

Schumpeter School  
of Business and Economics



**SCHUMPETER DISCUSSION PAPERS**

# **Simulationsstudie zur Anpassung der Produktionsplanung eines mittelständischen Industrieunternehmens**

**Jürgen Wicht**

The Schumpeter Discussion Papers are a publication of the Schumpeter School of Business and Economics, University of Wuppertal, Germany

For editorial correspondence please contact  
SSBEditor@wiwi.uni-wuppertal.de

SDP 2014-013  
ISSN 1867-5352

Impressum  
Bergische Universität Wuppertal  
Gaußstraße 20  
42119 Wuppertal  
www.uni-wuppertal.de  
© by the author



**BERGISCHE  
UNIVERSITÄT  
WUPPERTAL**

**Jürgen Wicht\***

# **Simulationsstudie zur Anpassung der Produktionsplanung eines mittelständischen Industrieunternehmens**

## **Zusammenfassung**

Produktionssimulationen können bei der Abschätzung der komplexen Folgen von Änderungen in der Produktionsplanung auf nachgelagerte Unternehmensteile einen sinnvollen Beitrag leisten. Am Fallbeispiel eines mittelständischen Produktionsunternehmens wird gezeigt, wie eine solche Simulationsstudie im Bereich der Losgrößenplanung durchgeführt werden kann, welche Folgen sich im Bereich der Arbeitseffizienz, Produktionsqualität und Lagerbelastung ergeben und welche Handlungsvorschläge sich durch die Analyse der Simulationsergebnisse ableiten lassen.

## **Abstract**

Production simulations can provide a valuable contribution in assessing the complex implications of changes in production planning for downstream company sectors. By means of a case study of a medium-sized manufacturing company it is demonstrated how such a simulation study can be conducted in the area of lot sizing, what the consequences in the field of labor efficiency, production quality and bearing loads are and which policy proposals can be derived from the analysis of simulation results.

JEL-Classification: C6, D2, L6

Keywords: Production Planning and Control, Lot Sizing, Production Simulation

---

\* Dr. rer. oec. *Jürgen Wicht*, Universität Wuppertal, Fachbereich B, Schumpeter School of Business and Economics, Lehrstuhl für Wirtschaftsstatistik, Gaußstr. 20, 42119 Wuppertal, E-Mail: [wicht@statistik.uni-wuppertal.de](mailto:wicht@statistik.uni-wuppertal.de)

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>LOSGRÖßENRECHNUNG ALS AUFGABE DER PRODUKTIONSPLANUNG UND - STEUERUNG.....</b>	<b>3</b>
2.1	LOSGRÖßENRECHNUNG ALS Kernaufgaben der Produktionsplanung und -steuerung.....	5
2.2	BESTANDSMANAGEMENT UND LOSGRÖßENRECHNUNG .....	5
<b>3</b>	<b>GRUNDLAGEN VON SIMULATIONSSTUDIEN.....</b>	<b>6</b>
3.1	ENTWICKLUNGSPHASEN EINER SIMULATIONSSTUDIE .....	7
3.2	QUALITÄTSSICHERUNG BEI SIMULATIONSSTUDIEN .....	8
<b>4</b>	<b>FALLBEISPIEL GLASHÜTTE .....</b>	<b>9</b>
4.1	BETRIEB .....	9
4.1.1	<i>Produktion.....</i>	9
4.1.2	<i>Interner Transport und Lager .....</i>	10
4.2	DATENBASIS.....	11
4.3	EMPIRISCHE AUSWERTUNG DER PRODUKTIONSCHARAKTERISTIKA.....	12
4.3.1	<i>Länge der Produktionszeiträume .....</i>	12
4.3.2	<i>Arbeitseffizienz .....</i>	14
4.3.3	<i>Produktionsqualität.....</i>	15
4.3.4	<i>Zeitliche Differenzen zwischen Produktionszeiträumen.....</i>	16
4.4	DARSTELLUNG DER PRODUKTIONSHISTORIE FÜR EINZELNE ARTIKEL .....	17
<b>5</b>	<b>DURCHFÜHRUNG DER SIMULATIONSSTUDIE .....</b>	<b>19</b>
5.1	PROBLEMSTELLUNG / PROBLEMANALYSE .....	19
5.2	AUFGABEN UND ZIELE DER SIMULATION .....	19
5.3	1. SIMULATIONS DURCHLAUF .....	20
5.3.1	<i>Datenermittlung und Simulationsmodell.....</i>	20
5.3.2	<i>Ergebnisanalyse .....</i>	20
5.4	2. SIMULATIONS DURCHLAUF .....	22
5.4.1	<i>Datenermittlung und Simulationsmodell.....</i>	22
5.4.2	<i>Ergebnisanalyse .....</i>	25
5.5	3. SIMULATIONS DURCHLAUF .....	28
5.5.1	<i>Datenermittlung und Simulationsmodell.....</i>	28
5.5.2	<i>Ergebnisanalyse .....</i>	31
<b>6</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK .....</b>	<b>35</b>
	<b>LITERATUR.....</b>	<b>36</b>
	<b>ANHANG.....</b>	<b>37</b>

## 1 Einleitung

Mittelständische Industrieunternehmen müssen zwischen eher auftragsorientierter oder eher lagerorientierter Produktion entscheiden. Wichtige Kriterien bei dieser Entscheidung sind der gewünschte Servicelevel, die entstehenden Kosten und die erreichbare Flexibilität der Belieferung. Eingriffe in bestehende Produktionsplanungsprozesse sind vor diesem Hintergrund ein hochkomplexes Problem, das hohe Kosten verursachen kann. Hilfsmittel bei solchen Entscheidungsprozessen kann eine Simulation sein, die es erlaubt, auf Basis bestehender Produktionsdaten verschiedene Handlungsszenarien durchzuspielen und die Wirkungen auf die wichtigen Zielgrößen abzuschätzen.

Ziel dieser Arbeit ist die Darstellung und Beurteilung der Ergebnisse einer Simulationsstudie, die auf ein konkretes Fallbeispiel, ein mittelständisches Produktionsunternehmen, angewendet wird. Zu diesem Zweck werden in Kapitel 2 die hier wichtigen Zusammenhänge der Produktionsplanung und im Besonderen der Losgrößenrechnung dargestellt. Theoretische Grundlagen zu den Entwicklungsphasen und der Qualitätssicherung von Simulationsstudien werden in Kapitel 3 beschrieben. Während in Kapitel 4 das betrachtete Unternehmen, die zur Verfügung stehende Datenbasis und die sich daraus abgeleiteten Produktionscharakteristika dargestellt sind, werden in Kapitel 5 die im Rahmen der Simulationsstudie durchgeführten drei Simulationläufe beschrieben und die jeweiligen Ergebnisse analysiert.

## 2 Losgrößenrechnung als Aufgabe der Produktionsplanung und -steuerung

Zunehmender Preisdruck und immer individuellere Fertigungsaufträge in der produzierenden Industrie zwingen Unternehmen zur Konzentration auf die Kernkompetenzen und in der Folge der dadurch verursachten Auslagerungen zu neuen Formen inner- und zwischenbetrieblicher Kooperationen. Produktionsplanung und -steuerung lässt sich in diesem Zusammenhang als Organisation und Steuerung von Netzwerken entlang der gesamten Supply Chain verstehen.<sup>1</sup>

Vor diesem Hintergrund wird über das die Material- und Zeitwirtschaft umfassende klassische Konzept hinaus unter Produktionsplanung und -steuerung eine die gesamte Produktion umfassende betriebliche Funktion verstanden, die auch die indirekt an der Produktion beteiligten Bereiche, wie zum Beispiel Vertrieb, Einkauf oder Versand, mit einschließt. Enterprise Resource Planning (ERP) stellt in diesem Zusammenhang eine Weiterentwicklung der Produktionsplanung und -steuerung vor dem Hintergrund der Prinzipien des Supply Chain Managements dar, bei der die der eigentlichen Produktion vor- und nachgelagerten Bereiche mit

---

<sup>1</sup> Vgl. Schuh (2012a), S. 3.

in die Betrachtung einbezogen werden.<sup>2</sup> Eine solche ganzheitliche Betrachtung des Produktionssystems erhöht den Grad der Komplexität in hohem Maße.<sup>3</sup>

Neben niedrigem Preis und bester Qualität gilt eine kurze Lieferzeit als Anforderung innerhalb klassischer Kunden-Lieferanten-Beziehungen. Aus der Tatsache, dass diese drei Anforderungen gleichzeitig erfüllt werden sollen, ergeben sich für ein Fertigungsunternehmen drei wesentliche ökonomische Ziele: Wirtschaftlichkeit, Termintreue und Flexibilität.<sup>4</sup> Diese Ziele stehen in enger Wechselbeziehung zueinander. Klassische Konflikte ergeben sich zum Beispiel daraus, dass die Verfolgung wirtschaftlicher Ziele mit Einbußen bei der Termintreue und Flexibilität erkaufte werden müssen. Umgekehrt führen Anstrengungen bei Flexibilität oder Termintreue zu höheren Kosten und damit zu sinkender Wirtschaftlichkeit. Eine gleichzeitige Berücksichtigung aller Anforderungen macht die Betrachtung des Gesamtprozesses notwendig.<sup>5</sup> Notwendig dabei sind ein Monitoring hinsichtlich der entscheidungsrelevanten betrieblichen Größen wie Kapazitäten, Materialien und Kosten (Transparenz) sowie die Fähigkeit dazu, mit überschaubarem Aufwand Veränderungen im Fertigungsablauf unter Berücksichtigung von Vorlauf- und Rüstzeiten durchzuführen (Reaktionsfähigkeit).<sup>6</sup>

Der in diesem Zusammenhang interessierende Bereich der Supply Chain muss vor dem Hintergrund des konkreten verwendeten Produktionssystems betrachtet werden. Zu prüfen ist hier unter anderem, ob es sich um eine Serien-, Massen- oder Projektfertigung handelt und ob auftragsorientierte und/oder lagerorientierte Produktionen auftreten.<sup>7</sup> Darüber hinaus muss die gesamte Infrastruktur des Produktionssystems, wie Produktionskapazitäten, verfahrenstechnische Möglichkeiten sowie Lagerungs-, Materialfluss- und Handlingeinrichtungen, berücksichtigt werden.<sup>8</sup> Typische Schwachstellen der klassischen Produktion unter Verzicht auf die Betrachtung des betrieblichen Gesamtprozesses sind die zu starke Konzentration auf Einzelprozesse, mangelnde Transparenz, Qualität und Effizienz, überhöhte Bestände, lange Durchlaufzeiten sowie schlechte Termintreue. Die Minimierung der Kosten für jeden Einzelprozess ergibt dabei nicht das Optimum für den Gesamtprozess. Vielmehr entstehen durch eine solche Konzentration auf Einzelprozesse Rahmenbedingungen, die sich negativ auf andere Prozessschritte auswirken und somit den Gesamtprozess belasten.<sup>9</sup> Für eine Betrachtung des Gesamtprozesses ist jedoch eine umfassende Transparenz des Produktionsprozesses notwendig, die

---

<sup>2</sup> Vgl. Schuh (2012a), S. 4.

<sup>3</sup> Vgl. Schuh (2012b), S. 12.

<sup>4</sup> Vgl. Kletti (2011), S. 2f.

<sup>5</sup> Vgl. Kletti (2011), S. 4.

<sup>6</sup> Vgl. Kletti (2011), S. 6.

<sup>7</sup> Vgl. Herrmann (2011), S. 1.

<sup>8</sup> Vgl. Herrmann (2011), S. 2.

<sup>9</sup> Vgl. Kletti (2011), S. 37.

wesentlichen Steuerungsgrößen müssen dafür zeitnah an den richtigen Stellen gemessen werden.<sup>10</sup> Produktqualität und Produktionseffizienz hängen entscheidend von der Ausgestaltung der Produktionsprozesse ab, besonders wichtig in diesem Zusammenhang sind die Rüst-, Bearbeitungs- und Unterstützungsprozesse.<sup>11</sup>

### *2.1 Losgrößenrechnung als Kernaufgabe der Produktionsplanung und -steuerung*

Die vier Kernaufgaben der Produktionsplanung sind Produktionsprogrammplanung, Produktionsbedarfsplanung, Fremdbezugsplanung und Eigenfertigungsplanung. Im Rahmen der Produktionsprogrammplanung wird für jeden Artikel die zu produzierende Menge pro Planungsperiode festgelegt. Ausgangspunkt hierfür sind die in der Absatzplanung berücksichtigten Kundenaufträge und Absatzprognosen.<sup>12</sup> Durch die Produktionsbedarfsplanung werden die aus dem Produktionsprogramm abgeleiteten Material- und Ressourcenbedarfe festgelegt.<sup>13</sup> Die Fremdbezugsplanung dient der Beschaffungsplanung nicht selbst produzierter Güter. Die Eigenfertigungsplanung umfasst die drei Aufgaben der Losgrößenrechnung, Feinterminierung/Reihenfolgeplanung sowie die Verfügbarkeitsprüfung. Während Feinterminierung und Verfügbarkeitsplanung sich direkt auf den eigentlichen Produktionsprozess beziehen, dient die Losgrößenrechnung der Abwägung der unterschiedlichen losgrößenabhängigen Kosten und bildet den wesentlichen strategischen Bezugsrahmen der Produktionsplanung. Zwar ist die Losgrößenrechnung vor allem für Produkte relevant, die auf Lager produziert werden, jedoch ist es auch bei einer Auftragsfertigung möglich, gleichartige Aufträge zusammenzufassen.<sup>14</sup>

### *2.2 Bestandsmanagement und Losgrößenrechnung*

Ziel des Bestandsmanagements ist eine gleichmäßige Produktionsauslastung trotz verschiedener stochastischer Einflussgrößen innerhalb des Gesamtprozesses, um nicht-produktive Rüstzeiten zu vermeiden.<sup>15</sup> Neben möglicher Störungen der Versorgung und der Produktion ist die in diesem Zusammenhang wesentliche stochastische Einflussgröße die Nachfrage. Voraussetzung für die Einhaltung eines bestimmten Servicegrades sind Sicherheitsbestände, die solche stochastischen Schwankungen ausgleichen können.<sup>16</sup>

---

<sup>10</sup> Vgl. Kletti (2011), S. 38.

<sup>11</sup> Vgl. Kletti (2011), S. 42.

<sup>12</sup> Vgl. Lödding (2008), S. 81

<sup>13</sup> Vgl. Lödding (2008), S. 83

<sup>14</sup> Vgl. Lödding (2008), S. 88

<sup>15</sup> Vgl. Herrmann (2011), S. 111 f.

<sup>16</sup> Vgl. Herrmann (2011), S. 113.

