Verfügung stehen, kann mit Hilfe z.B. eines Exceltools die optimale Losgröße, durch Eingabe der entsprechenden Daten, berechnet werden. Anschließend kann durch Gegenüberstellung der jährlichen Gesamtkosten die Differenz der optimalen und der ursprünglichen Losgröße berechnet werden.

### **Schritt 3: Umsetzbarkeitsprüfung anhand folgender Faktoren**

Im letzten Schritt muss die Umsetzbarkeit der optimierten Losgröße anhand der kritischen Faktoren Maschinenkapazität, Lagerkapazität, Leergutträgerverfügbarkeit und Rohmaterialbestand geprüft werden.

Eine Erhöhung der Losgröße kann folgende Auswirkungen mit sich bringen:

- Langfristige Freisetzung von Maschinenkapazitäten, kann jedoch auch kurzfristige Engpasssituation hervorrufen

- Beanspruchung zusätzlicher Lagerkapazitäten
- Erhöhung des Leegutträgerbedarfs
- Umstrukturierung der Rohmaterialbestimmungen und –intervalle, die aufgrund des Mehrbedarfs zu kurzfristigen Lagerengpasssituationen im Coillager führen können

Eine Losgrößenverringerng kann folgende Veränderungen verursachen:

- Beanspruchung zusätzlicher Maschinenkapazitäten
- Abbau von hohen Lagerbeständen – Lagerkapazitätsfreisetzung
- Verringerung des Leergutträgerbedarfs
- Umstrukturierung der Rohmaterialbestimmungen und –intervalle

Je nach Veränderungsrichtung und –ausmaß der Losgröße können die aufgeführten Probleme auftreten und die Umsetzbarkeit der optimierten Losgröße unterbinden, wenn eine zur Veränderung der Losgröße maßgebliche Voraussetzung nicht gewährleistet werden kann.

## **5.8. Zusammenfassung**

Die zentrale Aufgabenstellung war es, ein Verfahren zu entwickeln, mit Hilfe dessen es möglich ist, die aktuelle Produktionsplanung unter dem Aspekt der Wirtschaftlichkeit zu bewerten und zu verbessern. Als konkreter Ansatzpunkt hier die Losgrößen des Presswerks in einem bayerischen Beispielunternehmen fokussiert. Es sollte untersucht und analysiert werden, ob durch eine geschickte Adaption der Losgrößen, Kosteneinsparungen realisiert werden können. Um die Wirtschaftlichkeit der Losgrößenpolitik analysieren zu können, war es zunächst wichtig alle maßgeblichen Faktoren zu bestimmen. Im Allgemeinen sind die relevanten Aspekte die Rüstkosten, die Kapitalbindungskosten und die Lagerkosten. Nach einer Recherche über den Umfang und die potenziellen Einflussfaktoren dieser drei Kostenblöcke, musste die jeweilige unternehmensspezifische Relevanz geprüft werden. Als Zwischenergebnis wurde die Berechnungsmethodik der Rüst-, Kapitalbindungs- und Lagerkosten in unternehmensspezifische Berechnungsformeln umgewandelt.

Das Ziel der Untersuchung war es die Losgröße so zu kalkulieren, dass ein annualisiertes und kumuliertes Gesamtkostenminimum für jeden einzelnen Artikel aus den drei Kostenblöcken entsteht. Aus diesem Grund musste ein Berechnungsverfahren konstruiert werden, mit Hilfe dessen es möglich ist, für jedes beliebige Teil, durch Eingabe der spezifischen Daten, das Gesamtkostenminimum zu finden. Eine Checkliste fasst alle Parameter und Schritte zusammen, die nötig sind, um eine optimierte Losgröße zu ermitteln und weist auf mögliche Einschränkungen der Umsetzbarkeit hin.

