

# Bachelorthesis

Vor- und Zuname

Mattis Hillmer

■■■■■ ■■■■ ■■■■  
■■■■■■■■■■ ■■■■■■■■■■ ■■■■■■■■■■ ■■■■■■■■■■

Titel:

„Ein Beitrag zur Entwicklung eines Produktionsplanungskonzepts in einem mittelständischen Unternehmen mit stark saisonalen Schwankungen – Vergleich und Anwendung geeigneter Prognoseverfahren“

Abgabedatum:

07.09.2015

Betreuender Professor: Herr Prof. Dr. Werner Röhrs

Zweiter Prüfender: Herr Prof. Dr. Thomas Bradtke

Fakultät Wirtschaft und Soziales

Department Wirtschaft

**Studiengang:**

Logistik/Technische Betriebswirtschaftslehre

## Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	II
Abkürzungsverzeichnis .....	IV
Tabellenverzeichnis.....	IV
Abbildungsverzeichnis.....	V
1 Einleitung.....	1
2 Produktionsplanung und Lagerhaltung.....	2
2.1 Produktion .....	2
2.1.1 Produktions- und Kostentheorie .....	3
2.1.2 Produktionsmanagement.....	3
2.1.2.1 Produktionsprogrammplanung und -steuerung .....	7
2.2 Lagerhaltung .....	10
2.2.1 Bestandsmanagement.....	11
2.2.1.1 Lagerhaltungspolitiken.....	12
2.2.1.2 Optimale Bestellmenge .....	14
3 Mittel zur Problemlösung bei schwankender Nachfrage.....	17
3.1 Typen von Zeitreihenverläufen .....	17
3.1.1 Saisonalität.....	21
3.2 Prognoseverfahren.....	22
3.2.1 Grafische Darstellung der Zeitreihe .....	23
3.2.2 Formulierung eines Modells .....	24
3.2.3 Schätzung des Modells .....	29
3.2.3.1 Gleitender Mittelwert.....	29
3.2.3.2 Exponentielle Glättung erster Ordnung .....	30
3.2.3.3 Exponentielles Glätten zweiter Ordnung nach Holt .....	31
3.2.3.4 Holt-Winters-Verfahren.....	32

3.2.4	Erstellung der Prognose .....	34
3.2.5	Beurteilung der Prognosegüte .....	38
3.2.5.1	Prognosefehler .....	38
3.2.5.2	Interpretation der Prognosefehler .....	41
3.3	Anpassungen der operativen Produktionsprogrammplanung .....	42
3.3.1	Aggregierte Gesamtplanung .....	42
3.3.2	Kapazitierte Hauptproduktionsprogrammplanung .....	45
3.4	Schlussfolgerung .....	47
4	Anwendung passender Prognoseverfahren .....	47
4.1	Kunde 1 .....	48
4.1.1	Deutung der Ergebnisse .....	50
4.2	Kunde 2 .....	51
4.2.1	Deutung der Ergebnisse .....	52
5	Fazit .....	53
	Anhang .....	i
	Literaturverzeichnis .....	VI
	Erklärungen .....	XI

## Abkürzungsverzeichnis

APE	Absolute Percentage Error
AR	autoregressive
ARIMA	Autoregressive-integrated-moving average
ARMA	Autoregressive-moving average
EOQ	Economic Order Quantity
MA	Moving average
MAD	Mean-Absolute-Deviation
MAE	Mean-Absolute-Error
MAPE	Mean-Absolute-Percentage-Error
MdAPE	Median Absolute Percentage Error
MPE	Mean-Percentage-Error
MSE	Mean-Squared-Error
RMSE	Root Mean Squared Error
PPS	Produktionsprogrammplanung und -steuerung

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 – Startwerte der Saisonfaktoren, Vorgehensweise 1 .....	iv
Tabelle 2 – Vorhersage Vorgehensweise 1 .....	viii
Tabelle 3 – Vorhersage Vorgehensweise 2.....	xi
Tabelle 4 – Vorhersage Vorgehensweise 2 ( <b>U2</b> -Minimierung) .....	xiv
Tabelle 5 – Vergangenheitswerte Kunde 2 .....	xvi
Tabelle 6 – Vorhersage Kunde 2.....	xviii
Tabelle 7 – Vergangenheitswerte Kunde 1 .....	xix
Tabelle 8 – Prognose und Prognosefehler Vorgehensweise 1 .....	xx
Tabelle 9 - Prognose und -fehler Vorgehensweise 1 - optimiert.....	xxii
Tabelle 10 – Prognose und -fehler Vorgehensweise 2.....	xxiv
Tabelle 11 – Prognose und -fehler Vorgehensweise 2 - optimiert .....	xxvi

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 – Darstellung der unterschiedlichen Materialbedarfsarten .....	9
Abb. 2 – Konzept des Sicherheitsbestandes .....	16
Abb. 3 – Typen von Zeitreihenverläufen.....	19
Abb. 4 – Reihenfolge der Zeitreihenanalyse .....	23
Abb. 5 – Beispiel für einen Polygonzug.....	24
Abb. 6 – Beispiel für einen konstanten Prozess .....	26
Abb. 7 – Trendverlauf .....	27
Abb. 8 – Beispiel Modell höherer Ordnung.....	28
Abb. 9 – Anpassung der Produktion durch Synchronisation .....	43
Abb. 9 – Anpassung der Produktion durch Emanzipation .....	44
Abb. 10 – Zusammenhang zwischen Kapitel 3.1.1 und 3.1.2 .....	46
Abb. 11 – Visualisierung Zeitreihe Kunde 1 ab 2009.....	49
Abb. 12 – Beobachtungswerte Kunde 2 .....	51
Abb. 13 – Zeitreihenvisualisierung Kunde 1 .....	ii
Abb. 14 – Vergleich Beobachtung & Prognose Vorgehensweise 1 .....	v
Abb. 15 – Vergleich Beobachtung und Prognose nach Optimierung.....	vii
Abb. 16 – Prognose und Vorhersage Vorgehensweise 1 .....	ix
Abb.17 – Vergleich Beobachtung und Prognose Vorgehensweise 2 .....	xi
Abb. 18 – Optimierte Prognose und Vorhersage Vorgehensweise 2 .....	xii
Abb. 19 – Monatliche Beobachtungen pro Jahr – Kunde 2 .....	xvii
Abb. 20 – Gemittelte Periodenanteile am Jahresmittel – Kunde 2 .....	xvii

## Zusammenfassung

In dieser Bachelorthesis wird das Thema der Anwendung eines geeigneten Prognoseverfahrens zur Analyse und Vorhersage, einer saisonalen Schwankungen unterliegenden, Nachfrage sowie die damit verbundenen Problematiken für Produktionsplanung und Lagerhaltung erläutert. Im Zuge dessen wird eine Differenzierung der Bereiche der Produktionsprogrammplanung vorgenommen. Dabei wird insbesondere auf die Methoden der Beschäftigungsglättung und kapazitierten Hauptproduktionsprogrammplanung innerhalb der operativen Produktionsplanung eingegangen. Weiterhin wird dargestellt, inwiefern eine Anpassung der Produktionsmengen an die Nachfragemengen erfolgen kann sowie welche Vor- und Nachteile damit einhergehen. Ebenso spielt für die Lagerhaltung der Sicherheitsbestand eine übergeordnete Rolle. Die Anwendung des Prognoseverfahrens nach Holt-Winters erfolgt in diesem Rahmen auf Basis tatsächlicher Vergangenheitsdaten eines mittelständischen Unternehmens. Anhand der dadurch ermittelten, geeigneten Vorhersage saisonal verlaufender Umsatzzahlen, wird dem Unternehmen geraten, eine über die Perioden gleichbleibende Produktionsmenge einzuführen.

Zum Verständnis der Zeitreihenanalyse und der Anwendung von Prognoseverfahren werden hier statistische Kenntnisse vorausgesetzt, die nach Absolvierung des Grundstudiums vorhanden sein sollten. Diese Arbeit richtet sich damit in erster Linie an Studierende die, bspw. im Praxissemester, Prognosen saisonal beeinflusster Daten erstellen und die Einflüsse ihrer Ergebnisse auf die Produktion und Lagerhaltung verstehen wollen.

## 1 Einleitung

Alle produzierenden Unternehmen unterliegen den Gegebenheiten und Einflüssen der Marktwirtschaft, in der sie agieren. Zu den individuellen Einflüssen des Marktes auf die Unternehmen gehören, neben sich stetig verändernden Marktbedingungen, insbesondere Schwankungen in der Nachfrage. Dabei spielen die saisonal auftretenden Nachfrageschwankungen eine besonders gravierende Rolle für die Unternehmen, da diese elementare Kernbereiche des Betriebes wie Produktionsplanung, Materialbedarfsplanung und Lagerhaltung vor Probleme stellen können. So kann die saisonal vorhandene erhöhte Nachfrage in vielen Fällen nicht gedeckt werden, sodass den Unternehmen potentieller Umsatz verloren geht. Um diese Nachfrageschwankungen auffangen zu können, bedarf es der Anpassung von Produktions- und Materialbedarfsplanung, was mit Hilfe von Vorhersagen der zukünftigen Nachfrage geschieht.

Zur Darstellung der den Unternehmen zur Verfügung stehenden Instrumente, werden in dieser Arbeit zunächst die Unternehmensbereiche Produktion und Lagerhaltung sowie die Beziehung zwischen diesen beiden Bereichen im Kapitel 2 näher beleuchtet. Dies soll einen kurzen Einblick in die Bereiche der Produktionsplanung geben, um Grundlagen für die Anpassungsmöglichkeiten im Rahmen der operativen Produktionsprogrammplanung zu schaffen. Im Zuge dessen wird die Verknüpfung dieses Teilbereichs zur Lagerhaltung hergestellt und dabei insbesondere auf die Bedeutung des Sicherheitsbestandes zur Bewältigung der Problematik saisonaler Schwankungen eingegangen.

Anschließend beschäftigt sich Kapitel 3 initial mit den verschiedenen Arten von Nachfrageschwankungen, insbesondere der Saisonalität und ihrem Einfluss auf die zuvor beschriebenen Unternehmensbereiche sowie Typen von Zeitreihenverläufen. Dieses bildet die Grundlage für die anschließende Darstellung der Vorgehensweise zur Analyse einer Zeitreihe. Im Anschluss daran werden die Möglichkeiten für Unternehmen genannt, auf Nachfrageschwankungen individuell reagieren zu können. Dazu werden zunächst Prognoseverfahren im Allgemeinen dargestellt, ehe im Besonderen auf das Verfahren nach Holt-Winters eingegangen wird, welches die Saisonalität berücksichtigt. Dadurch werden die Grundlagen zum Verständnis der späteren Anwendung dieses Verfahrens zur Analyse und Prognose der Vergangenheitsdaten zweier Kundengruppen eines mittelständischen Unternehmens geschaffen. Nachfolgend werden

Möglichkeiten dargestellt, wie aus den Ergebnissen dieser Prognosen Optimierungen in der operativen Produktionsplanung abgeleitet werden können.

Das Kapitel 4 steht schließlich im Zeichen der Anwendung der Prognoseverfahren auf die Vergangenheitsdaten des mittelständischen Unternehmens. Dazu werden zunächst das Unternehmen, die Kunden sowie die Besonderheiten der jeweiligen Daten und Zeitreihen dargestellt und analysiert, um schließlich ein für diese vorliegenden Daten qualifiziertes Prognoseverfahren anzuwenden. Die Prognoseergebnisse werden analysiert und stellen die Grundlage zur Erstellung einer Vorhersage dar. Die Ergebnisse der Vorhersage werden analysiert und dienen zur Erstellung eines Vorschlags zur Anpassung des Produktionsprogramms des Unternehmens.

Abschließend beendet das Fazit diese Arbeit.

## 2 Produktionsplanung und Lagerhaltung

### 2.1 Produktion

Als Produktion wird die durch Menschen gezielt bewirkte, qualitative, quantitative, räumliche oder zeitliche Veränderung von Objekten bezeichnet.<sup>1</sup>

Dabei ist die Produktion im engeren Sinne auch stets von einer qualitativen Veränderung der Inputgröße hin zu einer auf dem Absatzmarkt nachgefragten Outputobjektart geprägt, was zugleich eine Nutzenerhöhung durch Leistungserbringung bedeutet.<sup>2</sup> Die Produktion nimmt damit innerhalb des Unternehmens eine Grundfunktion ein.<sup>3</sup> Die Organisation der Produktion erfolgt innerhalb des Produktionssystems, was unterschiedliche oder gleichartige der oben genannten Transformationsprozesse, die an unterschiedlichen Produktionsstandort durchgeführt werden können, umfasst.<sup>4</sup>

Der allgemeine Themenbereich Produktion wird in der Literatur in zwei Teilbereiche untergliedert – die Produktions- und Kostentheorie sowie die Produktionsprogrammplanung und -steuerung (PPS).

---

<sup>1</sup> Vgl. Dyckhoff; Spengler, 2010, S.3.

<sup>2</sup> Vgl. ebenda S.3f.

<sup>3</sup> Vgl. Bloech et al., 2014, S. 3.

<sup>4</sup> Vgl. Schuh; Schmidt, 2014, S.3.



### 2.1.1 Produktions- und Kostentheorie

Mit dem Ziel funktionale Zusammenhänge aufzuzeigen, werden in der Produktions- und Kostentheorie das Mengengerüst und der Werteverzehr der im Kombinationsprozess eingesetzten Produktionsmittel erforscht.<sup>5</sup> Das Mengengerüst beschreibt in der Kostenrechnung die zur Leistungserstellung nötigen Einsatzmengen der klassischen Produktionsfaktoren und setzt sich aus den Komponenten Material, Dienstleistungen, Arbeitskräfte und Betriebsmittel zusammen.<sup>6</sup> „In der Produktionstheorie werden die mengenmäßigen Beziehungen zwischen dem Einsatz von Faktoren und der Ausbringung von Produkten erklärt und mit Hilfe auf den Faktorverbrauch identifiziert.“<sup>7</sup>

Mittels Produktionsfunktionen wird zudem das Verhältnis zwischen Input und Output dargestellt. Zusätzlich erfolgt im Rahmen der Produktionstheorie eine Untersuchung der Effizienz ausgewählter Produktionsverfahren.<sup>8</sup> Im Zuge der Kostentheorie werden zum einen Kostenfunktionen aufgestellt, welche die Höhe der Kosten ins Verhältnis zur Ausbringungsmenge setzen, zum anderen lässt sich durch die Minimalkostenkombination ermitteln, wie bestimmte Produktionsmengen durch welche Produktionsverfahren zu minimalen Kosten hergestellt werden können.<sup>9</sup> Die Produktions- und Kostentheorie stellen folglich das theoretische Grundgerüst, welches zur Analyse der Produktionsvorgänge und Kostenveränderung benötigt wird.