Innerhalb der Losgrößenrechnung werden verschiedene unternehmerische Zielsetzungen berücksichtigt und aufeinander abgestimmt. Die in diesem Zusammenhang wichtigsten Zielsetzungen sind auf der einen Seite möglichst geringe Bestände und auf der anderen Seite möglichst kurze und effektive Rüstzeiten.<sup>17</sup> Grundsätzliches ökonomisches Ziel dabei ist die Minimierung der Summe aus Produktions- und Lagerhaltungskosten. Während unter Berücksichtigung der Rüstaufwendungen große Lose wünschenswert sind, sollen aus Lagerhaltungssicht nur die Mengen produziert werden, die auch direkt abgesetzt werden können.<sup>18</sup>

Rüstkosten können auf zwei unterschiedliche Arten entstehen. Zum einen führt der physische Umrüstprozess von Maschinen zu direkten Ressourcenverbräuchen für Mensch und Material, zum anderen wird während des Umrüstvorhangs die verfügbare Produktionskapazität reduziert. Wird hierdurch der Fertigungsdurchsatz verringert, entstehen Opportunitätskosten in Höhe der entgangenen Deckungsbeiträge der Produktionslücke. Aus dieser Betrachtung ergibt sich, dass die auf produzierte Einheiten bezogenen Rüstkosten mit steigenden Losgrößen abnehmen.<sup>19</sup>

Große Losgrößen führen in der Regel zum Aufbau von Beständen für fertig produzierte Güter. Diese Bestände erzeugen Kapitalbindungs-, Zins- und Lagerhaltungskosten. Darüber hinaus müssen die Kosten, die durch das Bestandsrisiko verursacht werden, erfasst werden. Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass auch der für die Produktion notwendige Umlaufbestand für große Losgrößen steigen kann.<sup>20</sup>

Kritik an den klassischen kostenbasierten Losgrößenverfahren ergibt sich vor allem daraus, dass möglicherweise nicht alle relevanten Einflussfaktoren berücksichtigt werden. Insbesondere ist in diesem Zusammenhang die Wirkung geringer Losgrößen auf die Lieferzeit und dadurch indirekt auch auf die zur Erreichung eines bestimmten Servicelevels benötigten Sicherheitsbestände zu nennen. Im Extremfall kann auf eine Lagerfertigung gänzlich verzichtet werden und die Produktion auf Auftragsfertigung umgestellt werden. Geringe Losgrößen führen insgesamt zu steigender Reaktionsfähigkeit und Flexibilität des Produktionssystems.<sup>21</sup>

### **3 Grundlagen von Simulationsstudien**

Ausgangspunkt aller Simulationsstudien ist die Erkenntnis darüber, dass einzelne Systeme so komplex sind, dass eine vollständige gedankliche Erfassung und Steuerung aller Aspekte

---

<sup>17</sup> Vgl. Lödding (2008), S. 88.

<sup>18</sup> Vgl. Herrmann (2011), S. 111.

<sup>19</sup> Vgl. Lödding (2008), S. 88.

<sup>20</sup> Vgl. Lödding (2008), S. 88.

<sup>21</sup> Vgl. Lödding (2008), S. 89

nicht möglich ist.<sup>22</sup> Um unter solchen Bedingungen dennoch entscheidungsunterstützende Aussagen hinsichtlich der Wirkung ökonomischer Maßnahmen oder Prozesse machen zu können, kann es hilfreich sein, eine Simulationsstudie für das zugrundeliegende Problem durchzuführen. Ausgehend von der Erstellung eines Simulationsmodells durch Abbildung der relevanten Elemente eines realen Systems werden nach Durchführung eines oder mehrerer Simulationsläufe die Ergebnisse anhand geeigneter Kennzahlen ermittelt und auf das reale System zurückübertragen.<sup>23</sup>

Vorteile, die sich aus einer solchen Strategie ergeben, sind die Möglichkeit, Handlungsalternativen ohne Eingriffe in den laufenden Produktionsprozess testen sowie die Folgen im Hinblick auf Qualität und Quantität untersuchen und bewerten zu können. Es können eine objektive Entscheidungsgrundlage geschaffen und unter Verwendung geeigneter Präsentationsstrategien die möglichen Konsequenzen der Handlungsalternativen den jeweiligen Entscheidungsträgern aufgezeigt werden.<sup>24</sup>

### *3.1 Entwicklungsphasen einer Simulationsstudie*

Grundsätzlich lassen sich, wie in Abbildung 1 dargestellt, drei Phasen bei der Durchführung von Simulationsstudien unterscheiden, die Vorbereitung, die Durchführung und die Auswertung. In der Vorbereitungsphase werden Aufgaben und Ziele des Simulationsmodells auf Basis der Problemstellung festgelegt und die dafür erforderlichen Daten ermittelt, aufbereitet und im Hinblick auf die Simulationsläufe abgestimmt. Unter Berücksichtigung der dann zur Verfügung stehenden Daten wird das Simulationsmodell aufgestellt und auf eine korrekte Implementation (Verifikation) und hinreichende Übereinstimmung mit dem Realsystem (Validierung) hin überprüft.

In der Durchführungsphase werden der oder die Simulationsläufe durchgeführt. Die im Rahmen des Simulationsmodells entwickelten Regeln werden auf die zur Verfügung stehenden Daten angewendet und die erhaltenden Ergebnisse gespeichert.

Diese Ergebnisse werden in der Auswertungsphase analysiert und danach geprüft, ob sie den Erwartungen entsprechen oder ob sich auf Basis der Ergebnisse neue Fragestellungen ergeben. Sind die Ergebnisse in Bezug auf die Problemstellung nicht zufriedenstellend oder haben sich durch die Simulationsläufe neue Fragestellungen ergeben, ist zu prüfen, ob die grundlegende Aufgabenstellung zu ändern ist. Wenn das der Fall ist, müssen Aufgaben und Ziele der

---

<sup>22</sup> Vgl. Eley (2012), S. 3.

<sup>23</sup> Vgl. Eley (2012), S. 4.

<sup>24</sup> Vgl. Eley (2012), S. 6.

Simulationsstudie neu definiert werden. Andernfalls müssen im Rahmen der definierten Aufgaben und Ziele Handlungsalternativen entwickelt werden, die dann unter Verwendung neuer Daten zu neuen Simulationsmodellen und Ergebnissen führen. Sind die Ergebnisse zufriedenstellend und haben sich auch keine neuen Fragestellungen ergeben, können die im Rahmen der Simulationsstudie entwickelten Regeln umgesetzt werden.<sup>25</sup>

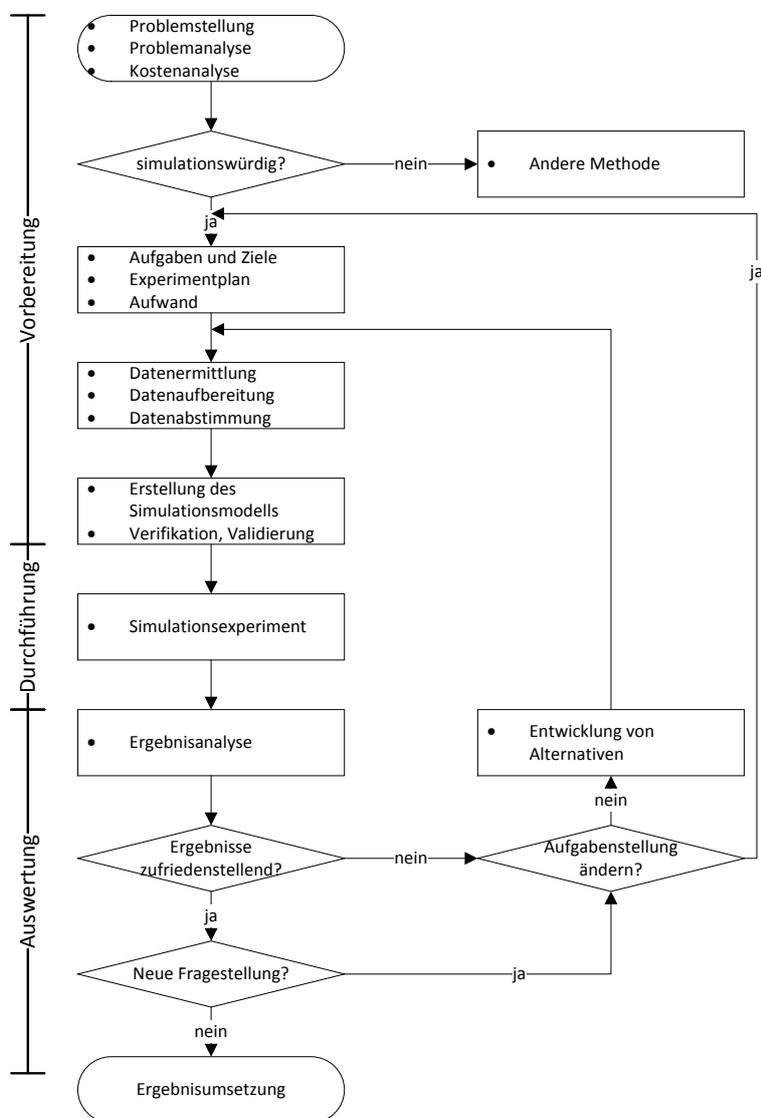


Abbildung 1: Phasen und Schritte zur Durchführung einer Simulation<sup>26</sup>

### 3.2 Qualitätssicherung bei Simulationsstudien

Der Qualitätssicherung im Rahmen von Simulationsstudien kommt insofern eine besondere Bedeutung zu, als dass aufgrund der zu leistenden komplexen Planungsaufgabe der Entwicklungsaufwand kontrolliert werden muss und Implementierungsfehler bei der Modellierung zu vermeiden sind. Als Erfolgskriterien einer Simulationsstudie gelten neben klassischen pro-

<sup>25</sup> Vgl. Eley (2012), S. 15ff.

<sup>26</sup> In abgewandelter Form entnommen aus: Eley (2012), S. 17.

jektbezogenen Merkmalen, wie einer sorgfältigen Projektvorbereitung, systematischen Projektdurchführung und konsequenter Projektdokumentation, insbesondere eine durchgängige projektbegleitende Verifikation und Validierung in Verbindung mit einer kontinuierlichen Integration des jeweiligen Auftraggebers.<sup>27</sup>

## 4 Fallbeispiel Glashütte

### 4.1 Betrieb

Bei dem im Fallbeispiel betrachteten Glaswerk handelt es sich um ein eigentümergeführtes mittelständisches Unternehmen mit ca. 500 Beschäftigten. Der unternehmerische Schwerpunkt liegt in der Produktentwicklung und Herstellung von Weißglasflaschen für die Getränkeindustrie, in großem Umfang für die europäische Spirituosenindustrie. Die Produktionsstätte des Unternehmens ist im Thüringer Wald angesiedelt. Lage und Topografie machen eine räumliche Trennung von Produktions- und Lagerstätte erforderlich.

#### 4.1.1 Produktion

Aus technischen Gründen muss durchgehend im Mehrschichtbetrieb produziert werden. In insgesamt drei Schmelzwannen werden die kristallinen Rohstoffe bei extrem hohen Temperaturen zu Glas umgewandelt. Dieses Rohglas wird anschließend mittels eines zweistufigen Formgebungsprozesses zu Glasbehältern unterschiedlicher Form weiterverarbeitet. In der ersten Stufe dieses Prozesses werden das flüssige Rohglas portioniert, in einer artikelspezifischen Vorform der Grundstein für eine optimale Glasverteilung gelegt und die Behältermündung gefertigt. Dieses Zwischenprodukt wird in der zweiten Stufe des Formgebungsprozesses dann in die Fertigform umgesetzt und mittels Druckluft auf das jeweilige Sollvolumen aufgeblasen. Die heißen Glasbehälter werden dann in einem Kühllofen langsam abgekühlt, um der Spannungsbildung im Glas vorzubeugen und anschließend einer schützenden Oberflächenbehandlung unterzogen.<sup>28</sup>

In der sich anschließenden Qualitätskontrolle werden alle Glasbehälter verschiedenen Überprüfungen unterzogen. Überprüfungskriterien sind die Maßhaltigkeit der äußeren Form, die Maßhaltigkeit des Gewichts und damit der jeweiligen Wandstärken, jedoch auch das Vorhandensein von Lufteinschlüssen, Rissen oder anderen strukturellen Unregelmäßigkeiten. Darüber hinaus wird auch die Farbreinheit des verwendeten Glases untersucht. Diese Überprüfung erfolgt je nach Aufgabe teils manuell, teils automatisiert und rechnergestützt. Hier aus-

---

<sup>27</sup> Vgl. Eley (2012), S. 15.

<sup>28</sup> Vgl. <http://www.glaswerk-ernstthal.de/index.php?obj=about&lang=de&ta=conhtml#Firmenprofil>

sortierte Glasbehälter werden gesammelt und im Rahmen eines Recyclingprozesses wieder der Produktion zugeführt. Die verwendete automatisierte Packtechnik erlaubt die Verpackung in unterschiedlichen Größen und Palettenformaten, wobei unterschiedliche Packmittel verwendet werden können.<sup>29</sup>

Die Besonderheiten der Glasverarbeitung liegen zum einen in der Beschaffenheit des verwendeten Materials, zum anderen in den extrem hohen Temperaturunterschieden auf den verschiedenen Produktionsstufen. Unter diesen Bedingungen in Form und Gewicht maßhaltig zu produzieren stellt sich als komplexes Problem dar, da sehr viele voneinander abhängige Stellgrößen zu berücksichtigen sind. Diese Justierung des Produktionsprozesses erfordert viel Erfahrung, eine sehr genaue Qualitätskontrolle und zu Beginn einer jeden Produktionsreihe auch Zeit, bis der gewünschte Qualitätsstandard erreicht wird. Umrüstvorgänge beschränken sich somit nicht auf das Auswechseln der verwendeten Formen und der Justierung der zu verwendenden Glasmenge, sondern erfordern zusätzlich auch einen vollständigen Umbau der der Produktion nachgelagerten Qualitätskontrolllinien.

Insgesamt ist festzustellen, dass es sich bei der Produktion um eine Serienfertigung handelt. Die Produktionsauslösung erfolgt teils auf Basis konkreter Aufträge und Bestellungen (auftragsorientiert), aber auch auf Basis erwarteter zukünftiger Absätze (lagerorientiert).

#### *4.1.2 Interner Transport und Lager*

Am Produktionsstandort stehen keine Lagerflächen zur Verfügung. Die gesamte Produktionsmenge muss nach der Verpackung in einem ersten Schritt in das 6 Kilometer entfernte Logistikzentrum transportiert werden. Diese der kontinuierlichen Produktion angepassten Transporte werden mittels spezieller LKWs durchgeführt, die zur Verkürzung der Ein- und Ausladezeiten mittels eines automatisierten Ein- und Ausladesystems be- und entladen werden. Das Logistikzentrum verfügt, aufgeteilt auf sechs Hallen, über 36000 m<sup>2</sup> Lagerfläche. Aufgrund der Beschaffenheit des gelagerten Glases sind, vor allem die Umgebungstemperatur betreffend, besondere Vorkehrungen für diese Lagerhallen notwendig. Eine Freiflächenlagerung verbietet sich aufgrund dieser Bedingungen. Der eigentliche Warenausgang erfolgt ausschließlich über das Logistikzentrum. Pro Tag können hier bis zu 70 Lastzüge beladen und abgefertigt werden.

---

<sup>29</sup> Vgl. <http://www.glaswerk-ernstthal.de/index.php?obj=about&lang=de&ta=conhtml#Firmenprofil>

## 4.2 Datenbasis

Als Datenbasis für die Simulation stehen sämtliche Produktionsdaten der Jahre 2006 bis 2012 zur Verfügung. Insgesamt handelt es sich um ca. 15000 Datensätze mit dem in Tabelle 1 dargestellten Aufbau.

Feldbezeichnung	Erläuterung
Artikelnummer	3197 eindeutige Artikelnummern
Artikelbezeichnung	3176 eindeutige Bezeichnungen
Produktionsbeginn	1.1.2006 – 17.9.2012
Produktionsende	1.1.2006 – 17.9.2012
Arbeitszeit (Soll)	Gesamtproduktionszeit in Minuten (mit Umrüstung)
Arbeitszeit	Tatsächliche Produktionszeit in Minuten (ohne Umrüstung)
Nettogewicht	Produziertes Nettogewicht
Bruttogewicht	Produziertes Bruttogewicht

**Tabelle 1: Rohdaten**

Jeder Datensatz entspricht einer Produktionsaufnahme eines Artikels über einen in Tagen gemessenen Zeitraum. Für jede Produktionsaufnahme sind die Artikelnummer, die genaue Artikelbezeichnung sowie das Datum des Produktionsbeginns (*Produktionsbeginn*) und des Produktionsendes (*Produktionsende*) angegeben. Darüber hinaus ist die für eine Produktion benötigte Arbeitszeit in Minuten angegeben. Dabei wird zwischen der Gesamtproduktionszeit einschließlich Umrüstvorgang (*Arbeitszeit (Soll)*) und der tatsächlichen Produktionszeit ohne Umrüstvorgang (*Arbeitszeit*) unterschieden. Das produzierte Gesamtgewicht wird für jede Produktion erfasst, zuerst vor der Qualitätskontrolle (*Bruttogewicht*) und dann, nachdem in der Qualitätskontrolle fehlerhafte Stücke aussortiert wurden (*Nettogewicht*).