## LITERATURVERZEICHNIS

**Bloech, Jürgen; Bogaschewsky, Roland; Buscher, Udo;** Daub, Anke; Götze, Uwe; Roland, **Folker:** Einführung in die Produktion, 6., überarbeitete Auflage. Springer Verlag, Berlin Heidelberg 2008. ISBN: 978-3-540-75222-6

**Eichner, Wolfgang:** Lagerwirtschaft. Praxis der Unternehmensführung. Gabler Verlag, Wiesbaden 1995. ISBN: 3-409-13517-0

**Garcia Sanz, Francisco J.; Semmler, Klaus; Walther Prof. Dr., Johannes:** Die Automobilindustrie auf dem Weg zur globalen Netzwerkkompetenz. Effiziente und flexible Supply Chains erfolgreich gestalten. Springer Verlag, Berlin Heidelberg 2007. ISBN: 978-3-540-70783-7

**Hansmann Dr., Karl-Werner:** Industrielles Management, 7., völlig überarbeitete und erweiterte Auflage. Oldenburg Wissenschaftsverlag GmbH, München 2001. ISBN: 3-486-25676-9

**Kistner, Klaus-Peter; Steven, Marion:** Produktionsplanung, 3. Auflage. Physica Verlag, Heidelberg 2001. ISBN: 3-7908-1426-1

**Neumann, Klaus:** Produktions- und Operationsmanagement. Springer Verlag, Berlin Heidelberg 1996. ISBN: 3-540-60929-6

**Plagemann, Nadine:** Logistik-Controlling, Hausarbeit aus dem Fachbereich Wirtschaft - Beschaffung, Produktion, Logistik, Benotung: 1,3, Universität Lüneburg. Grin Verlag, München Ravensburg 2005. ISBN: 978-3-638-44439-2

**Schulte Prof. Dr., Gerd:** Material- und Logistikmanagement, 2. Auflage. Oldenburg Wissenschaftsverlag GmbH, München 2001. ISBN: 3-486-22532-4

**Vahrenkamp Dr., Richard:** Produktions- und Logistikmanagement, 2., verbesserte Auflage. Oldenburg Wissenschaftsverlag GmbH, München Wien 1996. ISBN: 3-486-23517-6

<http://www.rz.fh-ulm.de/projects/lars/Projstud/Fallbsp/FISCHER/Berech2.jpg/dl.12/2007>

## **Bisher erschienene Weidener Diskussionspapiere**

- 1 "Warum gehen die Leute in die Fußballstadien? Eine empirische Analyse der Fußball-Bundesliga"  
von Horst Rottmann und Franz Seitz
- 2 "Explaining the US Bond Yield Conundrum"  
von Harm Bandholz, Jörg Clostermann und Franz Seitz
- 3 "Employment Effects of Innovation at the Firm Level"  
von Horst Rottmann und Stefan Lachenmaier
- 4 "Financial Benefits of Business Process Management"  
von Helmut Pirzer, Christian Forstner, Wolfgang Kotschenreuther und Wolfgang Renninger
- 5 "Die Performance Deutscher Aktienfonds"  
von Horst Rottmann und Thomas Franz
- 6 "Bilanzzweck der öffentlichen Verwaltung im Kontext zu HGB, ISAS und IPSAS"  
von Bärbel Stein
- 7 Fallstudie: "Pathologie der Organisation" – Fehlentwicklungen in Organisationen, ihre Bedeutung und Ansätze zur Vermeidung  
von Helmut Klein
- 8 "Kürzung der Vorsorgeaufwendungen nach dem Jahressteuergesetz 2008 bei betrieblicher Altersversorgung für den GGF."  
von Thomas Dommermuth
- 9 "Zur Entwicklung von E-Learning an bayerischen Fachhochschulen- Auf dem Weg zum nachhaltigen Einsatz?"  
von Heribert Popp und Wolfgang Renninger
- 10 "Wie viele ausländische Euro-Münzen fließen nach Deutschland?"  
von Dietrich Stoyan und Franz Seitz
- 11 Modell zur Losgrößenoptimierung am Beispiel der Blechteilindustrie für Automobilzulieferer  
von Bärbel Stein und Christian Voith