### 2.1.2 Produktionsmanagement

Die Definition der Produktionsvorgänge, die mit Hilfe der Produktions- und Kostentheorie analysiert werden, findet durch das Produktionsmanagement statt.<sup>10</sup> Dabei sind die Produktionsprogrammplanung und -steuerung (PPS) die Hauptaspekte des Produktionsmanagements, was DYCKHOFF UND SPENGLER wie folgt definieren: „Die Konkretisierung der von der Unternehmensleitung formulierten Unternehmensziele im Bereich der betrieblichen Leistungserbringung obliegt dem Produktionsmanagement, dessen zentrale Aufgabe die zielorientierte Planung und Steuerung der Produktion ist.“<sup>11</sup>

---

<sup>5</sup> Vgl. Burchert, 2010, S.4.

<sup>6</sup> Vgl. Kistner; Steven, 1997, S.53.

<sup>7</sup> Bloech et al., 2014, S.5.

<sup>8</sup> Vgl. zu diesem Abschnitt Bloech et al., 2014, S. 5.

<sup>9</sup> Vgl. ebenda S.5.

<sup>10</sup> Vgl. Kiener et al., 2012, S.8.

<sup>11</sup> Dyckhoff; Spengler, 2010, S.29.

Das Produktionsmanagement ist die Lenkungsinstanz innerhalb eines Produktionssystems, in welchem sie mit Hilfe von Planung und Steuerung die Ausführungsinstanz, d.h. den in Kapitel 2.1 erwähnten transformativen Wertschöpfungsprozess, kontrolliert.<sup>12</sup>

Das Produktionsmanagement lässt sich aufgrund der Eigenschaften und Reichweiten der Entscheidungen, die im Zuge der Produktionsplanung zu treffen sind, in drei Aufgabengruppen untergliedern.<sup>13</sup>

So unterscheiden bspw. BLOECH ET AL. zwischen strategischer, taktischer und operativer Produktionsprogrammplanung.<sup>14</sup> In der Literatur werden die Begriffe Produktionsmanagement und Produktionsprogrammplanung teilweise synonym verwendet, die zu den jeweiligen Begrifflichkeiten definierten Ziele stimmen allerdings überein<sup>15</sup>. Dies ist schon aufgrund der Begriffe der Strategie, Taktik und Operation, die die Planungs- und Entscheidungszeiträume durch ihre jeweilige Bedeutung begrenzen, gegeben. Jedoch definieren BLOECH ET AL. logischerweise Ziele, welche die konkrete Produktionsprogrammplanung betreffen.<sup>16</sup> Im Produktionsmanagement hingegen werden allgemeinere, die gesamte Produktion betreffende, Ziele und Entscheidungen erörtert.<sup>17</sup>

Im Rahmen dieser Arbeit wird jedoch eine Unterscheidung innerhalb des Produktionsmanagements vorgenommen, da im Zuge des operativen Produktionsmanagements näher auf die konkrete Produktionsprogrammplanung eingegangen wird und sich eine synonyme Verwendung beider Begriffe folglich nicht als sinnvoll erweist.

### **Strategisches Produktionsmanagement**

Das strategische Produktionsmanagement befasst sich, zum Zwecke der Erfassung von Veränderungen und Entwicklungen, initial mit der Observierung der Umwelt des Unternehmens, bzw. konkreter mit das Produktionssystem beeinflussenden Bedingungen. Dabei werden zum einen bekannte Teile des Umfelds, wie bspw. Lieferanten oder Kunden, beobachtet. Zum anderen wird versucht, unbekanntere Umweltentwicklungen

---

<sup>12</sup> Vgl. Schuh, Schmidt 2014 S. 4.

<sup>13</sup> Vgl. Dyckhoff; Spengler, 2010, S.29.

<sup>14</sup> Vgl. Bloech et al., 2014, S 107ff.

<sup>15</sup> Vgl. Dyckhoff; Spengler, 2010, S.30.

<sup>16</sup> Vgl. Bloech et al., 2014, S 107ff.

<sup>17</sup> Vgl. Dyckhoff; Spengler, 2010, S.29f.

und -einflüsse, wie etwa Eintrittschancen in noch nicht erschlossene Märkte und Marktsegmente oder innovative Produktionstechnologien, zu antizipieren.<sup>18</sup> Nach der Auswertung dieser Informationen erfolgt die Entscheidung über den Tätigkeitsbereich des Unternehmens, d.h. die spezifische Festlegung der Branche und der Produktfelder, in denen das Unternehmen in Zukunft am Markt agieren wird.<sup>19</sup> Ein Produktfeld lässt sich definieren als die Gesamtheit aller Erzeugnisse, die sich von einem Grundprodukt ableiten lassen.<sup>20</sup> Entsprechend ist das Ziel des strategischen Produktionsmanagements basierend auf diesen Entscheidungen eine längerfristige, auf sich verändernde Bedingungen reaktionsfähige, d.h. flexible, Strategie für das Produktionssystem zu entwickeln. Diese wird durch den Erhalt einer leistungsfähigen Produktion sichergestellt, sodass die Unternehmung ihre eigene Wettbewerbsfähigkeit stets gewährleisten kann. Um all diese Faktoren sicherstellen zu können, bedarf es somit dem Austausch mit der Abteilung Forschung und Entwicklung. Weiterhin werden darüber hinaus, im Zuge einer globalen Produktionsstrategie, neue Produktionsstandorte geplant.<sup>21</sup> Unter Einbeziehung der Unternehmens- und Marketingstrategie, kann so eine nuancierte Produktionsstrategie gestaltet werden, mit deren Hilfe existente Erfolgspotenziale aufrechterhalten und zusätzliche Potenziale hinzugewonnen werden können.<sup>22</sup>

Der Planungszeitraum für diese längerfristigen strategischen Entscheidungen beträgt in der Regel zwischen fünf und zehn Jahren.<sup>23</sup>

### **Taktisches Produktionsmanagement**

Nachdem die grundlegenden Strategien für die Produktion festgelegt wurden, werden diese Inhalte auf Basis dieser Planungen im Rahmen des taktischen Produktionsmanagements konkretisiert. Dabei beziehen sich die Hauptaufgaben des taktischen Produktionsmanagements vor allem darauf, die Produktionssysteme individuell anzupassen bzw. diese neu zu strukturieren.<sup>24</sup> Dazu zählt unter anderem auch die Festlegung der Produktionsbreite und -tiefe. Produktionsbreite bezeichnet die Anzahl des Angebots an Basisprodukten, Produktionstiefe die Anzahl der angebotenen Versionen dieser Basisprodukte. Des Weiteren werden Termine für die Einführung, Modifikation und

---

<sup>18</sup> Vgl. zu diesem Abschnitt Schuh; Schmidt, 2014, S. 12.

<sup>19</sup> Vgl. „Produktionsmanagement“, 2015.

<sup>20</sup> Vgl. Adam, 1990, S.340.

<sup>21</sup> Vgl. zu diesem Abschnitt Dyckhoff; Spengler, 2010, S.30.

<sup>22</sup> Vgl. Schuh; Schmidt, 2014, S. 6.

<sup>23</sup> Vgl. „Produktionsmanagement“, 2013.

<sup>24</sup> Vgl. zu diesem Abschnitt Zäpfle, 2000, S.7.

den Ausschluss von Produkten beschlossen. Anhand dieser Grundlage wird eine ungefähre Mengenplanung vorgenommen, ein Beschluss bezüglich Eigen- oder Fremdfertigung getroffen und darauf aufbauend die Kapazitäten der Fertigungseinrichtungen bestimmt.<sup>25</sup> Die taktische Planung wird daher auch als mittelfristige Kapazitätsplanung bezeichnet. Diese beschäftigt sich über einen Planungszeitraum von zwei bis fünf Jahren mit den Fragen der Investitionsplanung, innerbetrieblichen Standort- und somit auch der Layout- sowie der Finanzplanung.<sup>26</sup>

### **Operatives Produktionsmanagement**

Auf Basis der Vorgaben aus der strategischen und taktischen Planung, erfolgt im nächsten Schritt die Durchführung der Planungen innerhalb des operativen Produktionsmanagements.<sup>27</sup> Diese Vorgaben schaffen zugleich den Rahmen, in dem das operative Produktionsmanagement eine Umsetzung zur Lösung der strategischen und taktischen Ziele gestalten, bzw. diese in messbare produktionsbezogene Zielgrößen transformieren kann. Innerhalb dieses definierten Rahmens ist dabei die Erfüllung der marktseitigen Ziele des Unternehmens von primärer Bedeutung. Dabei spielen neben dem Preis und der Qualität auch immer mehr die Kaufkriterien Lieferzeit, Liefertreue und Lieferfähigkeit eine signifikante Rolle. Bei der Erfüllung dieser Ziele müssen jedoch logischerweise die Betriebsziele berücksichtigt werden. Zu diesen Betriebszielen gehören die Ressourceneffizienz und die Vermeidung hoher Kapitalbindungskosten, durch geringe Bestände. Das bedeutet, dass ein Zielkonflikt zwischen den marktseitigen- und den Betriebszielen entstehen kann. Für das jeweilige Produktionssystem wird unter Beachtung der Zielgrößendimensionen Auslastung, Termintreue, Prozesskosten und Durchlaufzeit eine Positionierung vorgenommen und so zwischen den jeweiligen Zielen priorisiert.<sup>28</sup> Unter der Zielsetzung, diese zuvor definierten Führungsgrößen und Priorisierungen bei einer definierten Gestaltung der Produktionsprozesse, zu erreichen, nimmt das operative Produktionsmanagement die Planung und Steuerung des gesamten Produktionssystems vor.<sup>29</sup>

---

<sup>25</sup> Vgl. zu diesem Abschnitt „Produktionsmanagement“, 2015.

<sup>26</sup> Vgl. Wöhe; Döring, 2010, S.287 f.

<sup>27</sup> Vgl. Wöhe; Döring, 2010, S.288.

<sup>28</sup> Vgl. zu diesem Abschnitt Schuh; Schmidt,2014, S.20f.

<sup>29</sup> Vgl. ebenda, S.2.

### 2.1.2.1 Produktionsprogrammplanung und -steuerung

Die Planung und Steuerung erfolgt durch die Produktionsplanung und -steuerung, deren „Aufgabe [...] als Teilbereich des operativen Produktionsmanagements [darin besteht], für einen reibungslosen und wirtschaftlichen Produktionsprozess bei gegebenen und (weitgehend) unveränderbaren Kapazitäten zu sorgen.“<sup>30</sup> Dabei ist die PPS definitiv als der wichtigste Teilbereich des operativen Produktionsmanagements anzusehen.

Die Produktionsprogrammplanung beschäftigt sich mit der Gestaltung des Inhalts und der Einzelprozesse der Fertigung und der Montage, wohingegen die Produktionsprogrammsteuerung die Regelung des Tätigkeitsablaufs in der Fertigung im Rahmen der Auftragsabwicklung vornimmt. Unter der stetigen Beachtung der vorgegebenen Zielgrößen der Produktionsplanung und der Logistik beinhaltet dies die Determinierung der Reihenfolge nach welcher ein Produktionsfaktor die einzelnen Teilprozesse durchlaufen soll.<sup>31</sup>

Im Folgenden soll jedoch insbesondere auf die für diese Arbeit relevanten Aspekte der Produktionsprogrammplanung eingegangen werden. In der Literatur existieren verschiedene Möglichkeiten zur Untergliederung der PPS. Das Vorgehen in dieser Arbeit orientiert sich dabei im Allgemeinen an BLOECH ET AL., wird aber Elemente aus anderen Quellen mit diesem Ansatz verknüpfen.

BLOECH ET AL. unterteilen die PPS in die drei Teilbereiche Produktionsprogrammplanung, Bereitstellungsplanung und Durchführungsplanung,<sup>32</sup> von denen in dieser Arbeit nur auf die beiden erstgenannten Bereiche ausführlicher eingegangen werden soll.

#### **Produktionsprogrammplanung**

Als Produktionsprogramm wird die Summe aller Produktionsaufträge bezeichnet, d.h. vor allem Auftragseingänge auf der Basis konkreter Bestellungen und Vorratsaufträgen, die auf der Markteinschätzung des Betriebes basieren, auf Grundlage derer sowohl die Fertigungsaufträge an die Produktion, als auch die Beschaffungsaufträge an den Einkauf weitergegeben werden. Bei der Planung des Produktionsprogramms muss folglich auf die unterschiedliche Herkunft der Bedarfszahlen geachtet werden,

---

<sup>30</sup> „Produktionsplanung und -steuerung“, 2015.

<sup>31</sup> Vgl. Schuh; Brandenburg; Cuber, 2012, S.29.

<sup>32</sup> Vgl. Bloech et. al., 2014, S. 95.

da diese sowohl auf konkreten, als auch auf prognostizierten Werten beruhen. Die Prognose der zukünftigen Bedarfe erfolgt dabei im Rahmen der Absatzplanung. Diese erkennt und berücksichtigt auf der einen Seite Entwicklungen und Trends durch Beobachtung des Absatzmarkts.

Auf der anderen Seite wird, auf Basis von Vergangenheitswerten der Nachfrage, eine Extrapolation in die Zukunft mit Hilfe verschiedener Prognoseverfahren vorgenommen. Dadurch wird versucht den möglichen zukünftigen Bedarf so gut wie möglich vorherzusagen zu können um diese Daten im Produktionsprogramm zu integrieren.<sup>33</sup>

Die Prognoseverfahren, die in der Absatzplanung angewendet werden, werden im weiteren Verlauf als Kern dieser Bachelorarbeit im Kapitel 3.2 ausführlich behandelt und dienen zur Festlegung des Zeitpunkts, an welchem eine bestimmte Menge eines definierten Produktes lieferbar sein muss.<sup>34</sup>

Im Anschluss an die Absatzplanung wird mit Hilfe der Primärbedarfs- und Ressourcenplanung sichergestellt, dass die in der Absatzplanung vorgenommene Planung mit den Restriktionen der Produktion vereinbar ist.<sup>35</sup> [Zur weiteren Lektüre der Themen Primärbedarfs- und Ressourcenplanung wird Schuh; Brandenburg; Cuber, 2012, S.42f. sowie Schuh; Schmidt; Bauhoff, 2014, S.67ff. empfohlen.]