Auf dieser Basis werden zusätzlich zur Berechnung der Produktionslänge in Tagen (*Produktionstage*) zwei weitere Kennzahlen gebildet, die Aufschluss über Eigenschaften der einzelnen Produktionen in Bezug auf Arbeitseffizienz und Produktionsqualität geben und in Tabelle 2 beschrieben sind.

Feldbezeichnung	Erläuterung
Produktionstage	$Produktionstage = Produktionsende - Produktionsbeginn$
Arbeitseffizienz	Prozentualer Anteil der tatsächlichen Arbeitszeit an Gesamtzeit: $Arbeitseffizienz = \frac{Arbeitszeit}{Arbeitszeit (Soll)} \cdot 100$
Produktionsqualität	Prozentualer Anteil des Nettogewichts am Bruttogewicht: $Produktionsqualität (PTM) = \frac{Nettogewicht}{Bruttogewicht} \cdot 100$

**Tabelle 2: Abgeleitete Daten**

Zum einen wird die Arbeitseffizienz als prozentualer Anteil der tatsächlichen Produktionszeit an der Gesamtproduktionszeit berechnet (*Arbeitseffizienz*). Zum anderen wird die Produktionsqualität als prozentualer Anteil des Nettogewichts am Bruttogewicht einer Produktion be-

stimmt. Die sich ergebende Größe *Produktionsqualität* wird auch als Packed to Melt-Verhältnis bezeichnet, also das Verhältnis der nach der Qualitätskontrolle im Warenausgang für den Verkauf zur Verfügung stehenden Produktionsmenge im Verhältnis zur Gesamtproduktionsmenge vor der Qualitätskontrolle.

#### 4.3 Empirische Auswertung der Produktionscharakteristika

Im Hinblick darauf, welche Artikel im Rahmen einer Änderung der Losgrößenplanung geeignet sind, werden diejenigen ausgewählt, bei denen innerhalb des Beobachtungszeitraums mindestens zwölfmal eine Produktion beliebiger Länge aufgenommen wurde. Hintergrund dieser Auswahl ist die Überlegung, dass bei Artikeln, die weniger als zweimal pro Jahr produziert werden die angestrebten Veränderungen des Produktionsplans nicht zielführend sind. Für Artikel, die seltener produziert werden, ist ein produktionsverlängernder Eingriff nicht sinnvoll, da in diesem Falle erhebliche Lagerzeiten für die vorproduzierten Waren entstehen würden. Von den insgesamt 3197 Artikeln erfüllen 339 diese Restriktion. Die verbliebenen 2822 Artikel sind nicht Gegenstand der weiteren Untersuchung.

Die empirische Darstellung der relevanten Zusammenhänge erfolgt vor dem Hintergrund der folgenden vier wesentlichen Untersuchungsgegenstände: die empirische Verteilung der Länge der Produktionszeiträume, Arbeitseffizienz und Produktionsqualität in Abhängigkeit von der Länge der Produktionszeiträume sowie die zeitlichen Differenzen zwischen den Produktionszeiträumen.

##### 4.3.1 Länge der Produktionszeiträume

Abbildung 2 zeigt die Verteilung der Länge der Produktionszeiträume für alle Produktionsaufnahmen der ausgewählten 339 Artikel.

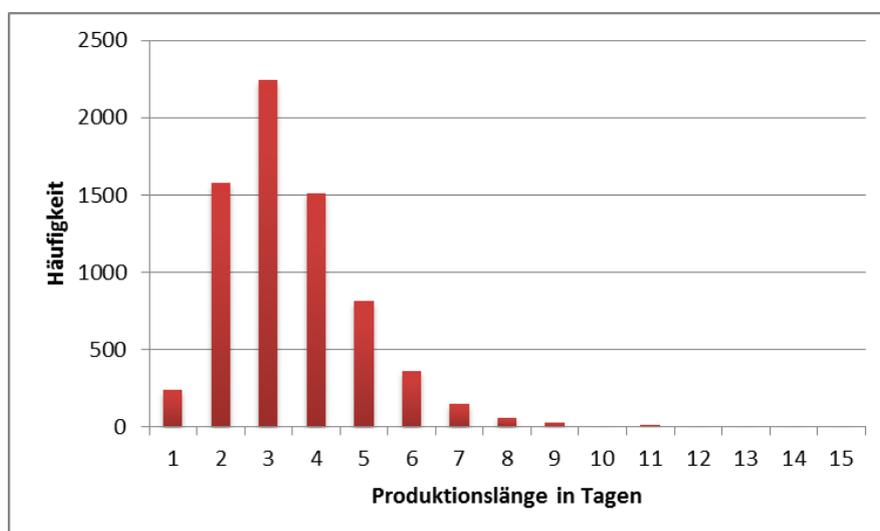


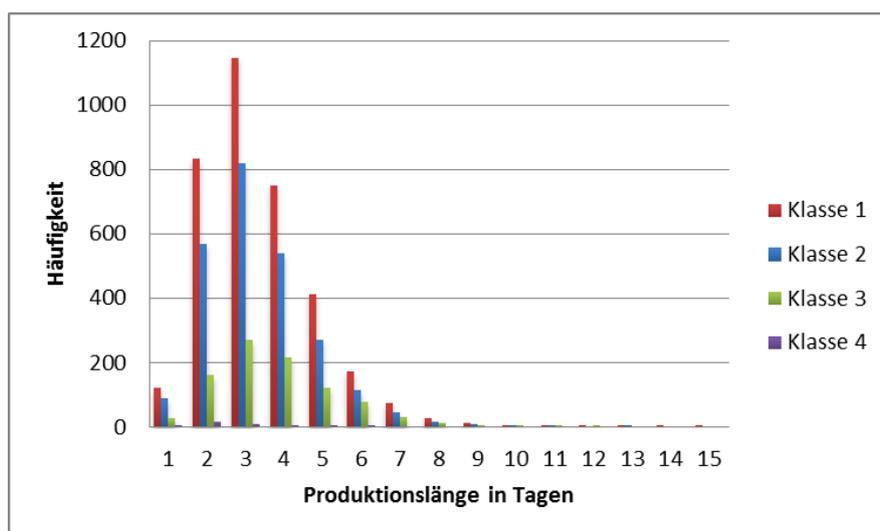
Abbildung 2: Verteilung der Länge der Produktionszeiträume

Deutlich zu erkennen ist, dass die meisten Produktionsaufnahmen zu dreitägigen Produktionen führen, der Anteil von ein- und zweitägigen Produktionen jedoch erheblich ist. Produktionslängen von acht oder mehr Tagen hingegen sind sehr selten, so dass sich insgesamt eine rechtsschiefe Verteilung ergibt.

In Abbildung 3 ist derselbe Zusammenhang, hier jedoch getrennt nach Produktionshäufigkeitsklassen dargestellt. Die Artikel sind in Abhängigkeit von der Gesamtzahl aufgenommener Produktionen innerhalb des gesamten Beobachtungszeitraums in vier Klassen aufgeteilt. Die Klassengrenzen und die Artikelanzahl pro Klasse sind Tabelle 3 zu entnehmen, in der Klasse 2 zum Beispiel finden sich alle 96 Artikel, die innerhalb des Beobachtungszeitraums zwischen 21 und 30-mal produziert wurden.

Klasse	Klassengrenzen	Artikelanzahl
1	12-20	223
2	21-30	96
3	31-40	19
4	>40	1

**Tabelle 3: Produktionshäufigkeitsklassen**



**Abbildung 3: Verteilung der Länge der Produktionszeiträume getrennt nach Produktionshäufigkeitsklassen**

Deutlich zu erkennen ist, dass die Verteilungsstruktur Produktionslängen für alle Produkthäufigkeitsklassen ähnlich ist. Der Modus aller drei Verteilungen liegt bei drei Produktionstagen und alle Verteilungen sind rechtsschief. Daraus lässt sich ableiten, dass die Verteilung der Produktionslängen unabhängig von der Anzahl der Produktionsaufnahmen ist, sondern andere Gründe für die Wahl der Produktionslänge ausschlaggebend sind.

### 4.3.2 Arbeitseffizienz

In Abbildung 4 ist die erreichte Arbeitseffizienz in Abhängigkeit von der Produktionsdauer dargestellt und deutlich zu erkennen, dass die erzielte Arbeitseffizienz proportional zur Produktionsdauer ansteigt. Erst von einer Produktionsdauer von 6 oder mehr Tagen an ist dieser Effekt nicht mehr beobachtbar. Bei längeren Produktionsdauern ist kein eindeutiges Muster mehr feststellbar, wobei die Absenkung der Arbeitseffizienz bei elftägigen Produktionen auffällt.

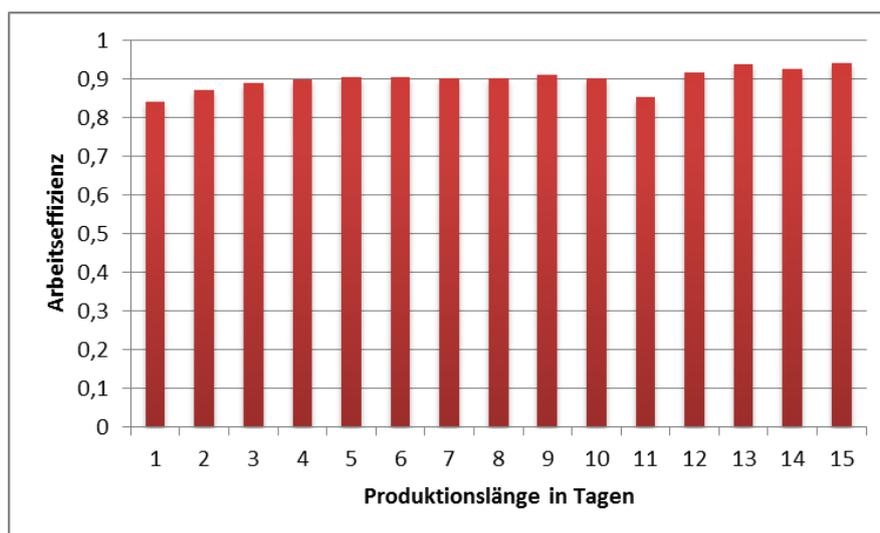


Abbildung 4: Arbeitseffizienz in Abhängigkeit von Produktionszeiträumen

Dieser Anstieg der Arbeitseffizienz in Abhängigkeit von der Produktionsdauer wird durch die von der Länge der Produktionszeit unabhängige Rüstzeit, wie sie in Abschnitt 4.1.1 beschrieben ist, verursacht. Je länger eine Produktion dauert, umso geringer wird der Einfluss der Rüstzeit auf die Arbeitseffizienz. Andere Einflussfaktoren, wie zum Beispiel die Abnutzung der im Produktionsprozess verwendeten Werkzeuge und der daraus entstehende Wartungsbedarf gewinnen an Bedeutung.

Abbildung 5 zeigt, dass zwischen den einzelnen Produktionshäufigkeitsklassen keine strukturellen Unterschiede beobachtbar sind. Die abweichende Struktur in der vierten Klasse ist darauf zurückzuführen, dass lediglich ein Artikel in dieser Klasse enthalten ist. Lediglich bei den langen Produktionsdauern zeigt sich, dass in Klassen mit häufigen Produktionsaufnahmen sehr lange Produktionszeiten eher selten sind. In der Gesamtbetrachtung zeigt sich dieser Effekt durch die nicht mehr eindeutige Tendenz der Arbeitseffizienz bei langen Produktionszeiträumen und die fehlenden Werte für lange Produktionszeiten und hohen Produktionshäufigkeitsklassen.

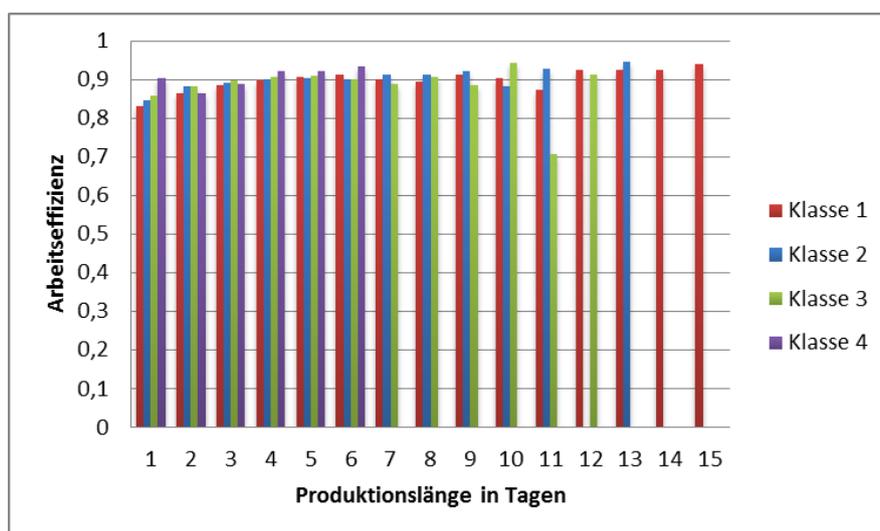


Abbildung 5: Arbeitszeiteffizienz in Abhängigkeit von Produktionszeiträumen und Produktionshäufigkeitsklassen

### 4.3.3 Produktionsqualität

Für die Produktionsqualität zeigen sich die gleichen Zusammenhänge wie bei der Betrachtung der Arbeitseffizienz. Die Produktionsqualität steigt mit zunehmender Produktionsdauer, erst von einer Produktionslänge von 5 Tagen an bleibt sie verhältnismäßig konstant. Ebenfalls zu erkennen ist in Abbildung 6 ein Absinken der Produktionsqualität bei einem Produktionszeitraum von 11 Tagen.