### **Bereitstellungsplanung**

Dass, wie im vorherigen Abschnitt erwähnt, die Lieferbarkeit der Produkte sichergestellt wird, obliegt der Bereitstellungsplanung, deren Aufgabe es folglich ist, „die in der Produktion benötigten Betriebsmittel, Materialien und Arbeitskräfte sowie Immaterialgüterrechte (Patente, Lizenzen und Dienstleistungen) zur rechten Zeit am richtigen Ort in den benötigten Mengen und Qualitäten zur Verfügung zu stellen.“<sup>36</sup> Aufgrund dieser Definition können die Begriffe Bereitstellungsplanung und Produktionsbedarfsplanung synonym verwendet werden, da sich eben diese Definition auch hier findet.<sup>37</sup> Von besonderer Relevanz für diese Arbeit ist dabei die Materialbedarfsplanung, bei der vor allem eine Unterscheidung der verschiedenen Materialbedarfsarten in Brutto- und Nettomaterialbedarf sowie Primär-, Sekundär- und Tertiärbedarf vorgenommen wird.<sup>38</sup>

---

<sup>33</sup> Vgl. zu diesem Abschnitt Schmidt, 2008, S. 323ff.

<sup>34</sup> Vgl. Schuh; Brandenburg; Cuber, 2012, S.41.

<sup>35</sup> Vgl. ebenda, S.42.

<sup>36</sup> „Bereitstellungsplanung“, 2015.

<sup>37</sup> Vgl. Schuh; Schmidt; Hering, 2014, S.152.

<sup>38</sup> Vgl. Schulte, 2009, S.379f.

Diese Unterscheidung ist in der folgenden Abbildung 1 dargestellt.

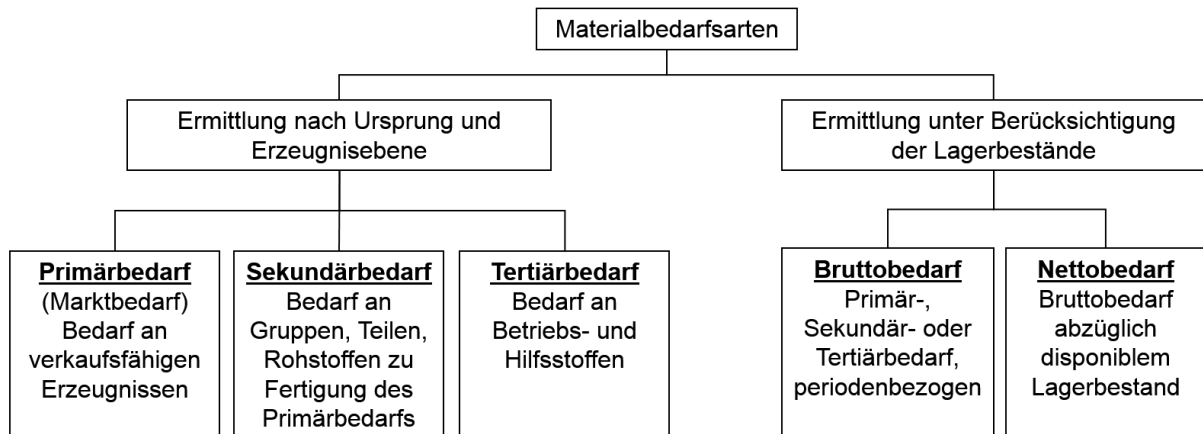


Abb. 1 – Darstellung der unterschiedlichen Materialbedarfsarten<sup>39</sup>

Aus dem zuvor festgelegten Produktionsprogramm lassen sich dann im Rahmen der Materialbedarfsplanung anhand der Primärbedarfe (vgl. Primärbedarfsplanung) die Brutto- und Nettosekundärbedarfe ermitteln. Während sich die Bruttosekundärbedarfe an Rohstoffen, Teilen und Gruppen aus der Primärbedarfsplanung ableiten lassen, z.B. mit Hilfe von Stücklisten, ergibt sich der Nettosekundärbedarf aus einer Gegenüberstellung der ermittelten Bruttosekundärbedarfen und den aktuellen Lagerbeständen. Unter den Verfahren zur Bruttosekundärbedarfsermittlung finden sich unter anderem auch Prognoseverfahren.<sup>40</sup>

Diese werden, ebenso wie die Unterscheidung zwischen den einzelnen Verfahren, im Zuge der ausführlichen Darstellung der Prognoseverfahren, im Kern dieser Arbeit in Kapitel 3.2 genauer beschrieben werden.

Im Anschluss an die Sekundärbedarfsermittlung wird im Zuge der Beschaffungsartzuordnung entschieden, ob der Nettosekundärbedarf durch Eigenfertigung oder Fremdbezug gedeckt werden soll. Zudem werden in der Folge als Teil der Produktionsbedarfsplanung die Durchlaufterminierung und Kapazitätsplanung sowie die Bestandsplanung vorgenommen.<sup>41</sup> „Die Bestandsplanung verfolgt das Ziel, die richtigen Bestände zum richtigen Zeitpunkt in der entsprechenden Menge für die Produktion bzw. den Versand bereitstellen zu können.“<sup>42</sup> Dabei legt die Bestandsplanung notwendige

<sup>39</sup> In Anlehnung an Schulte, 2009, S.380.

<sup>40</sup> Vgl. zu diesem Abschnitt Schuh; Brandenburg; Cuber, 2012, S.44f.

<sup>41</sup> Vgl. zu diesem Abschnitt Schuh; Schmidt, 2014, S.152.

<sup>42</sup> ebenda, S.158.



Parameter fest, die diese Bereitstellung bei optimalen Kapitalbindungskosten gewährleisten. Solche Parameter sind bspw. der Höchstbestand, Sicherheitsbestände und der Lieferservicegrad, mit denen sich im folgenden Kapitel 2.2, im Rahmen der Lagerhaltung, intensiver auseinander gesetzt wird. [Zur weiteren Lektüre zur Durchlaufterminierung und Kapazitätsplanung wird Schuh, Schmidt; Hering, 2014, S.156f. empfohlen.]

### **Durchführungsplanung**

Als letzter Schritt innerhalb der Produktionsprogrammplanung und -steuerung erfolgt im Anschluss an die Bereitstellungsplanung die Durchführungsplanung. Sie beinhaltet in erster Linie die Planung und Festlegung der Fertigungslosgrößen, welche bestimmen, wie viele Einheiten einer jeweiligen Produktart als ein ununterbrochener Fertigungsauftrag auf den Produktionsmaschinen herzustellen sind.<sup>43</sup> Zudem ist zu beachten, dass die Termine und Inanspruchnahme der Maschinenkapazitäten für diese Fertigungsaufträge bestimmt werden. Des Weiteren werden eine Auftrags- bzw. Ausführungsreihenfolge im Zuge der Ablaufplanung sowie eine Durchlaufterminierung, welche die Möglichkeit zur Durchlaufreduzierung berücksichtigt, vorgenommen.<sup>44</sup> Diese Aufgaben lassen sich auch als Elemente der Produktionssteuerung definieren und sind in BLOECH ET AL. ausführlich beschrieben.<sup>45</sup>

## **2.2 Lagerhaltung**

Wie in den voran gegangenen Kapiteln beschrieben, beinhaltet die Produktionsprogrammplanung insbesondere die Prämissen, dass alle für den Produktionsprozess notwendigen Produktionsfaktoren zur richtigen Zeit und in der richtigen Menge und Qualität am Verbrauchsort innerhalb des Produktionssystems zur Verfügung stehen müssen. Eine einsatzsynchrone (Just-in-time/ Just-in-sequence) Lieferung dieser Materialien kann nicht immer gewährleistet werden und wird auch in einigen Fällen wirtschaftlich nicht sinnvoll sein.<sup>46</sup> Die Funktion eines Puffers, um diese voneinander differierenden Materialströme (Materialzufluss und -bedarf) mengenmäßig und zeitlich auszugleichen bzw. zu überbrücken, ist eine der Hauptaufgaben von Lagern. Als ein

---

<sup>43</sup> Vgl. Bloech et al, 2014, S.96.

<sup>44</sup> Vgl. „Durchführungsplanung“, 2015.

<sup>45</sup> Vgl. Bloech et al., 2014, S.100ff.

<sup>46</sup> Vgl ebenda, S. 162.



weiteres Motiv zur Errichtung eines Lagers muss zudem die Sicherungsfunktion genannt werden, die unvorhersehbare Risiken im Produktionsablauf, Bedarfsschwankungen und Lieferverzögerungen ausgleichen kann.<sup>47</sup> Unter dieser Funktion sind die bereits in Kapitel 2.1.2.1. genannten Sicherheitsbestände anzusiedeln. Die Assortierungs-, die Spekulations- und die Veredelungsfunktion können als sonstige Lagerungsmotive aufgeführt werden.<sup>48</sup> Insbesondere sind allerdings die Überbrückungs- und Sicherungsaufgaben für jedes Lager zutreffend, wodurch das Lager eine starke Wirkung als Mengenflussregler und Zeitverzögerungsglied erzielen kann. Ausgehend aus den Aufgaben, die das Lager erfüllen soll, lassen sich die entstehenden verschiedenen Ausprägungen in Lagerarten unterscheiden.<sup>49</sup> [Dem interessierten Leser wird Schmidt; Schneider, 2008, S. 376f. zur weiteren Lektüre empfohlen.]

## 2.2.1 Bestandsmanagement

Die Erfüllung der oben genannten Aufgaben und vor allen Dingen der zentralen Bestimmung, nämlich der Versorgung mit den richtigen Materialien zur richtigen Zeit, erfolgt zu einem großen Teil im Zuge der Bestandsführung bzw. dem Bestandsmanagement. Das Bestandsmanagement bezeichnet dabei alle Entscheidungen, die in irgendeiner Form die Lagerbestände eines Unternehmens betreffen, ist dabei jedoch nicht als autarke Planungsaufgabe zu verstehen, da die Höhe der Lagerbestände vor allem durch die geplanten Produktions- und Transportprozesse bestimmt wird.<sup>50</sup> Zudem stecken die strategischen und taktischen Entscheidungen des Produktionsmanagement (vgl. Kapitel 2.1.2), die Rahmenbedingungen ab in denen das Bestandsmanagement agieren kann. Bspw. betrifft das durch eine bereits getroffene Lieferantenvorauswahl die möglichen Lagerstandorte oder Liefercharakteristika (Lieferzeiten und -treue). Die Planungen des Bestandsmanagements werden darüber hinaus dadurch komplexer, dass bei einigen relevanten Faktoren zum Zeitpunkt der Planung noch Unsicherheiten bestehen und stochastischen Einflüssen unterliegen.<sup>51</sup> Stochastische Einflüsse lassen sich durch das Fehlen konkreter Planungsdaten und demzufolge der Verwendung mutmaßlicher, geschätzter Werte bzw. Zufallsvariablen definieren.<sup>52</sup>

---

<sup>47</sup> Vgl. zu diesem Abschnitt Schulte, 2009, S. 228.

<sup>48</sup> Vgl. zur weiteren Lektüre Schulte, 2009, S. 229.

<sup>49</sup> Vgl. zu diesem Abschnitt Schmidt; Schneider, 2008, S.375f.

<sup>50</sup> Vgl. Fleischmann, 2008, S.11.

<sup>51</sup> Vgl. zu diesem Abschnitt Inderfurth; Jensen, 2008, S.154.

<sup>52</sup> Vgl. Günther; Tempelmeier; 2014, S.240.

Die Unsicherheit kann dabei mehrere Ursachen haben:

- Unsicherheit der Nachfragemenge
- Unsicherheit der Wiederbeschaffungszeit einer Lagerbestellung/ eines Lagerzugangs, entweder aus Eigenfertigung oder Fremdbezug
- Abweichungen von der Lagerzugangsmenge zur Bestellmenge
- Abweichungen zwischen tatsächlichem und von der Lagerbestandsführung ermitteltem Bestand<sup>53</sup>

Eine der einfachsten Möglichkeiten diese Unsicherheiten zu berücksichtigen besteht darin, schlichtweg einen Teil des tatsächlich vorhandenen Bestandes zu reservieren, ergo der Produktionsprogrammplanung zu entziehen. Diese Reserve wird als Sicherheitsbestand bezeichnet.<sup>54</sup> Um das Konzept der spezifischen Lagerhaltungspolitiken genauer zu erläutern, wird im nächsten Kapitel genauer auf diese und die Losgrößenplanung eingegangen.

### 2.2.1.1 Lagerhaltungspolitiken

Eine Lagerhaltungspolitik wird durch eine Anzahl von Entscheidungsregeln definiert, die Aussagen darüber enthalten, nach welchen Aspekten Lagerzugangsmengen für zukünftige Zeitpunkte einkalkuliert werden sollen. Dabei sind insbesondere die Fragen nach dem wann und dem wieviel des Lagerzugangs entscheidend für die Höhe der Lagerkosten, die in der Folge noch eine Rolle spielen werden. Die Fragen lauten, wann, zu welchem Zeitpunkt, Maßnahmen zur Wiederbeschaffung vollzogen werden sollen und wie hoch die Bestellmenge sein soll.<sup>55</sup> Wann diese Bestellung bzw. Wiederbeschaffungsmaßnahme durchgeführt wird, kann anhand von zwei Möglichkeiten bestimmt werden:

- $r$ : Bestellungen erfolgen anhand eines fest bestimmten Überprüfungsintervalls der Länge  $r$ , alle  $r$  Perioden.<sup>56</sup>

---

<sup>53</sup> Vgl. Günther; Tempelmeier; 2014, S.240.

<sup>54</sup> Vgl. Tempelmeier, 2012, S.304.

<sup>55</sup> Vgl. zu diesem Abschnitt Günther; Tempelmeier, 2014, S.243.

<sup>56</sup> Vgl. Tempelmeier, 2006, S.91.

- $s$ : Nach jeder Lagerbewegung, d.h. nach Wareneinzügen, -entnahmen oder Umlagerungen<sup>57</sup>, wird der gegenwärtig vorhandene Lagerbestand mit einem festgelegten Meldebestand, dem so genannten Bestellpunkt,  $s$  verglichen. Wird dieser Bestellpunkt erreicht oder unterschritten, hat dies die Auslösung einer Bestellung zur Folge.<sup>58</sup>
- $Q$ : „Die dabei [jeweils] bestellte Menge ergibt sich entweder aus der Differenz zu einem vorgegebenen Mindestbestand (Bestellniveau  $S$ ) oder aus einer zuvor festgelegten Bestellmenge [ $Q$ ].“<sup>59</sup>
- $S$ : Das Bestellniveau  $S$  stellt den Maximalbestand dar, der durch eine Bestellung, unter der Voraussetzung, dass der Lagerzugang sofort erfolgt, erreicht werden soll.<sup>60</sup>

Aus der Kombination dieser Möglichkeiten ergeben sich die folgenden vier bekanntesten Lagerhaltungspolitiken, die sich wiederum, abhängig vom Bestellzeitpunkt, in zwei Ansätze unterteilen lassen.