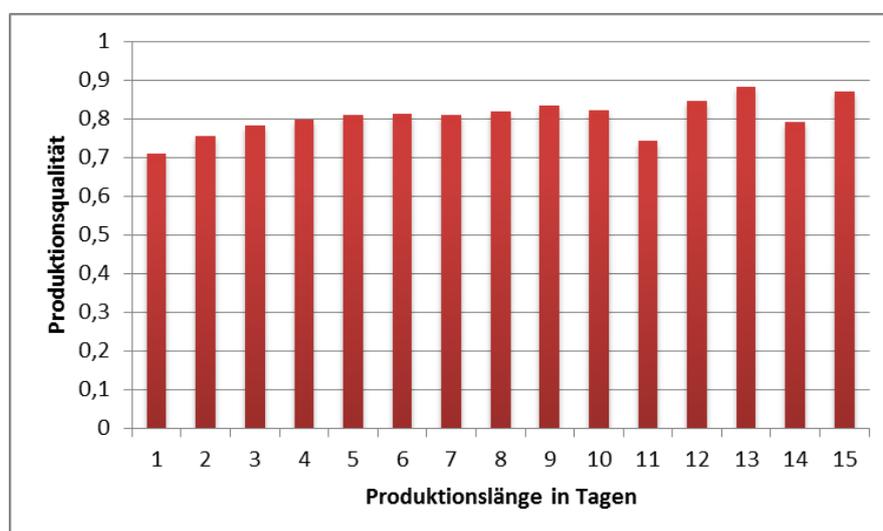
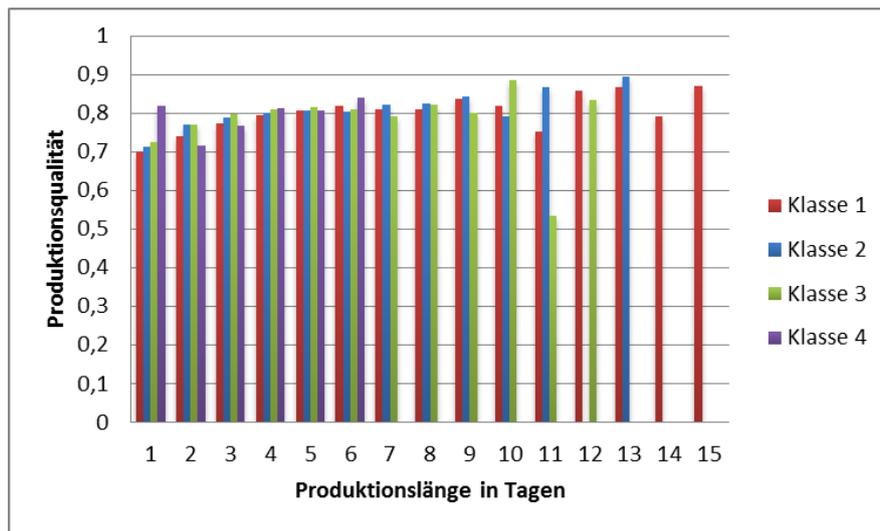


Abbildung 6: Produktionsqualität in Abhängigkeit von Produktionszeiträumen

Der Anstieg der Produktionsqualität mit der Produktionsdauer lässt sich dadurch erklären, dass zu Beginn einer jeden Produktion eine Justierung der Stellgrößen des eigentlichen Produktionsprozesses sowie auch des nachgelagerten Qualitätssicherungsprozesses notwendig ist (vgl. Abschnitt 4.1.1). Erst nach erfolgter Justierung lässt sich im weiteren Verlauf der Produktion die gewünschte Produktionsqualität erreichen und einhalten.

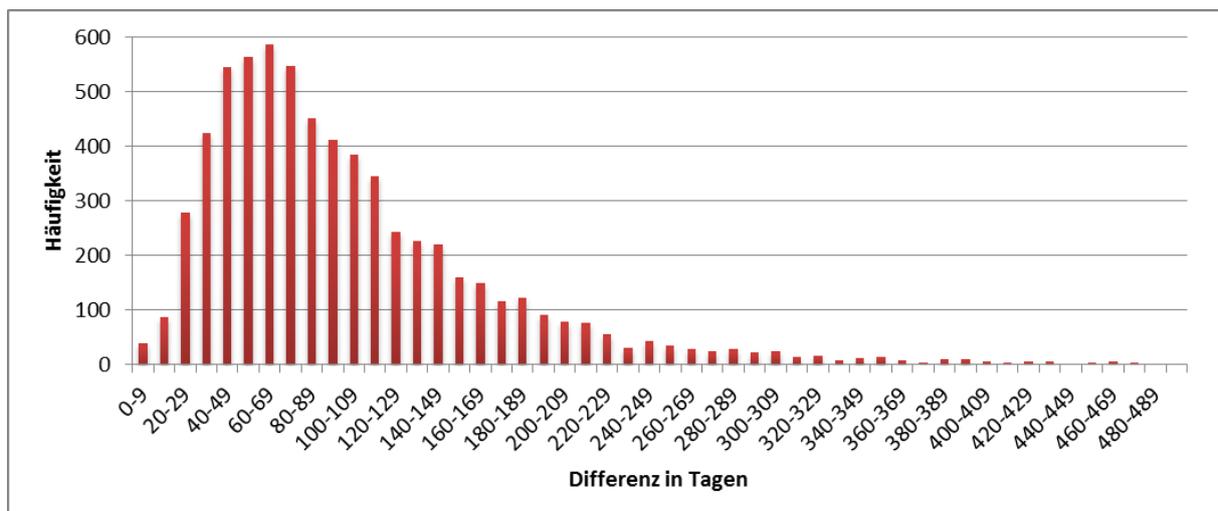


**Abbildung 7: Produktionsqualität in Abhängigkeit von Produktionszeiträumen und Produktionshäufigkeitsklassen**

Die in Abbildung 7 gezeigte Darstellung des gleichen Zusammenhangs in Abhängigkeit von den Produktionshäufigkeitsklassen lässt keine strukturellen Unterschiede zwischen den einzelnen Klassen erkennen. Auffällig ist, dass bei kürzeren Produktionszeiträumen die Produktionsqualität für häufiger produzierte Artikel immer etwas höher ist, als für seltener produzierte Artikel. Dieser Zusammenhang lässt sich dadurch erklären, dass sich Routine und Erfahrung bei der Justierung der Prozesse positiv auf die Produktionsqualität auswirken.

#### 4.3.4 Zeitliche Differenzen zwischen Produktionszeiträumen

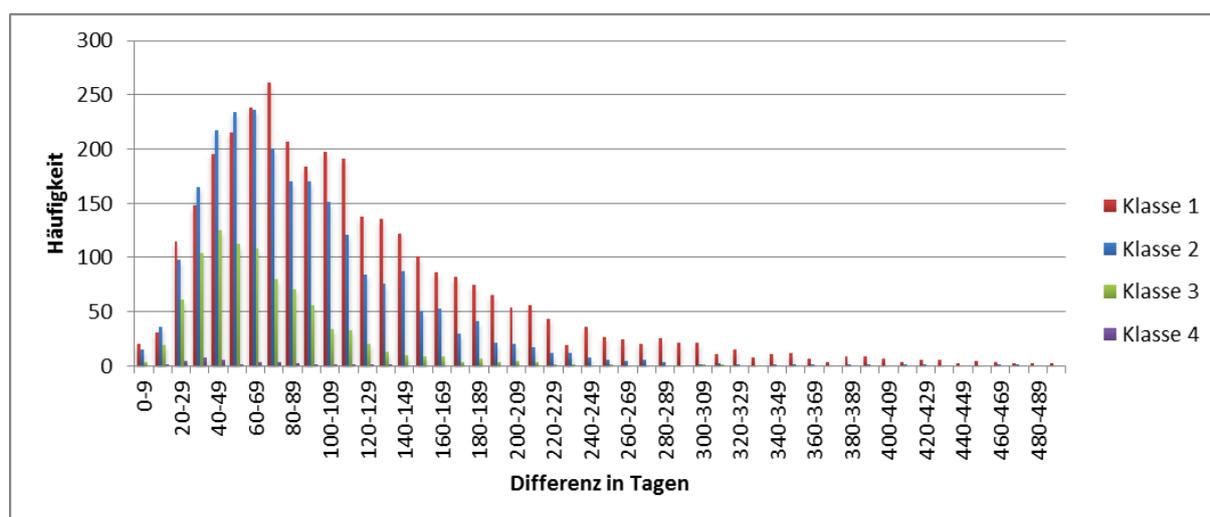
Für jeden Artikel wird für alle chronologisch aufeinander folgenden Produktionsaufnahmen berechnet, wie viele Tage zwischen dem Produktionsende der vorherigen Produktion und dem Produktionsanfang der folgenden Produktion eines Artikels liegen. Die Verteilung dieser zeitlichen Differenzen für alle betrachteten Artikel ist in Abbildung 8 dargestellt.



**Abbildung 8: Zeitliche Differenzen zwischen Produktionszeiträumen**

Zu erkennen ist eine rechtsschiefe Verteilung um einen Mittelwert von 106 Tagen bei einer Standardabweichung von 83,91 Tagen. Zeitliche Differenzen von weniger als 30 Tagen kommen sehr selten vor, die Hälfte aller Beobachtungen liegt zwischen 50 (unteres Quantil) und 139 Tagen (oberes Quantil) für die Zeit zwischen zwei Produktionsaufnahmen. Zu beobachten ist jedoch auch, dass teilweise extrem lange zeitliche Differenzen zwischen zwei Produktionsaufnahmen liegen.

Wie schon bei der Betrachtung von Arbeitseffizienz und Produktionsqualität wird auch dieser Zusammenhang noch einmal differenziert nach Produktionshäufigkeitsklassen in Abbildung 9 dargestellt.



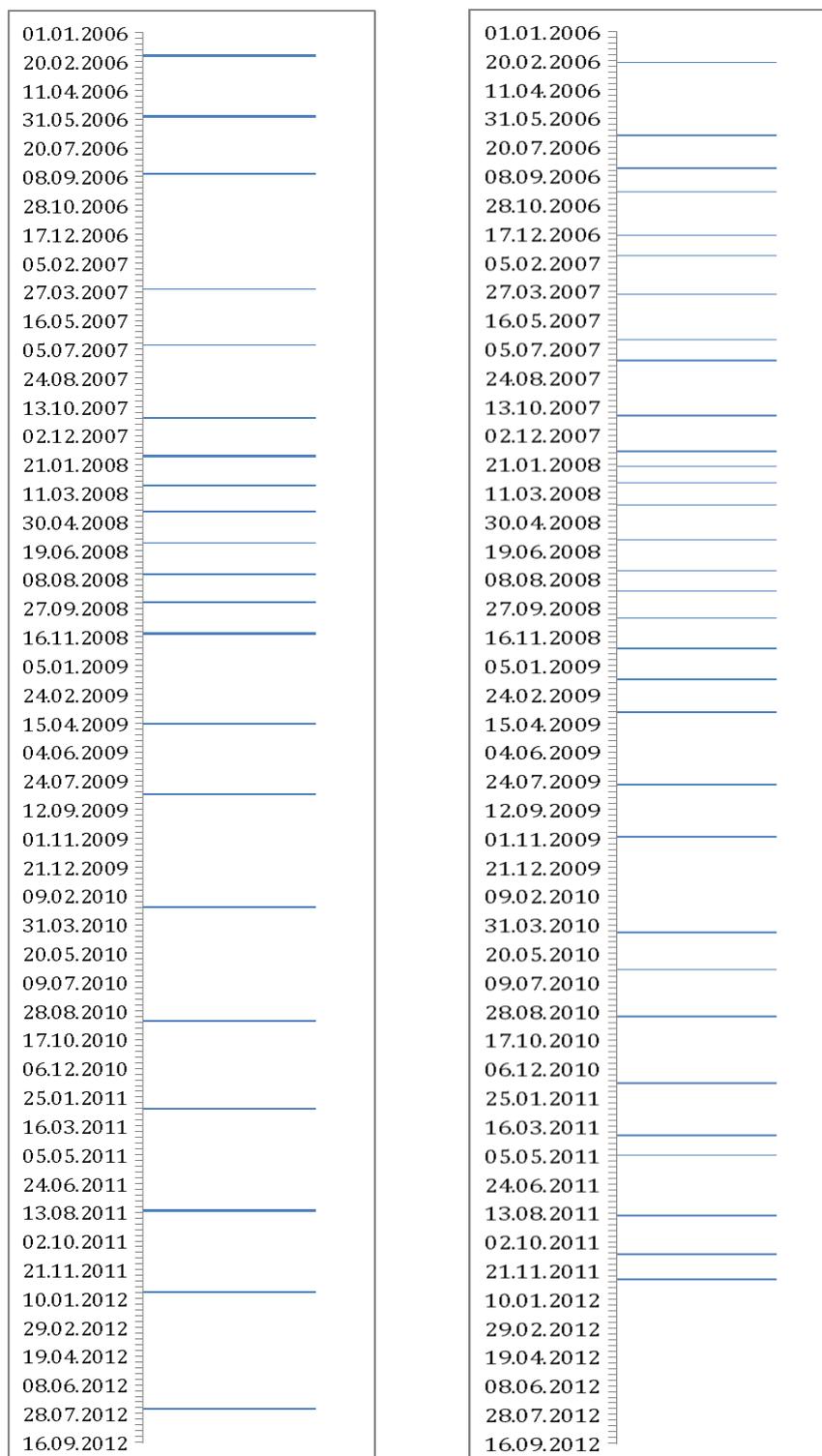
**Abbildung 9: Zeitliche Differenzen zwischen Produktionszeiträumen in Abhängigkeit von Produktionshäufigkeitsklassen**

Deutlich zu erkennen ist, dass die rechtsschiefe Struktur der Verteilung der zeitlichen Differenzen für alle Produktionshäufigkeitsklassen gleich ist. Unterschiede ergeben sich dadurch, dass seltene Produktionshäufigkeiten tendenziell zu längeren zeitlichen Differenzen führen, während bei häufig produzierten Artikeln die zeitlichen Differenzen zwischen den einzelnen Produktionsaufnahmen geringer sind.

#### 4.4 Darstellung der Produktionshistorie für einzelne Artikel

Neben den Betrachtungen der Produktionsstruktur auf Grundlage hoch aggregierter Kennzahlen ist zusätzlich eine individuelle Darstellung der Produktionshistorie einzelner Artikel notwendig, um zu Erkenntnissen und Aussagen hinsichtlich produktionshistorischer Besonderheiten zu kommen. In Abbildung 10 sind für zwei ausgewählte Artikel die Produktionshistorien dargestellt. Tage, an denen der betreffende Artikel produziert wurde, sind mit einem dünnen blauen Balken gekennzeichnet. Daraus ergibt sich, dass bei einer längeren Produktion der aus einzelnen dünnen Balken zusammengesetzte Gesamtbalken entsprechend dicker ist. Während beim links dargestellten Artikel vergleichsweise wenige Produktionsaufnahmen stattfinden

den, die dann jedoch zu eher mehrtägigen Produktionszeiträumen führen, zeigt sich beim rechts dargestellten Artikel ein entgegengesetztes Bild. Hier sind vergleichsweise viele kurze Produktionsaufnahmen zu beobachten.



**Abbildung 10: Produktionshistorie einzelner Artikel**

Beim linken Artikel ist gut zu erkennen, dass die Produktionshäufigkeiten im Zeitraum zwischen Anfang 2006 und Ende 2008 deutlich höher liegen als im nachfolgenden Zeitraum. Die Abstände zwischen den Produktionsaufnahmen sind in diesem ersten Zeitraum erheblich ge-

ringer. Beim rechten Artikel zeigt sich dieser strukturelle Unterschied nicht in dieser Deutlichkeit. Ebenfalls zu erkennen sind auch hier jedoch viele kurze, dicht aufeinander folgende Produktionen im ersten Zeitraum. Im zweiten Zeitraum sind die Produktionsdauern etwas länger, dafür die zeitlichen Abstände größer.

Aus dieser Betrachtung ergibt sich die Idee, diesen Konsolidierungsprozess der Produktion zu forcieren, indem einzelne Produktionen verlängert werden, um in der Folge Produktionsaufnahmen und damit die dahinterliegenden Rüst- und Qualitätssicherungsprozesse vermeiden zu können.

## **5 Durchführung der Simulationsstudie**

Die im Rahmen der Fallstudie durchgeführten drei Durchläufe der Simulationsstudie werden im Folgenden auf Grundlage der in Abschnitt 3.1 erläuterten und in Abbildung 1 dargestellten Phasen und Schritte zur Durchführung einer Simulation beschrieben und erläutert. Grundsätzlich liegt dabei der gesamten Simulationsstudie der in Kapitel 2 erläuterte Ansatz der Minimierung der Summe aus Produktions- und Lagerhaltungskosten zugrunde.