### **Konstanter Bestellzyklus**

$r,Q$ -Politik: Bei der  $r,Q$ -Politik, einem veralteten und nicht mehr praxisrelevantem Verfahren, wird in festgelegten Abständen von  $r$  Perioden eine festgeschriebene Bestellmenge  $Q$  beschafft.<sup>61</sup>

$r,S$ -Politik: Das Vorgehen bei der  $r,S$ -Politik lässt sich dagegen so beschreiben, dass in konstanten Abständen mit der Länge von  $r$  Perioden eine Bestellung ausgelöst wird, die den zur Verfügung stehenden Lagerbestand auf den Höchstbestand (Bestellniveau)  $S$  auffüllt.<sup>62</sup> Die Anwendung dieser Politik ist vor allem bei teurem Lagerraum, der stets optimal ausgenutzt werden sollte, sinnvoll, führt allerdings bei stark schwankender Nachfrage zu Problemen.<sup>63</sup>

---

<sup>57</sup> Vgl. „Lagerbewegung“, 2013.

<sup>58</sup> Vgl. Günther; Tempelmeier; 2014, S.243.

<sup>59</sup> „Lagerhaltungspolitik“, 2015.

<sup>60</sup> Vgl. Günther; Tempelmeier; 2014, S.243.

<sup>61</sup> Vgl. Alicke, 2005, S.59.

<sup>62</sup> Vgl. Tempelmeier, 2012, S. 163.

<sup>63</sup> Vgl. Alicke, 2005, S.59.

## Variabler Bestellzyklus

Bei diesem Ansatz wird eine kontinuierliche Kontrolle der Lagerbestände vorausgesetzt.<sup>64</sup>

s,Q-Politik: „Die s,Q-Lagerpolitik wird durch die folgende Entscheidungsregel charakterisiert: Immer dann, wenn der (disponible) Lagerbestand auf die Höhe des Bestellpunkts s gesunken ist, wird eine Bestellung in der Höhe [Q] ausgelöst.“<sup>65</sup>

s,S-Politik: Wie bei der s,Q-Politik wird bei der s,S-Politik die Bestellung bei Erreichen des Bestellpunktes ausgelöst, die Menge ist jedoch so zu wählen, dass sie den disponiblen Lagerbestand auf das Bestellniveau auffüllt.<sup>66</sup> Diese Politik ist am ehesten auf stochastisch beeinflusste Nachfrage zugeschnitten und kann Änderungen des Marktes auffangen, sofern die Zulieferer flexibel genug agieren können.<sup>67</sup>

### 2.2.1.2 Optimale Bestellmenge

Die Bestellmenge Q lässt sich, dank ihrer Variabilität im Zuge der Losgrößen- bzw. Bestellmengenplanung mit Hilfe des sog. EOQ-Modells, oder auch Andlersche Losgrößenformel genannt, optimieren.<sup>68</sup> Je nachdem, ob die unten stehende Formel zur Optimierung der Losgröße oder der Bestellmenge genutzt wird, fließen entweder die Rüstkosten oder die Bestellkosten in die Berechnung ein.

$$x_{opt} = \sqrt{\frac{200 * M * K_B}{E * LHS}} \quad [1]$$

$x_{opt}$  = optimale Beschaffungsmenge Q

M = Jahresbedarfsmenge

E = Einstandspreis pro Mengeneinheit

$K_B$  = Bestellkosten je Bestellung oder Rüstkosten je Rüstvorgang

LHS = Lagerhaltungskostensatz

---

<sup>64</sup> Vgl. Alicke, 2005, S.59.

<sup>65</sup> Günther, Tempelmeier; 2014, S.244.

<sup>66</sup> Vgl. Tempelmeier, 2012, S. 170.

<sup>67</sup> Vgl. Alicke, 2005, S.59.

<sup>68</sup> Vgl. Wannewetsch, 2010, S.64.

Dabei sind die Rahmenbedingungen für diese Formel, dass Bestellungen ad libitum ausgelöst werden können, keine Kapazitätsbeschränkungen existieren, eine ausgelöste Bestellung unmittelbar geliefert wird und ein kontinuierlicher, nicht zeitverzögerter, Lagerabgang vorliegt.<sup>69</sup> Trotz dieser limitierenden Annahmen gewährt dieses Grundmodell dennoch einen relativ guten Eindruck über die grundsätzlichen Einflüsse, die Lager- und Rüstkosten bzw. Bestellkosten, auf die Losgröße/ Bestellmenge besitzen.<sup>70</sup> [Zur Herleitung und näheren Erläuterung der Kostenstrukturen wird dem interessierten Leser Wannowetsch, 2010, S. 55ff. empfohlen.]

Dieser Ansatz zur Ermittlung der optimalen Bestellmenge geht von einer deterministischen Betrachtungsweise aus, d.h. dass zukünftige Ereignisse eindeutig festgelegt sind und genau in dieser Form eintreten werden.<sup>71</sup> In der Realität ist dies logischerweise nicht gegeben, sodass es immer wieder zu Abweichungen und Schwankungen in der Nachfrage bzw. dem Bedarf kommt. Solche Schwankungen können bspw. durch Bestands-, Liefermengen-, Verbrauchs- oder Lieferterminabweichungen auftreten.<sup>72</sup> Die Wahrscheinlichkeiten, dass eine dieser Abweichungen eintritt, können durch die standardnormalverteilte Nachfrageverteilung dargestellt werden. Mit Hilfe dieser Standardnormalverteilung lassen sich auch die Servicegrade und damit einhergehend die Sicherheitsbestände berechnen.<sup>73</sup> In der Folge soll nur oberflächlich auf die Herleitung der einzelnen Servicegrade und die Berechnung der Sicherheitsbestände eingegangen werden, da diese im Rahmen dieser Arbeit eine nicht signifikante Rolle spielen sollen.

Der  $\alpha$ -Servicegrad lässt sich als die Wahrscheinlichkeit definieren, dass die in einer Periode auftretende Nachfragemenge kleiner ist, als der disponible Lagerbestand. Das bedeutet, dass der in der Periode auftretende Bedarf vollständig aus dem zu Beginn der Wiederbeschaffungszeit vorhandenen Lagerbestand gedeckt werden kann und somit kein Ereignis einer Fehlmenge eintritt. Der  $\alpha$ -Servicegrad ist somit eine ereignisorientierte Kennzahl.<sup>74</sup>

---

<sup>69</sup> Vgl. Inderfurth, Jensen, 2008, S. 155.

<sup>70</sup> Vgl. ebenda, S. 156.

<sup>71</sup> Vgl. „Determiniertheit“, 2013.

<sup>72</sup> Vgl. Schulte, 2009, S.396.

<sup>73</sup> Vgl. Bretzke, 2010, S. 204.

<sup>74</sup> Vgl. zu diesem Abschnitt Alicke, 2005, S.57.

Der  $\beta$ -Servicegrad hingegen ist eine mengenorientierte Kennzahl und ermittelt den Anteil der unverzüglich lieferbaren Nachfragemenge an dem in dieser Periode aufgetretenem Gesamtbedarf.<sup>75</sup>

Beide Servicegrade geben somit eine Wahrscheinlichkeit an, mit der eine Nachfrage innerhalb des Wiederbeschaffungszeitraums, d.h. nach der Auslösung einer Bestellmenge  $Q$  zu einem Bestellpunkt  $s$ , bedient werden kann. Abhängig von der Lagerhaltungspolitik und dem zu Grunde liegenden Servicegrad, insbesondere dem definierten Servicelevel, welcher festlegt wie viel Prozent der auftretenden Nachfrage mindestens bedient werden soll, kann mit Hilfe der Standardabweichung der dafür nötige Sicherheitsbestand berechnet werden.<sup>76</sup> [Zur weiterführenden Lektüre bezüglich der Berechnung wird dem Leser Inderfurth, Jensen, 2008, S. 158ff. empfohlen.]

„Der Sicherheitsbestand ist eine Schwankungsreserve zur Sicherung der Lieferfähigkeit der Lagerstelle während der Wiederbeschaffungszeit gegen die regelmäßigen stochastischen Schwankungen des Periodenbedarfs und der Wiederbeschaffungszeit.“<sup>77</sup>

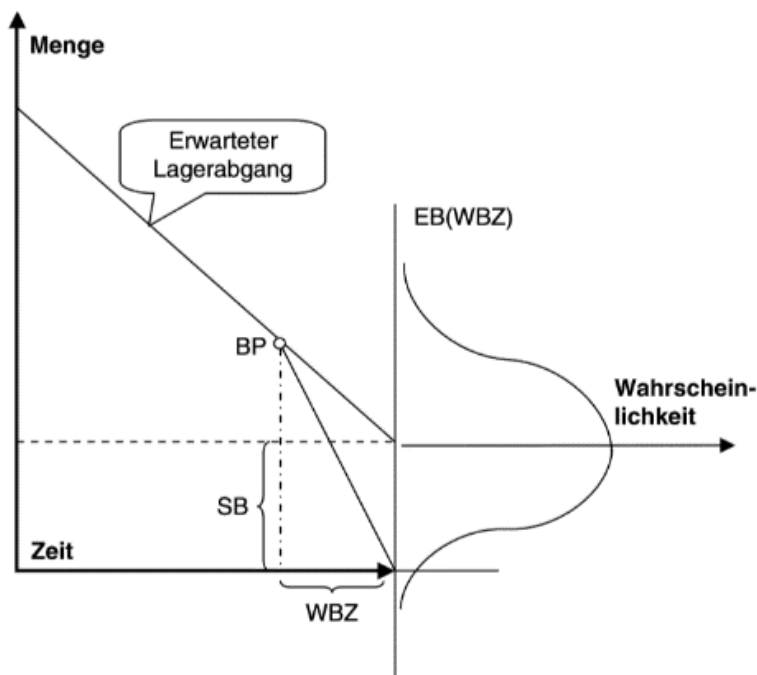


Abb. 2 – Konzept des Sicherheitsbestandes<sup>78</sup>

<sup>75</sup> Vgl. Bretzke, 2010, S. 216.

<sup>76</sup> Vgl. zu diesem Abschnitt Bretzke, 2010, S.205.

<sup>77</sup> Gudehus, 2006, S.87.

<sup>78</sup> In Anlehnung an Bretzke, 2010, S.197.

Aufgrund der Absicherung gegen diese Risiken in der Wiederbeschaffungszeit und, da Sicherheitsbestände ebenso zur Beseitigung bzw. Deckung von Bedarfsprognosefehlern dienen, lassen Sicherheitsbestände sich als überaus servicerelevant bezeichnen. Da sie zudem einen nicht unbeträchtlichen Anteil an dem Gesamtlagerbestand und somit an der Höhe des gebundenen Kapitals haben, ist es überaus bedeutsam, dass die auf die Sicherheitsbestände einflussnehmenden Faktoren detailliert analysiert werden. Dieses wird in Kapitel 3.2 durch die Untersuchung von Prognoseverfahren dargestellt, denn eine unsicherheitsbehaftete Bedarfsprognose hat eine schwankende Nachfrage in der Wiederbeschaffungszeit zur Folge.<sup>79</sup>

### **3 Mittel zur Problemlösung bei schwankender Nachfrage**

In welcher Form diese Schwankungen auftreten können, soll im folgenden Kapitel näher beleuchtet werden. Unternehmen müssen auf Nachfrageschwankungen reagieren können und ihre Produktionsprogramme entsprechend anpassen, um sowohl Lost Sales, das sind nicht nachholbare Fehlmengen<sup>80</sup>, als auch eine Überproduktion zu vermeiden. Zur Anpassung der Produktion gehen, wie bereits in Kapitel 2.1.2.1. erwähnt, insbesondere die Ergebnisse von Prognosen der zukünftigen Nachfrage in die Produktionsprogrammplanung ein. Eine Übersicht ausgewählter Prognoseverfahren soll im Kapitel 3.2 beschrieben werden. Anschließend daran wird darauf eingegangen, welche Möglichkeiten den Unternehmen, basierend auf den Ergebnissen eben dieser Prognosen, es zur konkreten Anpassung der Produktionsprogramme zur Verfügung stehen.

#### **3.1 Typen von Zeitreihenverläufen**

Zunächst einmal sollen als Grundlage die verschiedenen Arten von Nachfrage- und Bedarfsschwankungen sowie ihre jeweiligen Charakteristiken aufgeführt werden. Dabei soll insbesondere auf die Saisonalität eingegangen werden, um eine Grundlage für die spätere Anwendung der Verfahren auf die vorhandenen Daten des mittelständischen Unternehmens zu schaffen.

---

<sup>79</sup> Vgl. zu diesem Abschnitt Bretzke, 2010, S. 196f.

<sup>80</sup> Vgl. „Fehlmengen“, 2015.

Die Schwankungen können als Ergebnis der Analyse von vorliegenden Vergangenheitswerten der Nachfrage erkannt und veranschaulicht werden. Diese beobachteten Vergangenheitswerte werden als eine Zeitreihe interpretiert.<sup>81</sup> Eine Zeitreihe ist eine zeitlich geordnete (Reihen-) Folge von reellen Beobachtungswerten besonderer Eigenschaften eines, bspw. wirtschaftlichen, Systems.<sup>82</sup>

Wird die in Periode  $t$  beobachtete Nachfragemenge mit  $x_t$  bezeichnet, so lässt sich die Folge der Periodennachfragemengen als die Folge  $\{x_1, x_2, \dots, x_t\}$  beschreiben.<sup>83</sup> Der Index  $t$  ( $t = 1, 2, 3, \dots, T$ ) ist eine Abbildung der Zeit, bei welchem zudem vorausgesetzt wird, dass die Daten diskret sind.<sup>84</sup> Ein Merkmal ist dann diskret, „wenn es nur endliche oder höchstens abzählbar unendlich viele Merkmalsausprägungen besitzt.“<sup>85</sup>

Das Merkmal  $x$ , welches hier die Nachfrage darstellt, kann einen unterschiedlichen Bezug zur Zeit  $T$  haben, sodass zwischen der Zeitpunkt-bezogenen und der Zeitraum-bezogenen Variablen unterschieden werden kann.

Als Zeitpunkt-bezogene Variablen werden punktuell ermittelte Bestands- oder Zustandsgrößen bezeichnet, wie bspw. der Lagerbestand am Monatsende.