### *5.1 Problemstellung / Problemanalyse*

Wie bereits im Vorfeld vermutet, zeigt die empirische Auswertung der Produktionscharakteristika in den Abschnitten 4.3.2 und 4.3.3, dass kurze Produktionsdauern zu einer Verminderung der Arbeitseffizienz und Produktionsqualität der Gesamtproduktion führen. Diese Verminderung erhöht entsprechend die Produktionskosten für die Gesamtproduktionsmenge. Die Betrachtung der zeitlichen Differenzen zwischen aufeinander folgenden Produktionsaufnahmen eines Artikels zeigt jedoch, dass ein grundsätzlicher Übergang von auftragsorientierter zu lagerorientierter Produktion mit erheblichen zusätzlichen Lagerzeiten und in der Folge Lagerkosten verbunden wäre.

Die in Abbildung 2 und Abbildung 3 dargestellte Verteilung der Produktionszeiträume gibt jedoch einen Hinweis darauf, dass die Vermeidung sehr kurzer Produktionszeiträume, angewendet auf häufig produzierte Artikel, durchaus ökonomisch sinnvoll sein kann, dass die dadurch zu erzielenden Effizienz- und Qualitätsvorteile nicht durch übermäßig hohe zusätzliche Lagerbelastungen erkaufte werden müssen.

### *5.2 Aufgaben und Ziele der Simulation*

Ziel der Simulationsstudie ist es, zu überprüfen, ob eine Produktionsverlängerung bei auftragsbezogen sehr kurzen Produktionszeiträumen für ausgewählte Artikel Arbeitseffizienz und Produktionsqualität bei gleichbleibendem Servicelevel signifikant verbessern kann, ohne

dass die dabei zu erwartende Belastung des Lagers zu groß wird. Idee ist somit, bei ausgewählten Artikeln kurze Produktionszeiträume zu verlängern und die dadurch entstehende Mehrproduktion bis zum nächsten Auftrag zu lagern. Ziel ist die Zusammenfassung kurzer Produktionszeiträume zu einem längeren Produktionszeitraum.

### 5.3 1. Simulationsdurchlauf

Ziel des 1. Simulationsdurchlaufs ist die Abschätzung der Auswirkungen, wenn eintägige Produktionen vermieden werden. Grundlage für diesen Ansatz ist zum einen die Tatsache, dass vergleichsweise wenige eintägige Produktionen stattfinden, die Eingriffe in den Produktionsplan also überschaubar bleiben. Zum anderen sind die höchsten positiven Effekte auf Arbeitseffizienz und Produktionsqualität bei dem Verzicht auf eintägige Produktionen zu erwarten, da hier die gemessenen Werte besonders niedrig sind.

#### 5.3.1 Datenermittlung und Simulationsmodell

Die für die Simulation verwendeten Daten sind in Abschnitt 4.2 dargelegt. Auf Basis dieser Daten wird im ersten Simulationslauf für die ausgewählten 339 Artikel, die mindestens zwölfmal im gesamten Beobachtungszeitraum produziert wurden, eine einfache Simulationsregel aufgestellt. Immer dann, wenn der Produktionsauftrag lediglich eine Tagesproduktion umfasst, wird diese Produktion um einen Tag verlängert. Folgt auf diese um einen Tag verlängerte Produktion wieder eine eintägige Produktion, kann diese aus dem Produktionsplan gestrichen werden, da die notwendige Produktionsmenge im Lager vorrätig ist. Folgt auf den verlängerten Produktionszeitraum eine mindestens dreitägige Produktionsaufnahme, wird aus demselben Grund die Produktionszeit einfach um einen Tag verringert. Im Falle einer zweitägigen Produktion, die auf eine auf zwei Tage verlängerte eintägige Produktion folgt, würde eine Verringerung um einen Produktionstag zu einer Produktionsdauer von wieder einem Tag und damit lediglich zu einer Verlagerung des Problems führen. Da dies unerwünscht ist, wird in diesem Falle auf eine Verkürzung der zweitägigen Produktion verzichtet.

Zur Abschätzung der Auswirkungen einer solchen Strategie auf die Lagermengen, wird in Abhängigkeit vom geänderten Produktionsplan berechnet, wie lange die durch die Verlängerung der Produktionsdauer entstehende Produktionsmenge gelagert werden muss, bevor sie das Lager verlässt.

#### 5.3.2 Ergebnisanalyse

Bei 112 der 339 zur Verfügung stehenden Artikel wurde mindestens einmal produktionsverlängernd durch die Simulationsregeln in den Produktionsplan eingegriffen. Ein Vergleich der

Verteilung der Produktionslängen zwischen tatsächlicher und simulierter Produktion ist Abbildung 11 zu entnehmen.

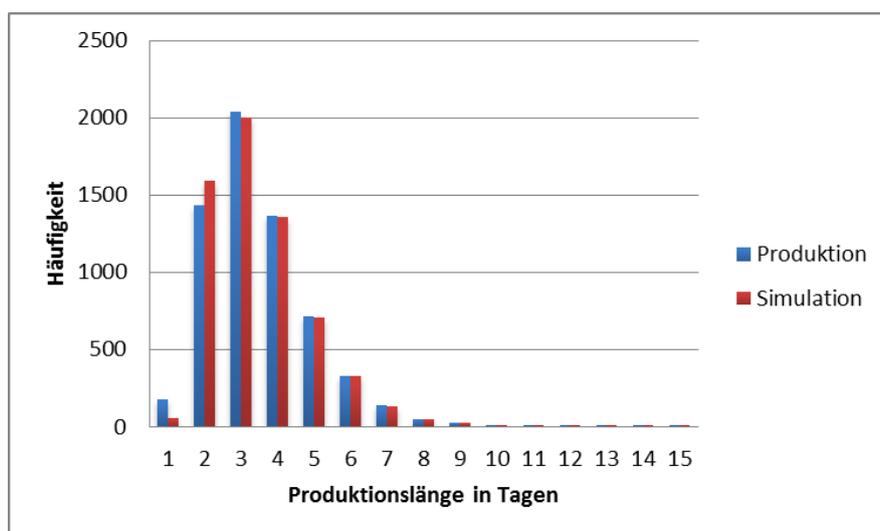


Abbildung 11: Verteilung der Produktionslängen im Vergleich

Zu erkennen ist, dass durch die Anwendung der Simulationsregeln ein Großteil der eintägigen Produktionen verhindert wird. Die verbliebenen eintägigen Produktionen ergeben sich immer dann, wenn eine Produktionsverlängerung nur dadurch ausgeglichen werden kann, dass am Ende des Simulationszeitraums eine eintägige Produktion verbleibt. Die Zahl der zweitägigen Produktionen steigt durch die Produktionsverlängerung erheblich an. In der Folge verringern sich die Häufigkeiten längerer Produktionslängen, da hier die Verlängerung der Produktionsdauer von einem auf 2 Tage ausgeglichen wird. Dieser Effekt nimmt für steigende Produktionslängen ab. Ein Vergleich der zeitlichen Differenzen findet sich in Abbildung 12.

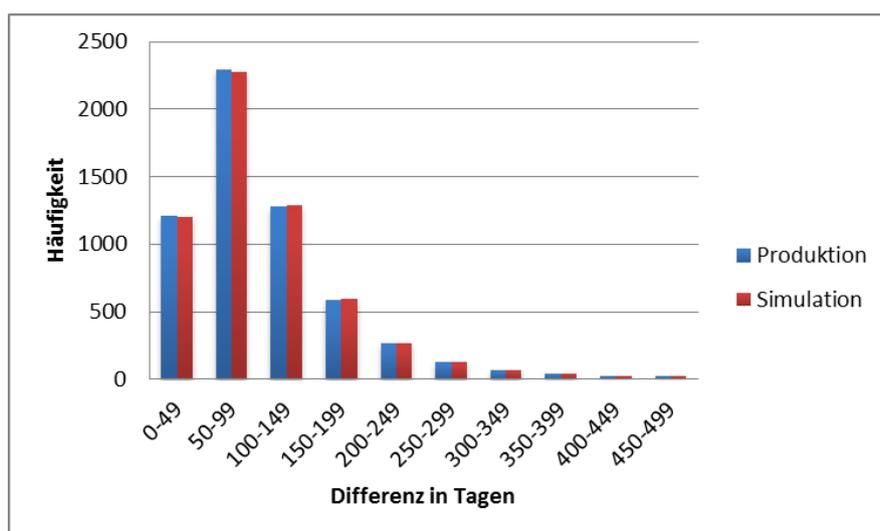


Abbildung 12: Verteilung der zeitlichen Differenzen im Vergleich

Im Unterschied zu den Produktionslängen sind hier die Effekte der Simulation nicht so deutlich erkennbar. Tendenziell ist aber zu erkennen, dass die Häufigkeit kürzerer Abstände zwi-

schen aufeinanderfolgenden Produktionen eines Artikels etwas abnehmen (0 - 49 Tage und 50 - 99 Tage), während die Zahl längerer Abstände zunimmt. Offensichtlich konnten demnach einige Produktionsaufnahmen vermieden werden, was in der Folge zu diesen längeren Zwischenräumen führt.

Folge dieser Zunahme längerer Abstände zwischen Produktionen ist ein erhöhter Lageraufwand. Zur Abschätzung der sich ergebenden Lagerbelastung wird die Kennzahl „Zusätzlicher Lagertag“ definiert. Für jede Produktionsverlängerung wird gemessen, wie viele Tage die zusätzliche Produktionsmenge gelagert werden muss, bis der nächste Produktionstermin und damit auch die nächste angenommene Nachfrage nach diesem Artikel erreicht ist. Unter einem zusätzlichen Lagertag ist demnach die Tagesproduktion eines Artikels zu verstehen, die aufgrund der Simulationsregeln einen Tag zusätzlich gelagert werden muss. Insgesamt ergaben sich für den Gesamtsimulationszeitraum 13670 zusätzliche Lagertage, was bei einem Beobachtungszeitraum von knapp sieben Jahren einem Wert von 2035 zusätzlichen Lagertagen pro Jahr entspricht. Bezogen auf die Anzahl der im Rahmen der Simulation geänderten 112 Artikel ergibt sich ein Mittelwert von 122,05 zusätzlichen Lagertagen pro Artikel, das entspricht 18,17 pro Jahr. Bezogen auf die Gesamtzahl der betrachteten 339 Artikel liegt der Mittelwert bei 40,32, also etwa 6 pro Jahr. Insgesamt zeigt sich somit, dass die Simulationsregeln die erwarteten Effekte hinsichtlich Produktionslängen und Produktionsabstände tatsächlich erzeugen.

#### 5.4 2. *Simulationsdurchlauf*

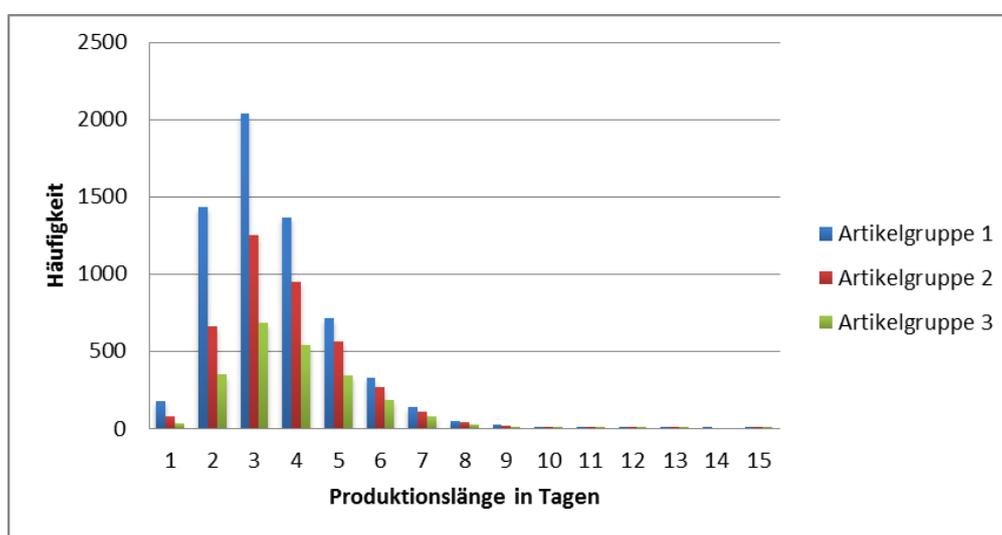
Verbesserungspotentiale ergeben sich im Bereich der Simulationsregeln durch die Vermeidung auch zweitägiger Produktionen und Sonderregeln zur vollständigen Vermeidung eintägiger Produktionsdauern. Im Bereich der Artikelauswahl wird eine verbesserte Identifizierung geeigneter Artikel nach Produktions- und Absatzmustern der Vergangenheit angestrebt. Ein weiterer Aspekt ist die bessere Abschätzung der Simulationsfolgen hinsichtlich Lagerbelastung, Produktionsqualität und Arbeitseffizienz.

##### 5.4.1 *Datenermittlung und Simulationsmodell*

Neben der im 1. Simulationslauf verwendeten Produktionsdaten für 339 Artikel im Gesamtbeobachtungszeitraum 2006-2012 (Artikelgruppe1) werden zwei weitere Artikelgruppen gebildet. Da in der Folge von Produktionsumstellungen erheblichen Strukturbrüchen der Produktionschronologie der einzelnen Artikel zum Jahreswechsel 2007/2008 zu beobachten sind, wird für die in Artikelgruppe 1 enthaltenen 339 Artikel die Zeitreihe auf den Zeitraum 2008 - 2012

verkürzt (Artikelgruppe 2). Artikelgruppe 3 umfasst für diesen verkürzten Zeitraum nur die 182 Artikel, die zum Zeitpunkt der Produktionsumstellung neu eingeführt wurden.

Abbildung 13 zeigt die Verteilung der Produktionslängen der drei Artikelgruppen im Vergleich. Bei allen drei Artikelgruppen ist die häufigste Produktionslänge 3 Tage. Neben den unterschiedlichen absoluten Häufigkeiten ist zu erkennen, dass im Vergleich zu Artikelgruppe 1 die Artikelgruppen 2, und, in noch höherem Ausmaß, die Artikelgruppe 3 eine deutlich rechtsschiefere Verteilung aufweisen. In den Artikelgruppen 2 und 3 ist der Anteil längerer Produktionen offenbar größer als in Artikelgruppe 1. Dieser Umstand deutet darauf hin, dass mit aufsteigender Nummerierung der Artikelgruppe das Verbesserungspotential durch die angestrebten Simulationsregeln geringer wird.



**Abbildung 13: Verteilung der Produktionslängen**

Der Vergleich der zeitlichen Differenzen in Abbildung 14 zeigt für alle drei Artikelgruppen die gleiche Struktur. Die am häufigsten vorkommenden zeitlichen Abstände zwischen aufeinander folgenden Produktionen eines Artikels liegen zwischen 50 und 59 Tagen. Die Verteilungen sind alle rechtsschief, teilweise sind sehr lange zeitliche Differenzen zu beobachten.

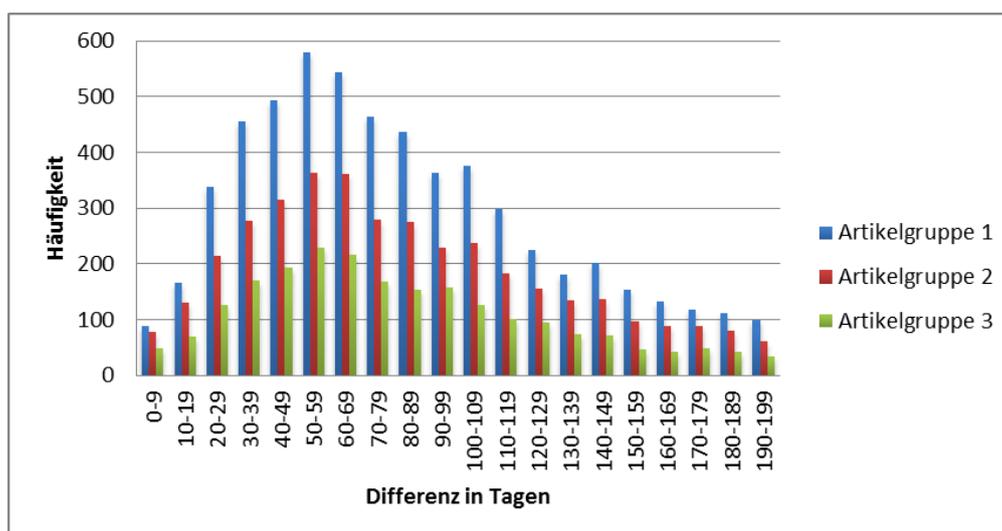


Abbildung 14: Verteilung der zeitlichen Differenzen

Produktionsverlängernde Maßnahmen, wie sie innerhalb der Simulation angewendet werden, führen demnach zu einer starken Lagerbelastung, da teilweise sehr viel Zeit bis zur nächsten Produktionsaufnahme vergeht. In Tabelle 4 sind die wichtigsten Kennzahlen für die Verteilung der zeitlichen Differenzen gegenübergestellt.

Artikelgruppe	Betrachtungszeitraum	Anzahl Artikel	Mittelwert	Standardabweichung
1	2006 – 2012	339	107,35	90,75
2	2008 - 2012	339	108,46	91,76
3	2008 - 2012	182	102,20	87,45

Tabelle 4: Zeitliche Differenzen

Zwar liegen Mittelwert und Standardabweichung der Artikelgruppe 3 deutlich unter denen der beiden anderen Artikelgruppen, die Abweichungen sind jedoch nicht so groß, dass von strukturellen Unterschieden zwischen den Artikelgruppen auszugehen ist. Die Modalklasse aller drei Verteilungen liegt bei 50 – 59 Tagen, alle drei Verteilungen sind rechtsschief.

Die Simulationsregeln im 2. Simulationsdurchlauf werden derart erweitert, dass nun Produktionslängen von einem oder zwei Tagen grundsätzlich verhindert werden. Vor jeder Produktionsaufnahme wird in einem ersten Schritt geprüft, ob der aufgebaute zusätzliche Lagerbestand den Produktionsbedarf deckt. Ist das der Fall, wird zu diesem Zeitpunkt nicht produziert. Liegt der Produktionsbedarf höher als der zusätzliche Lagerbestand, wird eine Produktion in der unter Berücksichtigung des Lagerbestandes benötigten Dauer ausgelöst, mindestens jedoch 3 Tage.

### 5.4.2 Ergebnisanalyse

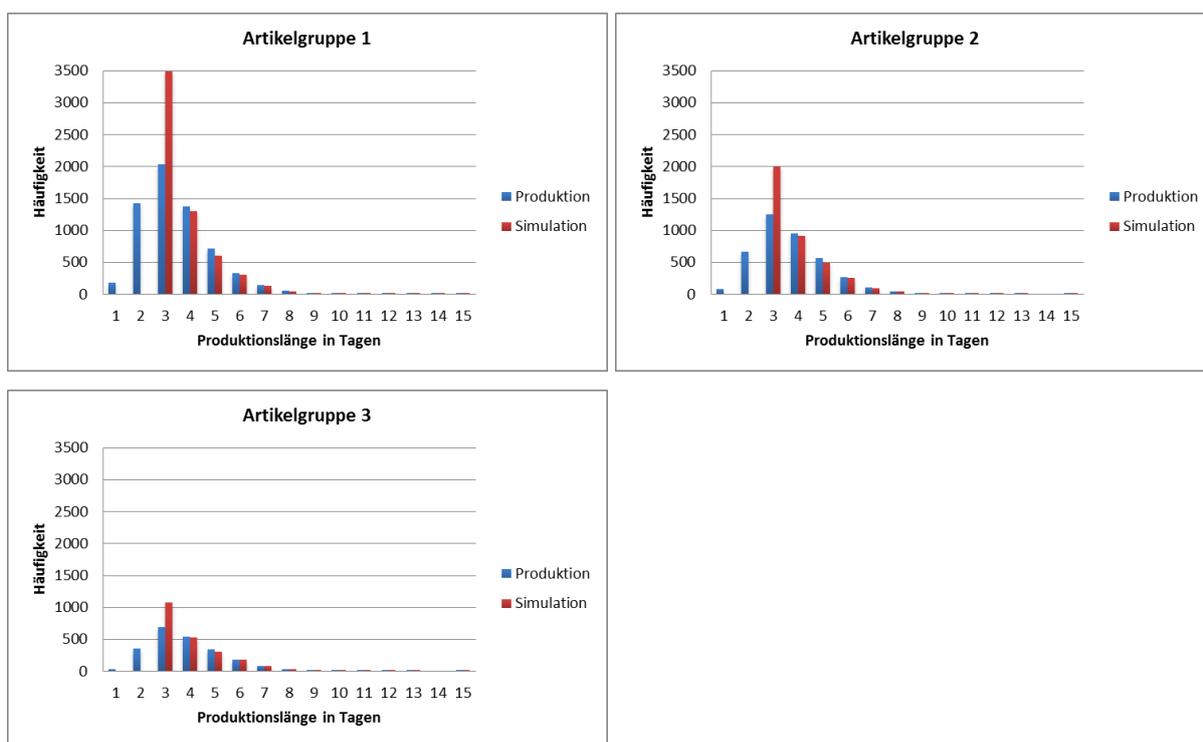
In Tabelle 5 sind die wesentlichen Veränderungen der Produktionsaufnahmen, unterschieden nach Artikelgruppe, zusammengefasst. Zu erkennen ist, dass der Prozentsatz geänderter Artikel im Gesamtzeitraum zwischen 2006 und 2012 höher liegt als innerhalb des Zeitraums nach der Produktionsumstellung (2008 - 2012). Dies lässt sich darauf zurückführen, dass nach der Produktionsumstellung 2007/2008 in der Folge bereits darauf geachtet wurde, die Produktionszeiten nicht zu kurz zu gestalten.

Artikelgruppe	Betrachtungszeitraum	Anzahl Artikel	Anzahl geänderter Artikel	Prozentsatz geänderter Artikel	Anzahl vermiedener Produktionsaufnahmen	davon 1-tägige	davon 2-tägige
1	2006 - 2012	339	302	89%	385	72	313
2	2008 - 2012	339	266	78%	127	26	101
3	2008 - 2012	182	140	76%	61	14	47

**Tabelle 5: Ergebniszusammenfassung des 2. Simulationslaufs**

Der Vergleich für den Betrachtungszeitraum von 2008 und 2012 zwischen allen 339 Artikeln und den 182 neu eingeführten Artikeln (Artikelgruppe 2 und 3) zeigt keine strukturellen Unterschiede. In diesen Artikelgruppen liegt das Verhältnis zwischen der Anzahl vermiedener Produktionsaufnahmen und der Anzahl geänderter Artikel bei knapp 50 Prozent, während in Artikelgruppe 1 dieses Verhältnis bei über 100 Prozent liegt. Auch der Prozentsatz der geänderten Artikel ist in den Artikelgruppen 2 und 3 deutlich geringer als in Artikelgruppe 1. Die Anteile der 1-tägigen und 2-tägigen Produktionsaufnahmen an der Gesamtzahl aller Produktionsaufnahmen sind für alle drei Artikelgruppen jedoch ähnlich hoch.

Die Ergebnisse des 2. Simulationsdurchgangs im Hinblick auf die Produktionslängen und getrennt nach Artikelgruppe ist in Abbildung 15 dargestellt.



**Abbildung 15: Produktionslängen der Artikelgruppen 1,2 und 3**

Gut zu erkennen ist, dass sowohl eintägige als auch zweitägige Produktionen durch die Simulationsregeln gänzlich vermieden werden. In der Folge ist in allen drei Artikelgruppen die Zahl der dreitägigen Produktionen erheblich gestiegen. Die Anzahl der Produktionen mit mehr als drei Produktionstagen sinkt, hier werden die auf drei Tage verlängerten Produktionen durch eine Verkürzung längerer Produktionszeiten ausgeglichen. Am deutlichsten ist dieser Rückgang längerer Produktionen bei allen drei Artikelgruppen für fünftägige Produktionen zu beobachten.

Die Verteilungen der zeitlichen Differenzen zwischen aufeinanderfolgenden Produktionen eines Artikels (vgl. Abbildung 16) zeigen sehr deutlich, dass infolge der Simulationsregeln für alle Artikelgruppen die Anzahl kürzerer Differenzen überproportional abnimmt. Offensichtlich werden durch die Produktionsverlängerung kurze zeitliche Differenzen vermieden und der Produktionsprozess zeitlich konsolidiert.

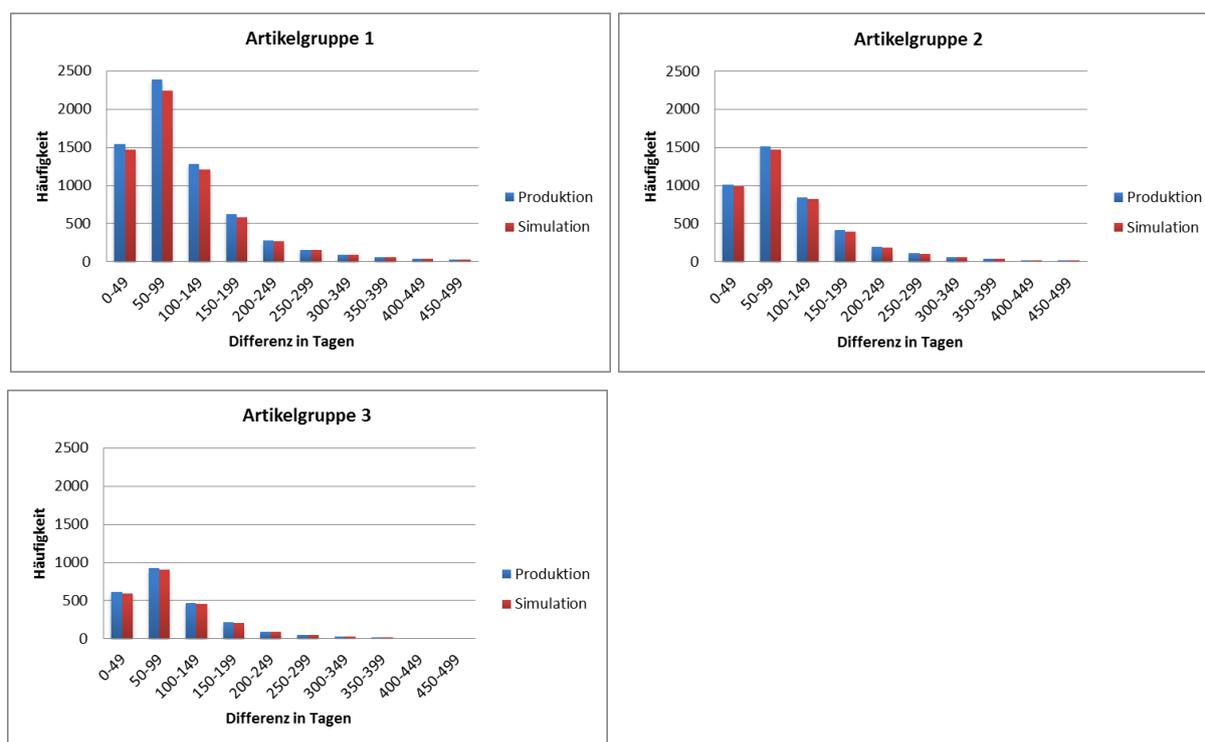


Abbildung 16: Verteilung der zeitlichen Differenzen für Artikelgruppe 1, 2 und 3

Die Auswirkungen der Simulationsregeln auf den zusätzlichen Lagerbedarf, die sich aus den produktionsverlängernden Maßnahmen und der daran anschließenden Lagerung bis zum nächsten Bedarf ergeben, sind der Tabelle 6 zu entnehmen.

Artikel- gruppe	Anzahl geänderter Artikel	Gesamtzahl Lagertage	Lagertage pro Jahr	Mittelwert der Lagertage pro Artikel			
				Alle Artikel		Geänderte Artikel	
				Gesamter Zeitraum	Pro Jahr	Gesamter Zeitraum	Pro Jahr
1	302	340208	50649	1003,56	149,41	1126,51	167,71
2	266	184356	45554	543,82	134,38	693,06	171,26
3	182	87411	21598	480,28	119,99	624,36	154,27

Tabelle 6: Zusätzliche Lagertage

Für jede Artikelgruppe ist angegeben, bei wie vielen Artikeln in den Produktionsplan eingegriffen wurde. Die sich aus diesen Eingriffen ergebenden zusätzlichen Lagertage (Lagerung der Tagesproduktion eines Artikels für einen Tag) werden für den jeweiligen Gesamtzeitraum und bezogen auf jeweils ein Jahr angegeben. In einem zweiten Schritt werden nun diese Werte auf die in dieser Zeit betrachteten Artikel umgelegt, wobei noch einmal danach unterschieden wird, ob alle betrachteten Artikel, oder nur die durch den Simulationsprozess geänderten Artikel als Bezugsgrundlage verwendet werden.

Bei der Betrachtung der mittleren Lagertage pro Artikel bezogen auf alle Artikel pro Jahr ist zu erkennen, dass die zusätzliche Lagerbelastung bei aufsteigender Nummerierung der Artikelgruppe abnimmt. Dieser Effekt erklärt sich dadurch, dass die Eingriffshäufigkeit durch die Simulation aufgrund der Definition der Artikelgruppen mit steigender Artikelgruppe abnimmt und in der Folge die Gesamthäufigkeit zusätzlicher Lagertage ebenfalls geringer ist. Bei der Betrachtung der Mittelwerte der Lagertage pro Artikel pro Jahr, bezogen nur auf die im Simulationsprozess geänderten Artikel, zeigt sich dieser Effekt nicht in diesem Ausmaß, so dass davon auszugehen ist, dass etwa 160 zusätzliche Lagertage für einen Artikel in einem Jahr entstehen, wenn durch die Simulation in den Produktionsplan eingegriffen wird.

Insgesamt zeigt dieser 2. Simulationsdurchlauf, dass die zusätzliche Lagerbelastung, auch wenn sie durch die Messung der zusätzlichen Lagertage nur näherungsweise bestimmt werden kann, durch die simulierten Änderungen des Produktionsplans erheblich ist.

### 5.5 3. *Simulationsdurchlauf*

Aus den Ergebnissen des 2. Simulationslaufs ergibt sich die Idee, die für Produktionsänderungen in Frage kommenden Artikel zielgerichteter auszuwählen. Darüber hinaus zeigt sich bei der Analyse der in Frage kommenden Artikel, dass unter Berücksichtigung der Restriktionen im Produktionsprozess einzelne Artikel zu Artikelgruppen zusammengefasst werden können.