Zeitraumbezogene Variablen beschreiben hingegen über einen Zeitraum ermittelte Strömungsgrößen, wie z.B. Tagesverbrauch oder Monatsumsatz.<sup>86</sup> Auf Basis der Zeitreihenanalyse können dann Entscheidungen bezüglich eines Prognosemodells getroffen werden, auf dessen Grundlage Verfahren zur Prognose zukünftiger Nachfragemengen angewendet werden.<sup>87</sup>

Eine erste Unterscheidung bezüglich der Typen von Zeitreihenverläufen kann dadurch vorgenommen werden, ob ein stationärer Prozess zugrunde liegt oder nicht. Stationäre stochastische Prozesse liegen dann vor, wenn die Erwartungswerte und zweiten zentralen Momente des Prozesses im Zeitlauf konstant sind<sup>88</sup>

Bei der weiteren Analyse der Zeitreihen lässt sich feststellen, dass die Verläufe der Zeitreihen in den meisten Fällen gewissen Regelmäßigkeiten unterliegen, die sich in die nachstehenden Typen von Zeitreihenverläufen unterteilen lassen (vgl. Abb.3).

---

<sup>81</sup> Vgl. Günther; Tempelmeier, 2014, S.128.

<sup>82</sup> Vgl. Schäffer, 1997, S.23.

<sup>83</sup> Vgl. Günther; Tempelmeier, 2014, S.128.

<sup>84</sup> Vgl. Backhaus et al., 2011, S. 120.

<sup>85</sup> Bradtke, 2007, S.8.

<sup>86</sup> Vgl. zu diesem Abschnitt Backhaus et al. 2011, S.120.

<sup>87</sup> Vgl. zu diesem Abschnitt Günther; Tempelmeier, 2014, S.128.

<sup>88</sup> Vgl. Herrmann, 2009, S.62.



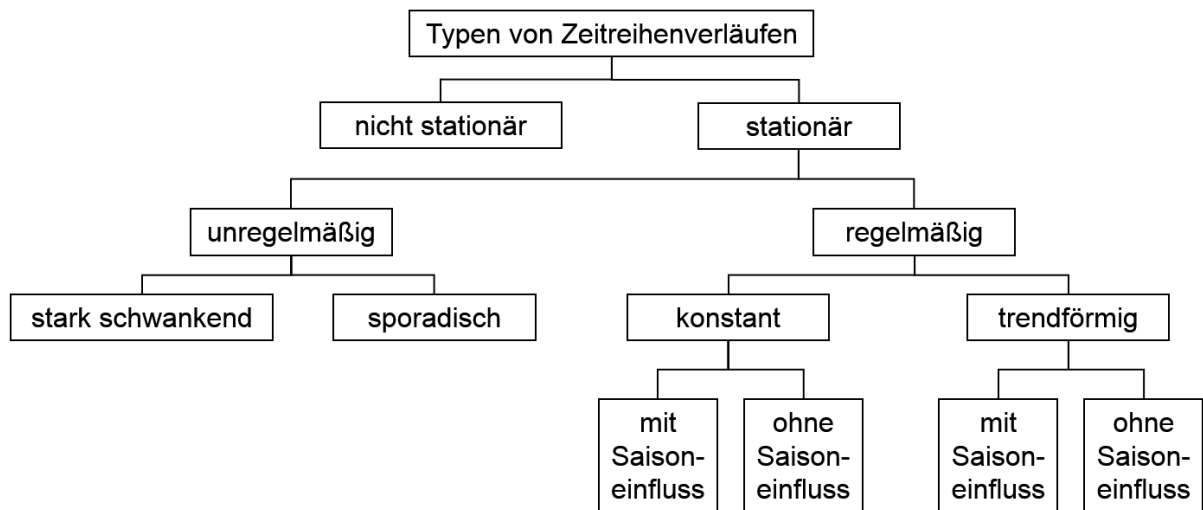


Abb. 3 – Typen von Zeitreihenverläufen<sup>89</sup>

Zu den unregelmäßige Zeitreihenverläufen lassen sich die stark schwankenden und sporadischen Bedarfe/ Nachfrage zuordnen, die nur schwer planbar sind und sich nur schwer systematisch bzw. modellbasiert prognostizieren lassen.

Regelmäßige Verläufe können entweder konstant, oder aber trendförmig verlaufen und dabei jeweils zusätzlich einem Saisoneinfluss unterliegen oder eben nicht.

Die Verläufe lassen sich in der Regel als das Ergebnis der additiven oder multiplikativen Kombination sog. Zeitreihenkomponenten bezeichnen.<sup>90</sup> In der Literatur werden dabei grundsätzlich die folgenden vier Komponenten aufgeführt. Die Terminologie orientiert sich dabei an den Ausführungen von GÜNTHER UND TEMPELMEIER.<sup>91</sup>

- Die Trendkomponente „T“, mit der eine Trendentwicklung, d.h. eine langfristige mittlere Veränderung, abgebildet werden kann und die sich als Mittelwertfunktion im stochastischen Sinn beschreiben lässt.<sup>92</sup> Der Verlauf ist daher mit der Zeit und in Folge der langfristigen Einflüsse monoton fallend oder steigend.<sup>93,94</sup>

<sup>89</sup> In Anlehnung an Günther; Tempelmeier, 2014, S. 132

<sup>90</sup> Vgl. zu diesem Abschnitt ebenda, S. 132.

<sup>91</sup> Vgl. ebenda, S.130f.

<sup>92</sup> Vgl. Vogel, 2015, S.40.

<sup>93</sup> Vgl. Vgl. Herrmann, 2009, S.98.

<sup>94</sup> vgl. Abb. 6 unter lineares Modell.

- Die Komponente für mittelfristige zyklische Schwankungen „C“ beinhaltet mehrjährige Schwankungen von oftmals unregelmäßiger Amplitude oder Länge, durch sich stetig, aber sukzessive ändernde Einflüsse. Das treffendste Beispiel hierfür ist der Konjunkturzyklus, sodass der Begriff Konjunkturkomponente ge-läufig ist.<sup>95</sup>
- Die Komponente „S“ für saisonale Schwankungen, die nachstehend noch aus-führlicher erläutert werden.
- „I“, die irreguläre Komponente für unregelmäßige, zufällige Schwankungen, auch als statistischer Rest bezeichnet, bezieht all jene Einflüsse mit ein, die durch die zuvor genannten Komponenten nicht beschrieben werden können.<sup>96</sup> Sie ist ein stochastischer Prozess, welcher als „die Verallgemeinerung einer Zufallsvariablen auf eine indizierte Menge von unendlich vielen Zufallsvariab-len“<sup>97</sup> definiert wird, wobei insbesondere die Verteilung der Variablen interes-sant ist.

Des Weiteren findet sich in der Literatur häufig die Zusammenfassung der Trend- und Konjunkturkomponente (T und C) zu einer Komponente, der so genannten glatten Komponente.<sup>98</sup> Diese soll im Folgenden als G bezeichnet werden. Wichtig anzumerken ist zudem, dass die Komponenten T, C und S, die auch unter dem Begriff syste-matische Komponente zusammengefasst werden<sup>99</sup>, im Gegensatz zur irregulären Komponente I, aufgrund ihrer Eigenschaften prognostizierbar sind.<sup>100</sup>

Die Ergebnisse der Zeitreihenanalyse und der Kombination der Einflüsse der vier Kom-ponenten geben in erster Linie die Verläufe der Zeitreihen und somit der Nachfrage-mengen wieder, sodass im Allgemeinen zwischen den folgenden drei Nachfragever-läufen unterschieden werden kann.

- Der gleichbleibende Verlauf, als ein regelmäßiger und konstanter Verlauf ohne Einfluss der Trend- oder Saisonkomponente, unterliegt lediglich der irregulären Komponente „I“, die für die Schwankungen innerhalb der Zeitreihe verantwort-lich ist.<sup>101</sup>

---

<sup>95</sup> Vgl. Hartung; Elpelt; Klösener, 2005, S.641.

<sup>96</sup> Vgl. Vogel, 2015, S.40.

<sup>97</sup> Ebenda, S.18.

<sup>98</sup> Vgl. Backhaus et al., 2011, S.126.

<sup>99</sup> Vgl. ebenda, S.126.

<sup>100</sup> Vgl. Tempelmeier, 2012, S.71.

<sup>101</sup> Vgl. Günther; Tempelmeier, 2014, S. 130.

- Einem trendförmig ansteigenden Verlauf liegt eine Zeitreihe zugrunde, die logischerweise von der Trendkomponente T oftmals aber auch von der Konjunkturkomponente C beeinflusst wird.<sup>102</sup>
- Mit den saisonal schwankenden Nachfrageverläufen wird sich nun im folgenden Kapitel ausführlicher befasst.

### 3.1.1 Saisonalität

Saisonalität ist die systematische, allerdings nicht zwangsläufig regelmäßige, Bewegung innerhalb eines Jahres. Sie wird durch die Veränderungen des Wetters, Kalendereffekten und der Entscheidungen über Zeiträume bzw. -punkte hervorgerufen und wird direkt oder indirekt durch das Verhalten der Entscheidungsträger eines Wirtschaftssystems bezüglich Produktion oder Konsum beeinflusst.<sup>103</sup> Kalendereffekte können der Zeitpunkt religiöser Feste, wie Weihnachten, Ostern oder Ramadan, aber auch säkulare Feiertage wie bspw. der 4. Juli oder der Tag des Sturms auf die Bastille sein. Zu den Entscheidungen über Zeiträume bzw. -punkte lassen sich Schul- oder Betriebsferien, Geschäftsjahre und Bilanzierungszeiträume sowie die Auszahlung von Bonuszahlungen zuordnen.<sup>104</sup> Ein weiterer erwähnenswerter Punkt ist, dass Saisonschwankungen idealerweise jährlich zum identischen Zeitpunkt und gleich intensiv auftreten.

„Als saisonale Schwankungen in einer Zeitreihe werden [...] die Ausschläge verstanden, die im regelmäßigen Rhythmus von der Dauer höchstens eines Jahres wiederkehren.“<sup>105</sup> Saisonschwankungen im weiteren Sinne bezeichnen diese zyklisch wiederkehrenden Amplituden einer Zeitreihe innerhalb eines wöchentlichen, monatlichen, viertel- oder halbjährlichen Zeitintervalls. Dabei ist es möglich, dass das auftretende Saisonmuster konstant bleibt, oder aber von einer kontinuierlichen Veränderung bestimmt wird. Ein solcher Wandel kann bspw. dann auftreten, wenn der Konsument seine Verbrauchsgewohnheiten ändert.

---

<sup>102</sup> Vgl. Günther; Tempelmeier, 2014, S. 131.

<sup>103</sup> Vgl. Hylleberg, 1992, S. 4.

<sup>104</sup> Vgl. zu diesem Abschnitt ebenda, S.3.

<sup>105</sup> Stöppler, 1984, S. 25.

Zudem können die saisonalen Bewegungen einer absoluten oder relativen Konstanz unterliegen, wobei eine relative Konstanz im Falle eines steigenden Trendverlaufs auch eine absolute Vergrößerung der Saisonkomponente bedingt.<sup>106</sup>

Zur Analyse und anschließenden Prognose von Zeitreihen, die saisonalen Schwankungen unterliegen, gibt es mehrere Modelle bzw. Verfahren, von denen die Methode nach Holt-Winters in verschiedenen Anwendungsformen im zweiten Teil des folgenden Kapitels 3.2 ausführlich behandelt, vorgestellt und schließlich im praktischen Teil angewendet werden soll. Zunächst müssen dazu jedoch die Grundlagen zum Verständnis, in Form der weniger aufwendigen statistischen Verfahren des gleitenden Mittelwertes sowie der exponentiellen Glättung erster und zweiter Ordnung, geschaffen werden.

### 3.2 Prognoseverfahren

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit werden ausschließlich Prognoseverfahren erläutert und angewandt, die auf der zuvor erläuterten Analyse von Zeitreihen beruhen. Solche Prognoseverfahren werden als quantitative Verfahren bezeichnet und beinhalten das mathematische Modell des Prozesses, welcher die Zeitreihe mit ihren spezifischen Eigenschaften erstellt.<sup>107</sup> Sie können daher gut zur Vorhersage des zukünftigen Absatzes von Produkten in einem vorgegebenen Zeitabschnitt genutzt werden.<sup>108</sup> Des Weiteren ist die Anzahl der analysierten Zeitreihen innerhalb der quantitativen Prognose ausschlaggebend für den Charakter des Verfahrens.

Im Gegensatz dazu stehen die qualitativen Prognoseverfahren, welche hingegen nicht auf einem mathematischen Modell, sondern vielmehr auf den Meinungen bzw. der subjektiven Taxierung von Experten, basieren.

Bei kausalen Prognoseverfahren werden die Relationen zwischen mehreren Zeitreihenbetrachtungen analysiert. Im Gegensatz dazu gibt es Prognoseverfahren die auf der Analyse lediglich eine Zeitreihe basieren und die als sog. Extrapolationsverfahren bezeichnet wird.<sup>109</sup> Eine Auswahl dieser Verfahren wird im Kapitel 3.2.4 beschrieben und in Kapitel 4 angewendet.

---

<sup>106</sup> Vgl. zu diesem Abschnitt Tempelmeier, 2012, S. 102f.

<sup>107</sup> Vgl. Backhaus et al., 2011, S.122.

<sup>108</sup> Vgl. Dyckhoff; Spengler, 2010, S. 232.

<sup>109</sup> Vgl. zu diesem Abschnitt Backhaus et al., 2011, S.122.

Bei der Anwendung eines solchen Verfahrens zur Analyse und anschließenden Prognose einer Zeitreihe lässt sich die Vorgehensweise im Allgemeinen in fünf Schritte segmentieren, die in Abbildung 4 dargestellt sind.



Abb. 4 – Reihenfolge der Zeitreihenanalyse <sup>110</sup>

Diese fünf Schritte werden in den folgenden Unterkapiteln genauer beschrieben.

### 3.2.1 Grafische Darstellung der Zeitreihe

Um sich zu Beginn der Analyse einer Zeitreihe ein erstes Bild der teilweise unüberschaubaren Datenfülle machen zu können empfiehlt es sich ausdrücklich die Daten grafisch darzustellen. Aus einer Visualisierung lässt sich leichter eine umfassende Vorstellung der Eigenschaften der Zeitreihe gewinnen, als aus dem Blick auf eine lange Liste von Zahlen.<sup>111</sup>

Es ist sinnvoll diese Visualisierung mit Hilfe von Programmen, insbesondere Excel oder SPSS, vorzunehmen, da diese die Möglichkeit zur Ausgabe verschiedener Diagrammart, wie Balken-, Linien- oder Streudiagrammen, besitzen.<sup>112</sup> In den meisten Fällen handelt es sich bei der grafischen Darstellung um eine schlichte Abbildung der definierten Punkte in einem Koordinatensystem die durch einen Streckenzug miteinander verbunden sind, das sog. Zeitreihenpolygon (vgl. Abb. 5).<sup>113</sup>

Durch die Analyse dieser visuellen Aufbereitung lassen sich erste Erkenntnisse über die mögliche Existenz der in Kapitel 3.1.1 genannten Komponenten, wie Trend oder Saisonalität sowie andere Auffälligkeiten, z.B. Strukturbrüche und lineares oder nicht lineares Wachstum, erzielen. Anhand dieser Informationen ergibt sich die Möglichkeit Gründe für etwaige Besonderheiten innerhalb der Zeitreihe in der Modellformulierung zu berücksichtigen.<sup>114</sup>

<sup>110</sup> In Anlehnung an Backhaus et al., 2011, S.124.

<sup>111</sup> Vgl. Meißner; Wendler, 2015, S.238.

<sup>112</sup> Vgl. Backhaus et al., 2011, S.124f.

<sup>113</sup> Vgl. Mosler; Schmid, 2006, S. 202.

<sup>114</sup> Vgl. Mosler; Schmid, 2006, S.202.

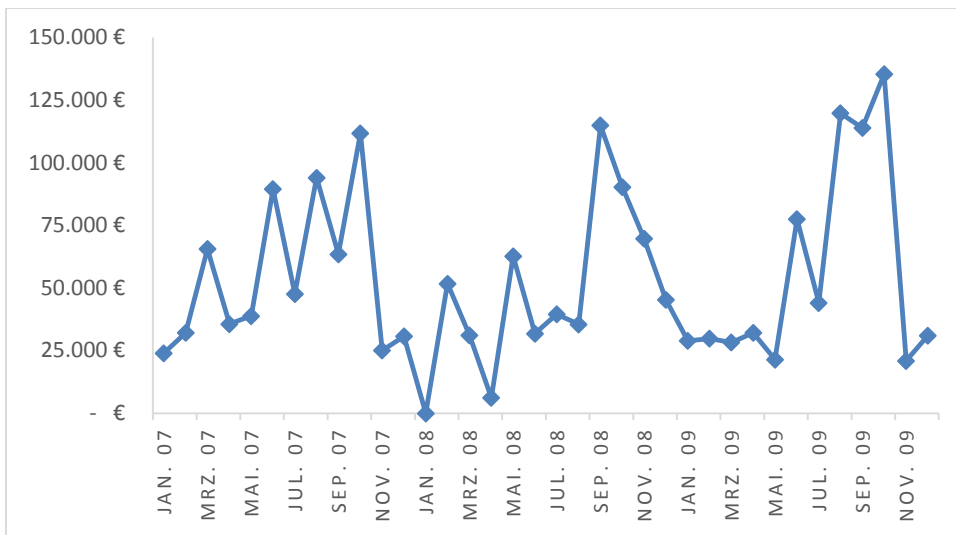


Abb. 5 – Beispiel für einen Polygonzug<sup>115</sup>

### 3.2.2 Formulierung eines Modells

Bei der Formulierung des Modells zur Analyse einer vorliegenden Zeitreihe wird in der Regel, und daher auch im Zuge dieser Bachelorarbeit, das so genannte Komponentenmodell als Grundlage zur weiteren Analyse genutzt. Das Komponentenmodell geht davon aus, „dass sich eine Zeitreihe des Merkmals  $[x]$  aus bestimmten, einfach zu interpretierenden Komponenten zusammensetzt.“<sup>116</sup>

Diese Komponenten wurden hier bereits in Kapitel 3.1.1 aufgeführt und in dem Zusammenhang wurde die mögliche additive bzw. multiplikative Verknüpfung jener Komponenten erwähnt. Bei der Entscheidung, welche der genannten Komponenten mit in das Modell aufgenommen werden sollen bzw. müssen, ist zu berücksichtigen, welche Art und in welcher Anzahl Daten in Form einer Zeitreihe vorliegen und was der Untersuchungsgegenstand ist. So ist bspw. bei der Analyse von Jahresdaten die Berücksichtigung der Saisonkomponente  $S$ , gemäß Definition der Saisonalität (vgl. Kapitel 3.1.2), hinfällig. Hingegen wird bei Monats- oder Quartalsdaten die Aufnahme der Saisonkomponente in das Modell sinnvoll sein, da bei dieser Betrachtungsweise mögliche Saisonzyklen innerhalb eines Jahres erkannt werden können.

<sup>115</sup> Eigene Darstellung.

<sup>116</sup> Mosler; Schmid, 2006, S. 202.

Die irreguläre Restkomponente muss allerdings stets berücksichtigt werden, da in der Regel nicht davon ausgegangen werden kann, dass die übrigen Komponenten das Merkmal  $x$  vollständig beschreiben können.<sup>117</sup>

Darauf aufbauend lassen sich nun die Kombinationsmöglichkeiten wie folgt definieren.<sup>118</sup>

Additive Kombination

$$x_t = G_t + S_t + I_t \quad [2]$$

Multiplikative Kombination:

$$x_t = G_t * S_t * I_t \quad [3]$$

bzw eine gemischt additiv-multiplikative Verknüpfung

$$x_t = G_t * S_t + I_t \quad [4]$$

Ausgehend von diesen Verknüpfungsmöglichkeiten der Komponenten kann, aufbauend auf der Interpretation der grafischen Darstellung der Zeitreihe, nun ein Modell formuliert werden, auf welches sich die Verfahren zur Zeitreihenanalyse im weiteren Verlauf stützen. Die Ergebnisse dieser Interpretation können die Feststellung eines konstanten oder eines linearen Modells sowie eines Modells höherer Ordnung oder aber eines Modells mit periodischen Schwankungen sein.

Bevor die Modelle kurz erläutert werden können, muss zunächst die Terminologie bzw. die Definition initial verwendeter Variablen vorgenommen werden.

- $x_t$  sei der Beobachtungswert in der Periode  $t$ , mit  $t=1,2,\dots,T$
- $T$  definiert die letzte Periode des Beobachtungszeitraums
- $\hat{x}_t$  sei der prognostizierte Periodenverbrauch der Planperiode  $t$ .<sup>119</sup>

### **Konstantes Modell**

Bei einem konstanten Modell ist der Prozess auf dem die Zeitreihe basiert annähernd gleichbleibend.<sup>120</sup> Das Modell lässt sich mit  $P_t = a$ , mit  $P_t$  als Prozess und  $a$  als unbekannter "wahrer" Wert der Konstanten beschreiben. |

---

<sup>117</sup> Vgl. zu diesem Abschnitt Mosler; Schmid, 2006, S. 204.

<sup>118</sup> Eigene Darstellung der Formeln in Anlehnung an Mosler; Schmid, 2006, S. 204.

<sup>119</sup> Eigene Festlegung

<sup>120</sup> Vgl. Abbildung 6

<sup>121</sup> Vgl. Schröder, 2012, S. 18.

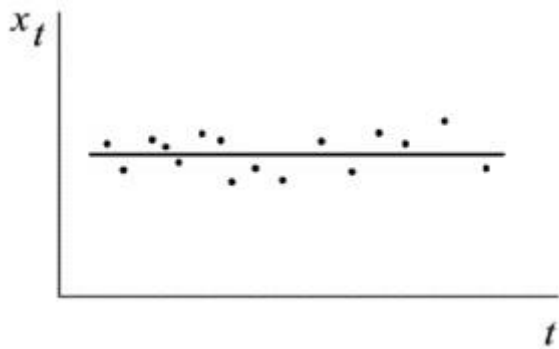


Abb. 6 – Beispiel für einen konstanten Prozess<sup>122</sup>

Wird zudem noch  $E_t$  als eine Variable für Zufallsabweichungen additiv integriert,<sup>123</sup> lassen sich die Beobachtungswerte  $x_t$  als Stichproben einer spezifischen Verteilung mit dem Mittelwert  $a$  bezeichnen. Der Wert  $a$  bildet dadurch den Periodengrundwert, der auch als Level oder Niveau bezeichnet wird.<sup>124</sup> Diese Begriffe werden in der Folge synonym verwendet. Mit Hilfe der vorhandenen Vergangenheitsdaten wird ein Schätzwert für den unbekanntem Wert  $a$  ermittelt. Dieser Schätzwert wird, wie alle anderen folgenden Schätzwerte auch, mit dem Akzent  $\hat{\phantom{a}}$  gekennzeichnet, sodass er mit  $\hat{a}$  bezeichnet werden kann. Die Vorhersage, die auf Basis dieses Schätzwertes errechnet wurde wird als  $\hat{x}_{T+i}$  bezeichnet,<sup>125</sup> wobei im Index durch  $T+i$  mit  $i = 1, 2, \dots, h$  angegeben wird, für welche zukünftige Periode nach der gegenwärtigen Periode  $T$  der Mittelwert prognostiziert wird. Dabei bezeichnet  $h$  die Anzahl der zu vorhersagenden zukünftigen Perioden, den sog. Prognosehorizont.<sup>126</sup>

Daraus ergibt sich die Vorhersagegleichung

$$\hat{x}_{T+i} = \hat{a}_T^{127} \quad [5]$$

Die Annahmen, die zur ihrer Gültigkeit getroffen werden müssen, lauten:

- Eine Konstante kann den Prozess auf Basis vorliegender Daten darstellen
- Die Schätzung dieser Konstante kann durch eine Mittelwertbildung über oben genannte (Vergangenheits-) Daten erfolgen
- Der Wert  $\hat{a}_T$  kann den Mittelwert der Verteilung hinreichend genau darstellen<sup>128</sup>

<sup>122</sup> In Anlehnung an Schröder, 2012, S. 17.

<sup>123</sup> Vgl. Herrmann, 2009, S. 71.

<sup>124</sup> Vgl. ebenda, S.71.

<sup>125</sup> Terminologie in Anlehnung an Schröder, 2012, S. 18

<sup>126</sup> Vgl. Vogel, 2015, S.70..

<sup>127</sup> In Anlehnung an Schröder, 2012, S. 18.

<sup>128</sup> Vgl. zu diesem Abschnitt Schröder, 2012, S. 18.



## Lineares Modell

Beim linearen Modell weisen die Beobachtungswerte durch gleiche Zuwachsraten einen über die Zeit konstanten Trend auf.<sup>129</sup>

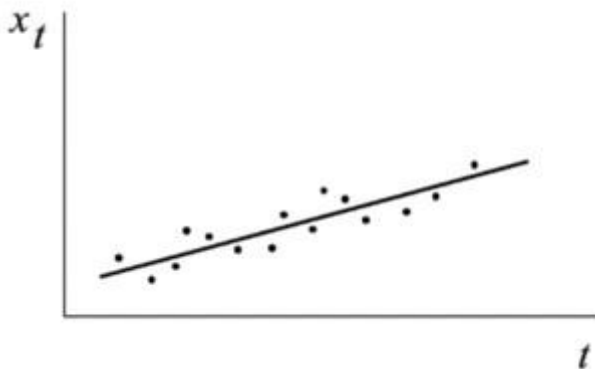


Abb. 7 – Trendverlauf <sup>130</sup>

Aufgrund dessen wird davon ausgegangen, dass sich der zugrunde liegende Prozess mit Hilfe des Modells der allgemeinen linearen Gleichung  $P_t = a + bt$  darstellen lässt.  $a$  ist dabei der Mittelwert in der Periode, in der  $t$  gleich null angenommen wird.  $b$  beschreibt „die Änderungsrate des ordinalen Wertes innerhalb einer Periode“.<sup>131</sup> Auch in diesem Modell erfolgt eine Schätzung der Unbekannten  $a$  und  $b$  auf Basis der Vergangenheitsdaten. Die Vorhersagegleichung des linearen Modells lässt sich folgendermaßen darstellen.

$$\hat{x}_{T+i} = \hat{a}_T + \hat{b}_T * i^{132} \quad [6]$$

## Modelle höherer Ordnung

Die Modelle höherer Ordnung beschreiben den Fall, dass der Trend über den Beobachtungszeitraum nicht konstant verläuft.<sup>133</sup>

Dieser Fall lässt sich durch die unten stehende Erweiterung des linearen Modells darstellen.

$$P_t = a + bt + ct^2 \quad [7]$$

---

<sup>129</sup> Vgl. Abbildung 7

<sup>130</sup> In Anlehnung an Schröder, 2012, S. 17.

<sup>131</sup> Schröder, 2012, S. 19.

<sup>132</sup> Vgl. zu diesem Absatz und zur Formel ebenda, S. 19.

<sup>133</sup> Vgl. Abbildung 8.

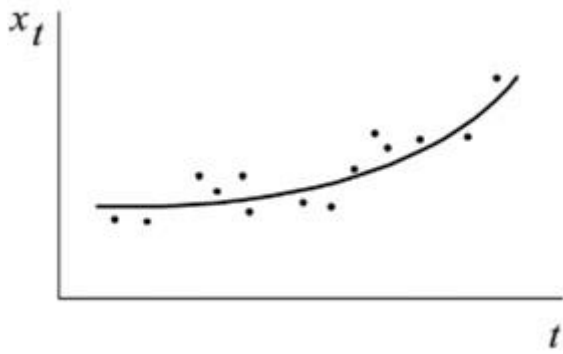


Abb. 8 – Beispiel Modell höherer Ordnung<sup>134</sup>

In diesem quadratischen Modell müssen folglich drei Parameter geschätzt werden. Die Vorhersagegleichung entsprechend des erweiterten Modells lautet dann

$$\hat{x}_{T+i} = \hat{a}_T + \hat{b}_T * i + \hat{c}_T * i^2 \quad [8]$$

Dieses Modell wird im weiteren Verlauf der Arbeit nicht wieder aufgegriffen. Das Box-Jenkins-Verfahren soll jedoch, als das wohl bekannteste Schätzverfahren für Modelle höherer Ordnung, an dieser Stelle Erwähnung finden. Die Bezeichnung Box-Jenkins-Verfahren steht dabei repräsentativ für eine Fülle an Modellen denen sog. autoregressive-integrated-moving average (ARIMA)-Prozesse zur Prognose von Zeitreihen zugrunde liegen.<sup>136</sup> Die ARIMA-Prozesse sind ein Spezialfall der Verknüpfung eines autoregressiven (AR)- und eines Moving-Average (MA)-Prozesses. Diese Verknüpfung wird als sog. ARMA-Prozess bezeichnet und ist einer der bedeutendsten regulären stationären Prozesse.<sup>137</sup> [Zur weiteren Lektüre werden Harvey; Todd, 1992, S. 341ff. und Deistler; Neusser, 2012, S.231ff. empfohlen.]