#### 5.5.1 *Datenermittlung und Simulationsmodell*

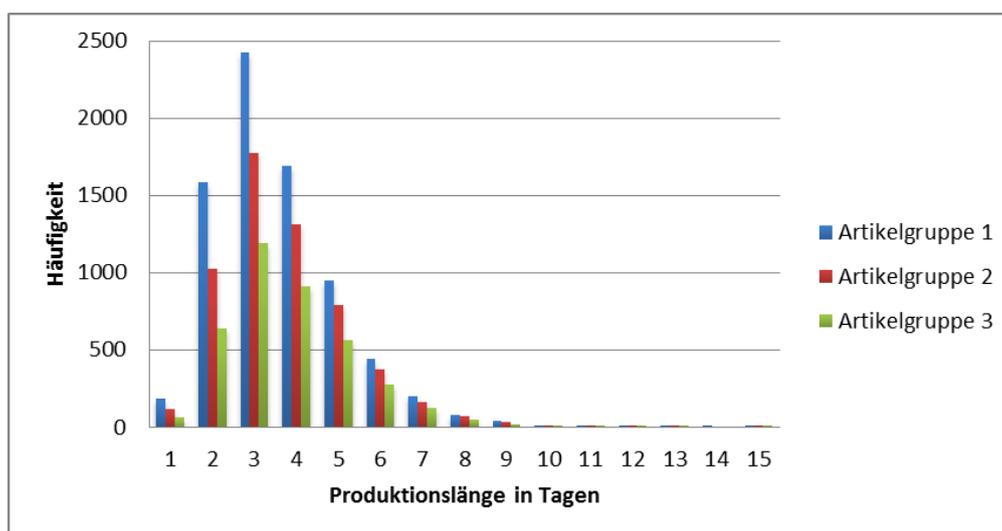
Aus der in Abschnitt 4.2 beschriebenen Datenbasis werden im 3. Simulationsdurchlauf gleichartige Artikel zu Hauptartikeln zusammengefasst. Diese Zusammenfassung erfolgt unter Berücksichtigung der sich aus dem Produktionsprozess ergebenden wesentliche Restriktionen hinsichtlich Umrüstung der Maschinen und der nachgelagerten Prozesse der Qualitätssicherung. Aus dieser Zusammenfassung ergeben sich für den Gesamtzeitraum insgesamt 1580 Hauptartikel. Aus diesen Hauptartikeln werden, wie schon im 2. Simulationsdurchlauf, die für die Simulation geeigneten Hauptartikel für die drei Hauptartikelgruppen ausgewählt. Allen Hauptartikelgruppen gemein ist, dass es für die darin enthaltenen Hauptartikel mindestens 12 Produktionsaufnahmen pro Jahr geben muss. Während die Hauptartikelgruppe 1 den gesamten Zeitraum umfasst, wird der Betrachtungszeitraum für die Hauptartikelgruppe 2 auf den Zeitraum nach Produktionsänderungen (2008-2012) reduziert. Aus dieser Hauptartikelgruppe 2 werden dann für Hauptartikelgruppe 3 nur die zum Zeitpunkt der Produktionsumstellung neu eingeführten Artikel ausgewählt. Die jeweiligen Häufigkeiten der gewählten Hauptartikel sind Tabelle 7 zu entnehmen.

Artikelgruppe	Anzahl
Hauptartikelgruppe (1): (12+, 2006-2012)	394
Hauptartikelgruppe (2): (12+, 2008-2012)	394
Hauptartikelgruppe (3): (12+, 2008-2012, #>1000)	268

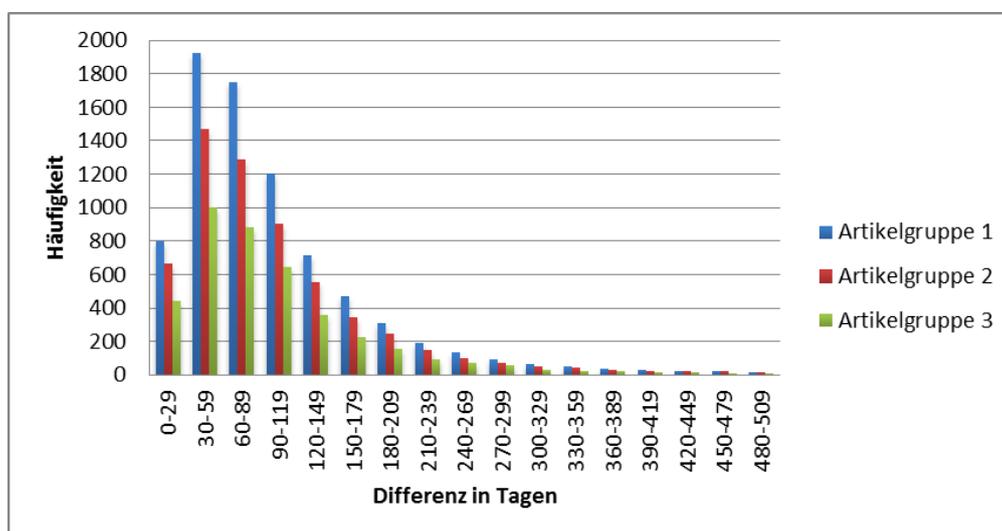
**Tabelle 7: Hauptartikelgruppen**

Zu erkennen ist, dass sich durch diese Zusammenfassung die Anzahl insgesamt betrachteter Artikel vergrößert hat. Viele Artikel, die im 2. Simulationsdurchlauf nicht mindestens 12-mal pro Jahr produziert wurden und nicht in die Betrachtung aufgenommen wurden, können durch diese Zusammenfassung zu Hauptartikeln für die weitere Betrachtung verwendet werden.

Die Produktionscharakteristika hinsichtlich der Verteilung der Länge der Produktionszeiträume und der zeitlichen Differenzen zwischen den Produktionszeiträumen sind in den Abbildung 17 und Abbildung 18 dargestellt.



**Abbildung 17: Verteilung der Länge der Produktionszeiträume**



**Abbildung 18: Verteilung der zeitlichen Differenzen zwischen Produktionszeiträumen**

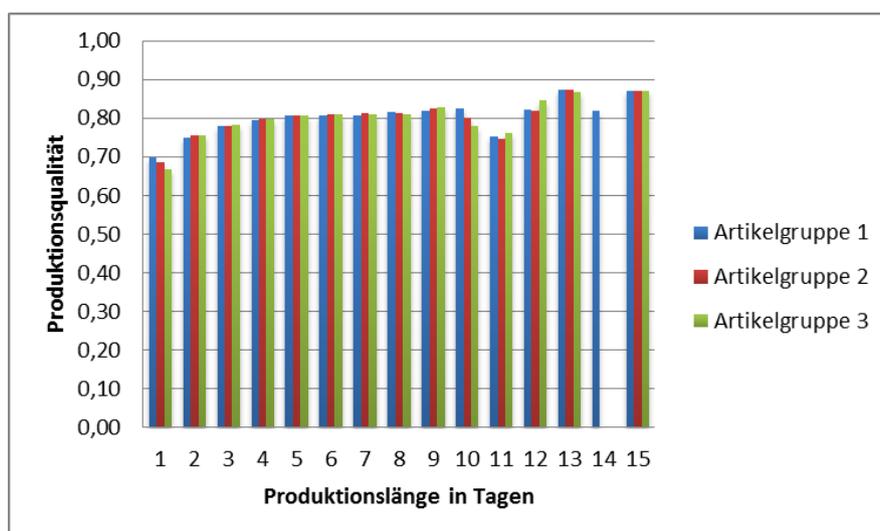
Insgesamt zeigt sich für die Hauptartikel eine ähnliche Struktur wie für die bisher in den Simulationsläufen 1 und 2 betrachteten Artikel. Die Beobachtungshäufigkeit hat durch die gestiegene Artikelzahl zugenommen, wobei hinsichtlich Länge der Produktionszeiträume zu erkennen ist, dass als Folge der Zusammenfassung kurzer Produktionen für alle drei Artikelgruppen die Anzahl längerer Produktionszeiträume deutlich gestiegen ist, während sich die Zahl kurzer Produktionszeiten kaum vergrößert hat. Bei der Betrachtung der zeitlichen Differenzen zeigt sich, dass vor allem die Häufigkeiten eher kürzerer und eher längerer Differenzen für Artikelgruppe 3 überproportional zugenommen hat. Einen Überblick über Mittelwerte und Standardabweichung gibt Tabelle 8.

Artikelgruppe	Betrachtungszeitraum	Anzahl Artikel	Mittelwert	Standardabweichung
1	2006 - 2012	394	103,85	88,40
2	2008 - 2012	394	104,68	91,60
3	2008 - 2012	268	104,78	93,26

**Tabelle 8: Zeitliche Differenzen zwischen Produktionszeiträumen**

Zu erkennen ist, dass Mittelwerte und Standardabweichung der zeitlichen Differenzen, verglichen mit den Ergebnissen des 2. Simulationsdurchlaufs (vgl. Tabelle 5) für die Artikelgruppen 1 und 2 etwas gesunken und für Artikelgruppe 3 gestiegen sind.

Die Produktionscharakteristika hinsichtlich Produktionsqualität und Arbeitseffizienz in Abhängigkeit von der betrachteten Hauptartikelgruppe sind in Abbildung 19 und Abbildung 20 dargestellt.



**Abbildung 19: Produktionsqualität**

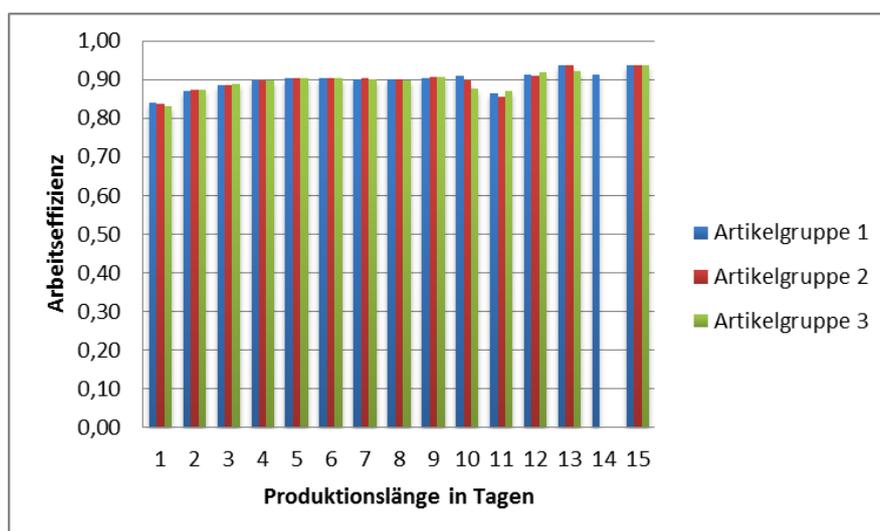


Abbildung 20: Arbeitseffizienz

Für die nicht zusammengefassten Artikel entsprechen die Strukturen den in den Abschnitten 4.3.2 und 4.3.3 beschriebenen Zusammenhängen. Die genauen Werte einschließlich der Standardabweichungen sind der Tabelle 12 im Anhang zu entnehmen. Immer noch erkennbar ist der auffällige Rückgang der Produktionsqualität und Arbeitseffizienz am elften Produktionstag.

### 5.5.2 Ergebnisanalyse

Eine Übersicht über das Ausmaß der Eingriffe in die Produktion durch den 3. Simulationslauf gibt Tabelle 9.

Artikelgruppe	Betrachtungszeitraum	Anzahl Artikel	Anzahl geänderter Artikel	Prozentsatz geänderter Artikel	Anzahl vermiedener Produktionsaufnahmen	davon 1-tägige	davon 2-tägige
1	2006 - 2012	394	350	89%	397	80	317
2	2008 - 2012	394	334	85%	208	48	161
3	2008 - 2012	268	222	83%	117	26	91

Tabelle 9: Produktionsveränderungen

Im Vergleich zu den Produktionsänderungen im 2. Simulationsdurchlauf zeigt sich hier, dass in den Hauptartikelgruppen 2 und 3 der prozentuale Anteil geänderter Artikel deutlich höher liegt. Ursache dafür ist, dass sich in den aus den einzelnen zugrundeliegenden Artikeln gebildeten Hauptartikelhistorien häufiger ein- oder zweitägige Produktionsaufnahmen finden.

Die sich im 3. Simulationslauf ergebenden Veränderungen der Produktionslängen und zeitlichen Differenzen zwischen Produktionsaufnahmen entsprechen in ihrer Struktur denen des 2. Simulationslaufs und können Abbildung 21 und Abbildung 22 entnommen werden.