### Modell mit periodischen Schwankungen

Die Berücksichtigung periodischer Schwankungen, zu denen sich auch die Saisonalität zählen lässt, erfordert einen erheblichen mathematisch Mehraufwand, sodass an dieser Stelle keine kurze Darstellung wie für die obigen Verfahren möglich ist. Es soll stattdessen im weiteren Verlauf dieser Arbeit, nachdem im folgenden Abschnitt die Grundlagen dafür geschaffen werden, das so genannte Holt-Winters-Verfahren dargestellt, die verschiedenen Methoden zur Durchführung verglichen und schließlich angewendet werden.

<sup>134</sup> In Anlehnung an Schröder, 2012, S. 17.

<sup>135</sup> Vgl. zu diesem Abschnitt und den Formeln ebenda, S. 19.

<sup>136</sup> Vgl. Harvey; Todd, 1992, S.341.

<sup>137</sup> Vgl. Deistler; Neusser, 2012, S. 231.

### 3.2.3 Schätzung des Modells

Zu diesen Grundlagen zählen zunächst einmal die Verfahren zur Schätzung der Parameter eines konstanten Modells. Darauf aufbauend werden dann Verfahren zur Schätzung der Komponenten einer Zeitreihe, die sich mit einem linearen Modell beschreiben lässt, erläutert.

#### 3.2.3.1 Gleitender Mittelwert

Eines der einfachsten und bekanntesten Verfahren, das zur Schätzung der Parameter in einem konstanten Modell angewendet wird, ist der gleitende Mittelwert (erster Ordnung). Wie zuvor erwähnt, ist der Wert der Konstanten  $a$  unbekannt und muss daher aus den Vergangenheitsdaten der Beobachtungswerte  $x_t$  geschätzt werden.<sup>138</sup>

Bei diesem Verfahren wird hierbei ein Mittelwert aus  $N$  Werten  $x_t$  dadurch ermittelt, dass immer der aktuellste Beobachtungswert, anstelle des ältesten, in die Berechnung einfließt.<sup>139</sup> Für beliebig viele Perioden lässt sich der gleitende Durchschnitt ( $M_t$ ) mit

$$M_t = \frac{x_t + x_{t-1} + x_{t-2} + \dots + x_{t-N+1}}{N} \quad [9]$$

beschreiben. Das Summieren und Dividieren durch  $N$  in jeder Periode bedeutet einen erheblichen mathematischen Aufwand und erscheint sehr umständlich, sodass die Berechnung nach der folgenden Formel als sinnvoller erachtet werden kann.

$$M_t = M_{t-1} + \frac{(x_t + x_{t-N})}{N} \quad [10]$$

Es werden lediglich noch die Beobachtungen  $x_t$  bis  $x_{t-N}$  sowie der Mittelwert der Vorperiode benötigt, um die Berechnung vorzunehmen.

Dieses Verfahren ist allerdings an dieselben Annahmen gebunden, die unter dem Teilbereich Konstante Modelle in Kapitel 3.2.2 aufgelistet wurden. In der Praxis sind diese in den seltensten Fällen exakt in dieser Art anzutreffen. Folglich ist dieses Verfahren in dieser Form zur Anwendung in der Praxis eher ungeeignet und bedarf einer Anpassung.<sup>140</sup> So besteht bspw. die Möglichkeit, eine Gewichtung der  $N$ -Werte  $x_t$ , die jeweils der Ermittlung des Mittelwertes zugrunde liegen, entsprechend ihrer Relevanz für die

---

<sup>138</sup> Vgl. Schröder, 2012, S.22.

<sup>139</sup> Vgl. Kühnapfel, 2015, S.189.

<sup>140</sup> Vgl. zu diesem Abschnitt und den Formeln Schröder, 2012, S.22.

Entwicklung des Mittelwertes mit Hilfe verschiedener Koeffizienten  $k$  vorzunehmen. Dabei muss für die Koeffizienten bzw. Gewichtungsfaktoren  $k$  gelten, dass die Summe aller  $k$  1 beträgt. Dieses Verfahren wird bei dem Auftreten von trendförmigen oder saisonalen Schwankungen bessere Ergebnisse erzielen, als die eingangs beschriebenen, ungewogenen gleitenden Mittelwerte. Allerdings liegt bei beiden Verfahren eine geringe Flexibilität in puncto Reaktionszeit auf Veränderungen vor. Zudem ist die Bestimmung der Gewichtungsfaktoren sehr aufwendig.<sup>141</sup>

### 3.2.3.2 Exponentielle Glättung erster Ordnung

Das Verfahren der exponentiellen Glättung erster Ordnung, abgeleitet vom englischen „exponential smoothing“, stützt sich auf exponentiell gewogene Durchschnitte. Somit kann es als eine Weiterentwicklung des Verfahrens der gewogenen gleitenden Mittelwerte zur Verbesserung der Flexibilität angesehen werden.<sup>142</sup> Ziel einer exponentiellen Glätten ist es, die glatte Komponente ( $\hat{g}_t$ ) einer gegebenen Zeitreihe zu erhalten. Dies erfolgt durch die Umwandlung dieser gegebenen, in eine andere, Zeitreihe mit Hilfe eines definierten rekursiven Algorithmus. Dies hat zur Folge, dass die glatte Komponente der gewogene Mittelwert der Vergangenheitsdaten, sprich der gegebenen Zeitreihe, mit sich exponentiell mindernden Gewichtungsfaktoren ist:

$$\hat{g}_t = \alpha \sum_{j=0}^{\infty} (1 - \alpha)^j * x_{t-j} \quad [11]$$

Der sog. Glättungsfaktor  $\alpha$  muss dabei zwischen 0 und 1 liegen.<sup>144</sup> Die in der obigen Formel enthaltene Unendlichkeit ist per Definition in einer Zeitreihe nicht gegeben, so dass sich eine Anwendung dieser Darstellung zur Ermittlung der glatten Komponente einer Zeitreihe folglich verbietet. Deshalb wird ausgenutzt, dass sich jedes  $\hat{g}_t$  für  $t = 2, 3, \dots, n$  rekursiv aus dem  $\hat{g}_t$  der Vorperiode und dem aktuellen Beobachtungswert  $x_t$  ermitteln lässt, wenn gilt

$$\hat{g}_t = \alpha * x_t + (1 - \alpha) * \hat{g}_{t-1} \quad [12]$$

<sup>141</sup> Vgl. zu diesem Abschnitt Schröder, 2012, S. 23.

<sup>142</sup> Vgl. Schröder, 2012, 24f.

<sup>143</sup> Vgl. zu diesem Abschnitt und die Formel in Anlehnung an Vogel, 2015, S.50.

<sup>144</sup> Vgl. Kühnapfel, 2015, S. 199.

<sup>145</sup> Vgl. zu diesem Abschnitt und die Formel in Anlehnung an Vogel, 2015, S.50.

Zur Anwendung des Verfahrens der exponentiellen Glättung muss der Glättungsfaktor  $\alpha$  bestimmt werden, mit Hilfe dessen die Gewichtung der Prognose- und Beobachtungswerte vorgenommen wird. Dieser kann prinzipiell frei gewählt werden. Es ist zu beachten, dass, je näher  $\alpha$  an 0 liegt, Vergangenheitsdaten umso höher gewichtet werden, was eine stärkere Glättung der Zeitreihe bedeutet. Folglich werden bei einem  $\alpha$  nahe 1, durch die höhere Gewichtung der Gegenwarts- bzw. jüngeren Prognosewerte, Schwankungen auftreten und die Zeitreihe wenig geglättet.<sup>146</sup>

Die Wahl des Glättungsfaktors wirkt sich auch darauf aus, wie sehr ein Prognosefehler in Periode  $t$  den Prognosewert der Periode  $t+1$  beeinflusst.<sup>147</sup> Durch eine Minimierung der Prognosefehler ließe sich demnach auch ein, für die Berechnung eines zur Prognose geeigneten  $\hat{g}_t$ , optimales  $\alpha$  ermitteln.<sup>148</sup> Die Ermittlung der Prognosefehler wird in Kapitel 3.2.4.1 genauer beleuchtet. Weiterhin wird im Rahmen der Anwendung der Prognoseverfahren in Kapitel 4 die Minimierung dieser und somit die Optimierung des Glättungsfaktors vorgenommen werden. [Dem interessierten Leser wird zudem Vogel, 2015, S.52 empfohlen.]

### 3.2.3.3 Exponentielles Glätten zweiter Ordnung nach Holt

Nachdem sich die beiden zuvor beschriebenen Verfahren zur Schätzung in konstanten Modellen eignen, soll darauf aufbauend nun ein Verfahren vorgestellt werden, das das Vorliegen eines Modells mit linearem Trend berücksichtigt. Zur Prognose bei trendförmigen Bedarf eignet sich zudem die Anwendung des Verfahrens der linearen Regression, die weithin bekannt sein sollte. Dieses Verfahren soll im Rahmen dieser Arbeit jedoch nicht betrachtet werden. [Dem interessierten Leser sei jedoch Tempelmeier, 2012, S.83ff. empfohlen.]

Das Verfahren nach Holt wird als eine exponentielle Glättung zweiter Ordnung (Double Exponential Smoothing) bezeichnet, da zwei unterschiedliche Faktoren zur Glättung der beiden Parameter einer linearen Gleichung verwendet werden.<sup>149</sup> Dies ist in anderen Modellen des exponentiellen Glättens zweiter Ordnung nicht der Fall.<sup>150</sup> So wird

---

<sup>146</sup> Vgl. zu diesem Abschnitt Kühnapfel, 2015, S. 200.

<sup>147</sup> Vgl. Tempelmeier, 2012, S. 80.

<sup>148</sup> Vgl. Vogel, 2015, S.52.

<sup>149</sup> Vgl. Schröder, 2012, S. 42.

<sup>150</sup> Vgl. Verfahren nach Brown in Schröder, 2014, S.36f.

das Niveau der Zeitreihe, bzw. der Periodengrundwert, weiterhin mit dem Glättungsfaktor  $\alpha$  geglättet. Die Glättung der Trendkomponente erfolgt jedoch nicht mit demselben Faktor, sondern vielmehr mit einem neuen und von  $\alpha$  unabhängigen Glättungsfaktor, der im Folgenden mit  $\beta$  bezeichnet werden soll. Beide Faktoren liegen weiterhin zwischen 0 und 1.<sup>151</sup>

Für die Ermittlung des Periodengrundwertes wird

$$\hat{a}_t = \alpha * x_t + (1 - \alpha)(\hat{a}_{t-1} + \hat{b}_{t-1}) \quad [13]$$

und für die Ermittlung des Trends

$$\hat{b}_t = \beta * (\hat{a}_t - \hat{a}_{t-1}) + (1 - \beta) * \hat{b}_{t-1} \quad [14]$$

zugrunde gelegt. Nach dem Schätzen dieser beiden Werte kann, mit Hilfe der in Formel 6 beschriebenen Vorhersagegleichung, eine Prognose vorgenommen werden.<sup>152</sup>

### 3.2.3.4 Holt-Winters-Verfahren

Der Einsatz von individuellen Glättungsfaktoren für jede Komponente der Zeitreihe wurde von Winters aufgegriffen und auf der Grundlage des Verfahrens nach Holt so angewandt, dass eine Zeitreihe mit Saisonschwankungen abgebildet und geschätzt werden kann. Basierend auf dem traditionellen Komponentenmodell zur Zeitreihenanalyse bedeutet das, dass zusätzlich zu dem Ansatz von Holt noch eine Saisonkomponente, deren Schätzwert mit  $\hat{c}_t$  bezeichnet werden soll, eingeführt und mit Hilfe des Glättungsfaktors  $\gamma$  geglättet und geschätzt werden soll.<sup>153</sup>

Abhängig davon, ob die Amplituden der Saisonschwankungen im Verlauf der Zeitreihe näherungsweise konstant sind, oder jedoch in Abhängigkeit vom Trend ausschlagen, ist dabei die bereits erwähnte additive (vgl. Formel 2) oder multiplikative (vgl. Formel 3) Verknüpfung der Komponenten zu unterstellen. Erstere wäre bei einem konstanten, letztere bei einem dem Trend folgenden Verlauf zugrunde zu legen.<sup>154</sup>

---

<sup>151</sup> Vgl. zu diesem Abschnitt Kühnapfel, 2015, S. 208f.

<sup>152</sup> Vgl. zu diesem Abschnitt und die Formeln in Anlehnung an ebenda, S.208f.

<sup>153</sup> Vgl. ebenda, S. 209f.

<sup>154</sup> Vgl. Schuhr, 2012, S.49.

Daraus ergeben sich die folgenden Gleichungen zur Schätzung eines Prognosewertes innerhalb des Beobachtungszeitraums:

$$\hat{x}_t = (\hat{a}_t + \hat{b}_t) * \hat{c}_t \text{ bzw. } \hat{x}_t = \hat{a}_t + \hat{b}_t + \hat{c}_t \quad [15]$$

Die Schätzung der drei Parameter der Zeitreihe erfolgt wie gehabt rekursiv.

Dem Schätzwert des saisonbefreiten Periodengrundwertes liegt

$$\hat{a}_t = \alpha * (x_t - \hat{c}_{t-L}) + (1 - \alpha) * (\hat{a}_{t-1} + \hat{b}_{t-1}) \quad [16]$$

zugrunde, wenn das additive Modell unterstellt wird, bzw.

$$\hat{a}_t = \alpha * \frac{x_t}{\hat{c}_{t-L}} + (1 - \alpha) * (\hat{a}_{t-1} + \hat{b}_{t-1}) \quad [17]$$

bei Unterstellung des multiplikativen Modells.<sup>155</sup> Dabei beschreibt  $L$  die Länge des Saisonzyklus und kann, abhängig davon, in welchem Abstand die Periodenwerte  $t$  erhoben werden, die Werte  $L=2$  (halbjährlich),  $L=4$  (quartalsweise) oder  $L=12$  (monatlich) annehmen.<sup>156</sup> Mit der Division durch den jeweils vorherigen Saisonfaktor wird die Bereinigung der aktuellen Schätzung von der Saison vorgenommen.<sup>157</sup>

Die Ermittlung des, den Trend schätzenden Parameters, wird, anhand der in Formel 14 dargestellten Berechnung, vorgenommen und bleibt unabhängig von additiver oder multiplikativer Verknüpfung gleich.