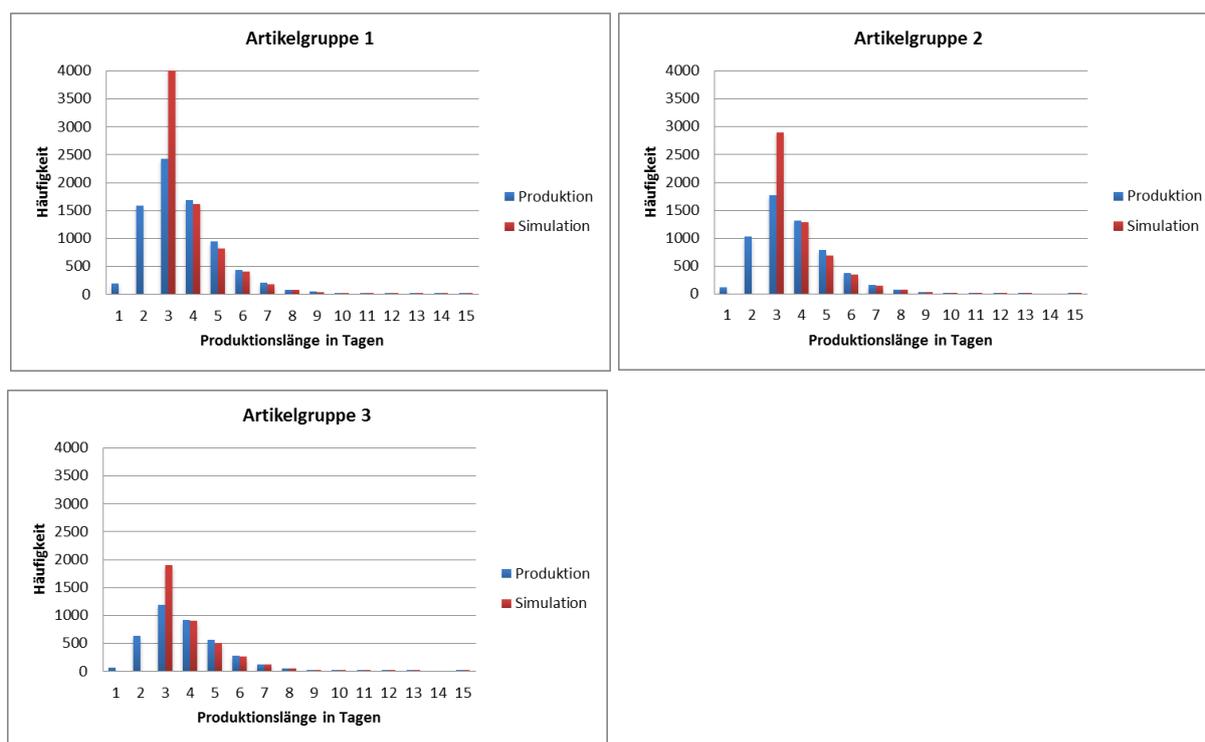


Abbildung 21: Produktionslängen

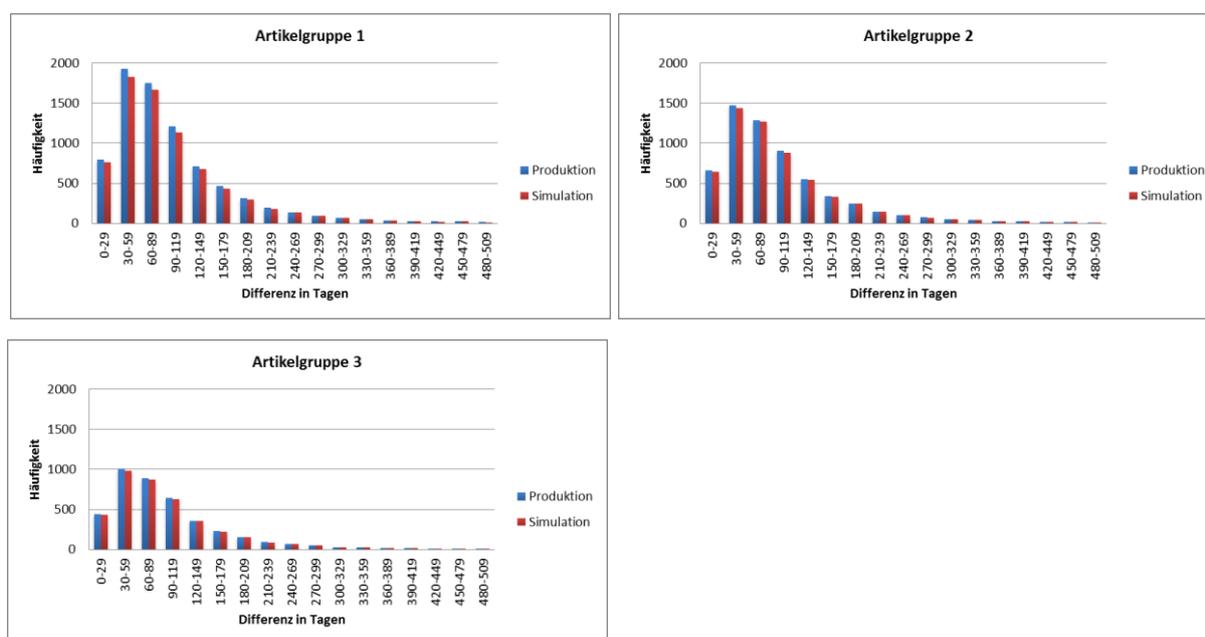


Abbildung 22: Zeitliche Differenzen

Auch durch den dritten Simulationsdurchlauf werden erhebliche zusätzliche Lagerbelastungen erzeugt. Während sich die im jährlichen Mittel und nur auf die geänderten Artikeln bezogenen Lagertage in den Artikelgruppen 1 und 2 im Verhältnis zum 2. Simulationsdurchlauf (vgl. Tabelle 6) leicht verringern, vergrößert sich dieser Wert in Artikelgruppe 3 erheblich. Einen umfassenden Überblick über die zusätzlichen Lagertage gibt Tabelle 10.

Artikel- gruppe	Gesamtzahl Lagertage	Lagertage pro Jahr	Mittelwert der Lagertage pro Artikel				Anzahl geänderter Artikel
			Alle Artikel		Geänderte Artikel		
			Gesamter Zeitraum	Pro Jahr	Gesamter Zeitraum	Pro Jahr	
1	370399	55201	940,09	140,10	1058,28	157,71	350
2	264848	56230	672,20	142,72	792,96	168,36	334
3	174419	37031	650,81	138,17	788,67	166,80	222

**Tabelle 10: Zusätzliche Lagertage**

Grundsätzlich zeigt sich, dass die bisherige Auswahl der für eine solche Produktionsänderung geeigneten Artikel im Hinblick auf die im Rahmen der Simulationsregeln entstehenden zusätzlichen Lagertage zu einer hohen Lagerbelastung führt. Diesem Umstand wird dadurch Rechnung getragen, dass in einem weiteren Schritt nicht alle bisher betrachteten Hauptartikel den Simulationsregeln unterworfen werden sollen, sondern nur eine Auswahl besonders geeigneter. Auswahlkriterien sind im Hinblick auf die grundsätzliche Zielsetzung der Simulation zum einen das Vorhandensein vieler kurzer Produktionsaufnahmen im Betrachtungszeitraum, zum anderen möglichst kurze zeitliche Differenzen zwischen den einzelnen Produktionsaufnahmen. Kurze Produktionsaufnahmen bieten deswegen so viel Verbesserungspotential, weil hier Produktionsqualität und Arbeitseffizienz erheblich niedriger als bei längeren Produktionsaufnahmen sind. Geringe zeitliche Differenzen sind in diesem Zusammenhang deswegen beachtenswert, da im Falle von Produktionsverschiebungen die Anzahl zusätzlicher Lagertage überschaubar bleibt.

Auf Grundlage dieser Überlegungen wird in einem ersten Schritt die Artikelgruppe 3 ausgewählt, weil sie den relevanten Zeitraum und die aktuellen Artikel umfasst. Die 262 Hauptartikel der Artikelgruppe 3 werden zum einen absteigend nach Häufigkeiten 1- oder 2-tägiger Produktionen, zum anderen aufsteigend nach der mittleren zeitlichen Differenz zwischen aufeinanderfolgenden Produktionsaufnahmen sortiert und mit jeweils steigenden Rängen versehen. Für jeden Artikel werden die jeweiligen Rangwerte ungewichtet addiert und auf dieser Basis ein Gesamtrang berechnet. Die anschließende aufsteigende Sortierung der betrachteten Hauptartikel nach dem erzielten Gesamtrang zeigt Tabelle 11.

Artikel-Nr.	Gesamrang	Anzahl kurzer Pro- duktionen	Mittlere zeitliche Differenz
001182-RIN	8	12	58,39
001310-G08	25	12	69,25
001501-CAP	33	7	65,60
001471-CAP	34	6	63,04
001499-CAP	40	5	55,89
001080-S62	42	11	75,77
001432-G05	48	5	65,76
001271-CAP	48	7	71,74
001290-G08	48	7	75,50
001596-CAP	51	6	68,29

Tabelle 11: Gesamtrang

Der Artikel mit dem niedrigsten Gesamtrang wird im Beobachtungszeitraum 12-mal für weniger als 3 Tage produziert. Die mittlere zeitliche Differenz zwischen zwei aufeinanderfolgenden Produktionsaufnahmen liegt für diese Artikel bei 58,39 Tagen. Bei einem Blick auf den Gesamtrang in Tabelle 11, der sich ja aus der Addition der Ränge für die Anzahl kurzer Produktionen und der Zeit zwischen Produktionen ergibt, zeigt sich, dass nur wenige Artikel bei beiden Auswahlkriterien gleichzeitig niedrige Rangplätze besitzen. Abbildung 23 zeigt für den zweiten Artikel der Gesamtrangliste den tatsächlichen Produktionsablauf und den simulierten Produktionsablauf im Vergleich.

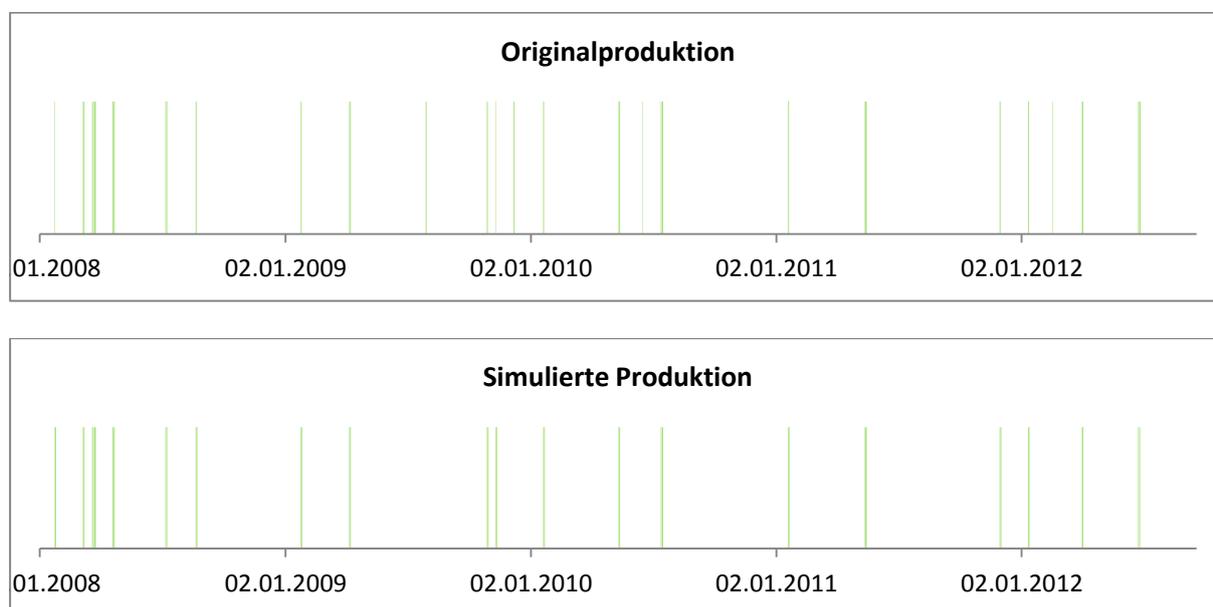


Abbildung 23: Produktionsplan

Deutlich zu erkennen ist, dass sich für diesen Artikel, der aufgrund seines Gesamtrangs als für die Simulation geeignet identifiziert wird, durch die Simulation erhebliche Änderungen im Produktionsablauf ergeben haben. Während im Jahr 2008 lediglich ein Ausgleich der Produktionslängen zwischen einzelnen Produktionsaufnahmen erkennbar ist, werden im weiteren Beobachtungszeitraum insgesamt vier Produktionsaufnahmen gänzlich vermieden. Zu erken-

nen ist aber auch, dass aufgrund der relativ großen zeitlichen Abstände zwischen den Produktionsaufnahmen durch die produktionsverlängernden Maßnahmen erhebliche Belastungen für das Lager entstehen. Grundsätzlich zeigt sich, dass selbst bei den geeigneten Artikeln im Einzelfall abgewogen werden muss, ob Produktionsregeln, wie sie im Rahmen der Simulation angewendet werden, zu einer Verbesserung des Gesamtprozesses führen.

## **6 Zusammenfassung und Ausblick**

Insgesamt lassen sich durch eine solche Simulationsstudie gute erste Abschätzungen über die Auswirkungen geänderter Losgrößenplanungen treffen, ohne dass tatsächlich in die Produktionsplanung eingegriffen werden muss und hier Kosten entstehen. Die im Rahmen der Qualitätssicherung der Simulationsstudie durchgeführten Analysen der verwendeten Daten und der Simulationsergebnisse führt darüber hinaus zu weiteren, wichtigen, die Produktion betreffenden Erkenntnissen. Interessant in diesem Zusammenhang waren der Einbruch von Produktionsqualität und Arbeitseffizienz am elften Produktionstag oder auch die Möglichkeit der Zusammenfassung gleichartiger Artikeln zu Hauptartikelgruppen.

Es zeigt sich aber auch, dass für eine Entscheidungsfindung zwischen Auftrags- und Lagerproduktion deutlich genauere Messungen hinsichtlich der entstehenden Kosten, der resultierenden Arbeitseffizienz und Produktionsqualität sowie der benötigten Lagerkapazität notwendig sind. In diesem Zusammenhang zeigt sich auch, dass nicht alle Artikel oder Artikelgruppen gleichermaßen für die angestrebten Veränderungen des Produktionsplans geeignet sind. Auch die hier erforderliche Selektion erfordert mehr und genauere Daten.

Ein sinnvoller Weg, diese entscheidungsrelevanten Daten zu erhalten, kann sein, für einige nach den beschriebenen Selektionskriterien ausgewählte Hauptartikel den Produktionsplan testweise tatsächlich gemäß der Simulationsregeln zu ändern und die resultierenden Folgen hinsichtlich Kosten, Arbeitseffizienz, Produktionsqualität und Lagerkapazität genau zu erfassen. Auf dieser verbreiterten Datenbasis kann der Grad der Unsicherheit bei der Entscheidungsfindung dann erheblich reduziert werden.

## Literatur

- Eley, Michael* (2012), Simulation in der Logistik: Eine Einführung in die Erstellung ereignisdiskreter Modelle unter Verwendung des Werkzeuges „Plant Simulation“, Berlin Heidelberg
- Glaswerk Ernstthal GmbH & Co. KG* (2014), Firmenprofil, <http://www.glaswerk-ernstthal.de/index.php?obj=about&lang=de&ta=conhtml#Firmenprofil> (10.10.2014)
- Herrmann, Frank* (2011), Operative Planung in IT-Systemen für die Produktionsplanung und –steuerung, Wiesbaden
- Kletti, Jürgen / Schumacher, Jochen* (2011), Die perfekte Produktion: Manufacturing Excellence durch Shotz Interval Technology (SIT), Berlin, Heidelberg
- Lödding, Hermann* (2008), Verfahren der Fertigungssteuerung: Grundlagen, Beschreibung, Konfiguration, Berlin, Heidelberg
- Schuh, Günther / Stich, Volker* (2012a), Einführung, in: Schuh, Günther / Stich, Volker (Hrsg.), Produktionsplanung und-steuerung 1: Grundlagen der PPS, Berlin, Heidelberg
- Schuh, Günther / Brosze, Tobias / Brandenburg, Ulrich* (2012b), Aachener PPS-Modell, in Schuh, Günther / Stich, Volker (Hrsg.), Produktionsplanung und-steuerung 1: Grundlagen der PPS, Berlin, Heidelberg

## Anhang

Produktions- tage	Mittelwert PTM (1)	StAbw PTM (1)	Mittelwert Arbeits- effizienz (1)	StAbw Arbeits- effizienz (1)	Anzahl (1)	Mittelwert PTM (2)	StAbw PTM (2)	Mittelwert Arbeits- effizienz (2)	StAbw Arbeits- effizienz (2)	Anzahl (2)	Mittelwert PTM (3)	StAbw PTM (3)	Mittelwert Arbeits- effizienz (3)	StAbw Arbeits- effizienz (3)	Anzahl (3)
1	0,70	0,15	0,84	0,10	184	0,69	0,15	0,84	0,10	115	0,67	0,15	0,83	0,10	64
2	0,75	0,10	0,87	0,07	1581	0,75	0,10	0,87	0,06	1027	0,76	0,10	0,87	0,06	637
3	0,78	0,08	0,89	0,05	2423	0,78	0,08	0,89	0,05	1771	0,78	0,08	0,89	0,05	1192
4	0,80	0,07	0,90	0,05	1689	0,80	0,07	0,90	0,05	1313	0,80	0,08	0,90	0,05	914
5	0,81	0,07	0,90	0,05	946	0,81	0,07	0,90	0,05	788	0,81	0,07	0,90	0,05	566
6	0,81	0,07	0,90	0,05	438	0,81	0,07	0,90	0,05	372	0,81	0,07	0,90	0,05	278
7	0,81	0,06	0,90	0,04	198	0,81	0,06	0,90	0,04	164	0,81	0,06	0,90	0,04	123
8	0,81	0,07	0,90	0,04	81	0,81	0,07	0,90	0,04	73	0,81	0,06	0,90	0,04	49
9	0,82	0,06	0,90	0,04	42	0,82	0,06	0,91	0,04	32	0,83	0,07	0,91	0,05	21
10	0,82	0,07	0,91	0,04	9	0,80	0,07	0,90	0,05	6	0,78	0,07	0,88	0,04	4
11	0,75	0,12	0,86	0,08	12	0,75	0,13	0,86	0,09	10	0,76	0,12	0,87	0,07	7
12	0,82	0,04	0,91	0,02	8	0,82	0,04	0,91	0,02	7	0,85	0,01	0,92	0,01	4
13	0,87	0,03	0,94	0,02	6	0,87	0,03	0,94	0,02	6	0,87	0,02	0,92	0,01	2
14	0,82	0,03	0,91	0,01	3										
15	0,87		0,94		1	0,87		0,94		1	0,87		0,94		1

Tabelle 12: Produktionsqualität und Arbeitseffizienz