Schlussendlich lässt sich der geschätzte Saisonparameter mit

$$\hat{c}_t = \gamma * (x_t - \hat{a}_t) + (1 - \gamma) * \hat{c}_{t-L} \quad [18]$$

bei Unterstellung des additiven Ansatzes, bzw. mit

$$\hat{c}_t = \gamma * \frac{x_t}{\hat{a}_t} + (1 - \gamma) * \hat{c}_{t-L} \quad [19]$$

ermitteln, wenn eine multiplikative Verknüpfung unterstellt wird.<sup>158</sup>

---

<sup>155</sup> Vgl. zu diesem Abschnitt und die Formeln in Anlehnung an Kühnapfel, 2015, S.210.

<sup>156</sup> Vgl. Schuhr, 2012, S.49.

<sup>157</sup> Vgl. ebenda, S.51.

<sup>158</sup> Vgl. zu diesem Abschnitt und die Formeln in Anlehnung an Vogel, 2015, S.73.

Der Schätzwert des Saisonparameters ist eine Kombination aus dem aktuellsten Saisonfaktor, der durch die Division von Beobachtungswert  $x_t$  und dem saisonbereinigten Schätzwert des Periodengrundwertes  $\hat{a}_t$  gebildet wird, sowie dem vorherigen Saisonfaktor der entsprechenden Periode innerhalb des Saisonzyklus.<sup>159</sup>

Auf Basis dieser Schätzwerte kann dann die Extrapolation der Zeitreihe zur Erstellung einer Prognose erfolgen. Die Voraussetzungen und Durchführung sollen im Kapitel 3.2.4 beschrieben werden, auf deren Grundlage in Kapitel 4 die Anwendung auf Basis tatsächlicher Umsatzzahlen stattfindet.

Ein weiteres Verfahren zur Prognose von Zeitreihen mit saisonalen Schwankungen ist das so genannte „SEATREND-Verfahren“ nach Harrison. Es bietet gegenüber dem Verfahren von Holt-Winters in einigen Fällen gewisse Vorteile, soll jedoch im Rahmen dieser Bachelorarbeit nicht näher behandelt werden, da das zum umfänglichen Verständnis und zur Anwendung benötigte Grundlagenwissen bei Absolventen eines betriebswirtschaftlichen Bachelorstudiengangs nicht ausreichend vorhanden sein wird. [Dem interessierten Leser sei nichtsdestotrotz Schuhr, 2012, S.61ff. empfohlen.]

### 3.2.4 Erstellung der Prognose

Anhand der in Kapitel 3.2.3 beschriebenen Verfahren wird die Schätzung der Parameter bzw. Komponenten der Zeitreihe vorgenommen. Darauf aufbauend kann anschließend eine neue Zeitreihe zu Prognosezwecken berechnet werden. Das folgende Kapitel beschäftigt sich damit, wie die Initialisierung der Prognose dieser neuen Zeitreihe für einige ausgewählte Verfahren ausgelöst wird. Zudem wird dargestellt, wie letztendlich durch extrapolieren, d.h. durch Verlängerung der Prognosezeitreihe über den Beobachtungshorizont hinaus,<sup>160</sup> eine Vorhersage erstellt wird.

#### **Konstantes Modell**

Die Initialisierung der Prognose nach dem Verfahren des gleitenden Mittelwertes ist sehr simpel und bedarf lediglich der Anwendung der in Formel 10 dargestellten Gleichung. Nachdem dadurch eine neue Prognosezeitreihe erstellt wurde, kann diese Gerade über den eigentlichen Beobachtungszeitraum hinaus verlängert werden, indem

---

<sup>159</sup> Vgl. Schuhr, 2012, S.51.

<sup>160</sup> Vgl. „Extrapolation“, 2015



der in der letzten Periode geschätzte Periodengrundwert als gleichbleibender Wert jeder Folgeperiode angenommen wird.<sup>161</sup> Somit gilt  $x_{T+i} = \hat{g}_T$  mit  $i = 1, 2, \dots, h$ , wobei  $h$  wie gehabt den Prognosehorizont beschreibt.<sup>162</sup>

Beim exponentiellen Glätten erster Ordnung bedarf es zusätzlich noch der Festlegung eines Startwertes für den Periodengrundwert, für den in der Regel  $\hat{g}_1 = x_1$  verwendet wird.<sup>163</sup> Nachdem unter Anwendung der in Formel 12 dargestellten Gleichung die Schätzung der Periodengrundwerte erfolgt ist, kann die Extrapolation dieser neuen Zeitreihe analog zu dem zuvor beschriebenen Vorgehen beim Verfahren des gleitenden Mittelwertes erfolgen.<sup>164</sup>

### **Exponentielles Glätten zweiter Ordnung**

Beim exponentiellen Glätten zweiter Ordnung ist bei der Ermittlung der Startwerte zu beachten, dass die eigentliche Initialisierung der Prognose erst in der Periode 3 des Beobachtungszeitraums erfolgt, sodass für die Anwendung der in Formel 13 und 14 stehenden Gleichungen  $t=3, 4, \dots, T$  gelten muss. So kann garantiert werden, dass für den Startwert des geschätzten Periodengrundwertes  $\hat{a}_2 = x_2$  und des Trendparameters  $\hat{b}_2 = x_2 - x_1$  gilt.<sup>165</sup>

Nachdem die Schätzung für beide Parameter erfolgt ist, die Prognosewerte anhand der allgemeinen linearen Gleichung  $\hat{x}_{t+1} = \hat{a}_t + \hat{b}_t$  errechnet und so eine Prognosezeitreihe ermittelt wurde,<sup>166</sup> kann die Extrapolation dieser Zeitreihe erfolgen. Hierbei dienen die beiden jeweils letzten Schätzwerte in der Periode  $t=T$  als Basiswerte der Extrapolation, sodass eine Prognose zukünftiger Perioden ebenfalls gemäß der in Formel 6 dargestellten Gleichung erfolgt. Auch hierbei gilt  $i=1, 2, \dots, h$ .<sup>167</sup>

### **Holt-Winters-Verfahren**

Um das Prognoseverfahren nach Holt-Winters in der Praxis anwenden zu können, ist das Augenmerk insbesondere bei der Initialisierung des Verfahrens auf die geeignete Bestimmung der Startwerte zu legen, da diese großen Einfluss auf den Verlauf der

---

<sup>161</sup> Vgl. Kühnapfel, 2015, S.191.

<sup>162</sup> Eigene Herleitung.

<sup>163</sup> Vgl. Vogel, 2015, S.50.

<sup>164</sup> Vgl. Ebenda, S.52.

<sup>165</sup> Vgl. zu diesem Abschnitt Vogel, 2015, S.70f.

<sup>166</sup> Vgl. Schröder, 2012, S.42.

<sup>167</sup> Vgl. Kühnapfel, 2015, S.209. und eigene Herleitung

neuen Zeitreihe haben. Auch die Höhe der Glättungsfaktoren, welche bei der Initialisierung der Prognose zu bestimmen ist, beeinflusst maßgeblich den Erfolg der Prognose. Zur Ermittlung der Startwerte ist zunächst die Berechnung der arithmetischen Mittel der Jahreswerte, d.h. der  $L$  Werte innerhalb eines Saisonzyklus, am Anfang des Beobachtungszeitraums erforderlich:

$$\bar{x}_j = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L x_{(j-1)L+i} \quad \text{mit } j = 1, 2, 3, \dots^{168} \quad [20]$$

Ein sehr simpler Ansatz, die Startwerte zu bestimmen sagt aus, dass für den Niveauparameter  $\hat{a}_0 = \bar{x}_1$ , d.h. der Mittelwert der ersten  $L$  Beobachtungswerte, für  $\hat{b}_0 = 0$  und für die Saisonparameter  $\hat{c}_{-L+i} = x_i / \bar{x}_1$  im multiplikativen, bzw.  $\hat{c}_{-L+i} = x_i - \bar{x}_1$  im additiven Modell, angenommen wird.<sup>169</sup>

Wird der Startwert für den Trendparameter allerdings bestimmt mit

$$\hat{b}_0 = \frac{\bar{x}_2 - \bar{x}_1}{L} \quad [21]$$

so lassen sich auch die Startwerte der anderen beiden Parameter verbessern:

$$\hat{a}_0 = \bar{x}_1 - \frac{L}{2} \hat{b}_0 \quad [22]$$

und für den Saisonparameter

$$\hat{c}_{-L+t} = \frac{L * \tilde{c}_t}{\sum_{t=1}^L \tilde{c}_t} \quad \text{mit } \tilde{c}_t = \frac{x_t}{\hat{a}_0 + t * \hat{b}_0} \quad (t = 1, 2, \dots, L) \quad [23]$$

im multiplikativen Modell bzw.

$$\hat{c}_{-L+t} = \frac{L * \tilde{c}_t}{\sum_{t=1}^L \tilde{c}_t} \quad \text{mit } \tilde{c}_t = x_t - (\hat{a}_0 + t * \hat{b}_0) \quad (t = 1, 2, \dots, L) \quad [24]$$

im additiven Modell.<sup>170</sup>

In der Literatur finden sich weitere Ansätze zur Ermittlung der Startwerte, die bspw. auf dem oben beschriebenen Ansatz aufbauen, jedoch mit einer breiteren Datenbasis arbeiten oder aber im Gegensatz dazu stehen, wie bspw. das Backcasting-Verfahren. Backcasting bezeichnet im englischen Sprachraum den Gegensatz zum Forecasting.

<sup>168</sup> Vgl. zu diesem Abschnitt und die Formel in Anlehnung an Schuhr, 2012, S.52.

<sup>169</sup> Vgl. Granger; Newbold, 1986, S.167

<sup>170</sup> Vgl. zu diesem Abschnitt und den Formeln in Anlehnung an Schuhr, 2012, S.54f.

Es sagt aus, dass eine Prognose der unbekannt, unabhängigen Variablen die möglicherweise vorhanden waren, die bereits bekannten Werte der abhängigen Variablen beschreiben kann.<sup>171</sup> Daraus lässt sich für diesen Fall ableiten, dass eine Betrachtung der existierenden Beobachtungswerte zur Ermittlung der unbekannt, vor dem Beobachtungszeitraum liegenden, Startwerte dienen kann. Es erfolgt dadurch eine Rückbetrachtung vom aktuellsten Beobachtungswert entgegen dem Zeitverlauf zurück in die Vergangenheit.<sup>172</sup>

Da nun bekannt ist, wie die Prognose initialisiert wird und wie sich die Schätzwerte ermitteln lassen, ist es möglich, anhand der in Formel 15 dargestellten Gleichung, die Prognose innerhalb des Beobachtungszeitraums vorzunehmen. Diese Gleichung dient auch zur Erstellung einer Vorhersage der neu generierten Prognosezeitreihe.<sup>173</sup>

Dabei werden, wie beim exponentiellen Glätten zweiter Ordnung, die zuletzt geschätzten Werte der jeweiligen Parameter als Basiswerte für die Vorhersagewerte im gesamten nächsten Zyklus verwendet, sodass die Vorhersagegleichung mit

$$\hat{x}_{T+i} = (\hat{a}_T + \hat{b}_T * i) * \hat{c}_{T-L+i} \text{ bzw. } \hat{x}_{T+i} = \hat{a}_T + \hat{b}_T * i + \hat{c}_{T-L+i} \quad [25]$$

gebildet wird:<sup>174</sup> Generell gilt, dass bevor die Extrapolation und somit die Vorhersage vorgenommen wird, muss zunächst ermittelt werden, ob die erstellte Prognosezeitreihe den tatsächlichen Verlauf und die Eigenschaften der zugrundeliegenden Zeitreihe genau abbildet.<sup>175</sup> Verschiedene Methoden zur Ermittlung dieser sog. Prognosegüte werden im folgenden Kapitel dargestellt.

---

<sup>171</sup> Vgl. „Backcasting“, 2014.

<sup>172</sup> Eigene Interpretation und Herleitung in Verbindung mit Schuhr, 2012, S.55f.

<sup>173</sup> Vgl. Vogel, 2015, S.73.

<sup>174</sup> Vgl. zu diesem Abschnitt und die Formel in Anlehnung an Vogel, 2015, S.73.

<sup>175</sup> Vgl. Schuhr, 2012, S.56f.

### 3.2.5 Beurteilung der Prognosegüte

Nachdem eine Prognose erstellt wurde erfolgt die Beurteilung der Prognosegüte, bevor schlussendlich eine Extrapolation durchgeführt werden kann. Da Prognosen im Allgemeinen als Entscheidungsgrundlage dienen, ist es essentiell zu wissen, ob das gewählte Prognoseverfahren die Verläufe wie Trends, aber vor allem Saisonalität, korrekt abbildet. Zu diesem Zweck werden in einer Ex-post-Betrachtung die Abweichungen der Prognosewerte zu den tatsächlichen vorliegenden Beobachtungswerten ermittelt.<sup>176</sup>

#### 3.2.5.1 Prognosefehler

Diese jeweiligen Abweichungen, der sog. Prognosefehler, wird mit  $e_t$  bezeichnet und dienen als Grundlage zur Analyse der Präzision und Güte von Prognoseverfahren. Ein Prognosefehler ist das Ergebnis der Differenz zwischen dem Prognosewert und dem realen Bedarfswert  $e_t = \hat{x}_t - x_t$ .

Basierend auf der Berechnung des Prognosefehlers  $e_t$  finden mehrere Verfahren bzw. Methoden in der Praxis Anwendung, die jeweils eine andere Aussage über die Vorhersagegenauigkeit und -güte liefern können.<sup>177</sup>

#### Mean-Absolute-Error (MAE)

Die Methode des Mean-Absolute-Error, auch als Mean-Absolute-Deviation (MAD) bezeichnet, ist die mittlere absolute Abweichung. Zur Berechnung wird das arithmetische Mittel der Beträge aller aufgetretenen Abweichungen ermittelt.

$$MAE = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T |\hat{x}_t - x_t| \quad [26]$$

Diese Methode kann in erster Linie dazu verwendet werden, mit Hilfe der durchschnittlichen Prognosefehler unterschiedliche Prognoseverfahren miteinander zu vergleichen, um so das genaueste dieser Verfahren auswählen zu können.<sup>178</sup>

Ein „MAE=0 [kann] als perfekte Prognose interpretiert werden [...], d.h. der prognostizierte Wert entspricht für jede Periode t exakt dem tatsächlich eingetretenen Wert.“<sup>179</sup>

---

<sup>176</sup> Vgl. Vogel, 2015, S.15.

<sup>177</sup> Vgl. zu diesem Abschnitt und die Formel in Anlehnung an Schuh; Schmidt; Bauhoff, 2014, S.86.

<sup>178</sup> Vgl. zu diesem Abschnitt und die Formel in Anlehnung an Schuh; Schmidt; Bauhoff, 2014, S.87.

<sup>179</sup> Barrot, 2009, S.549.

### Mean-Squared-Error (MSE)

Bei der Methode des Mean-Squared-Error, dem durchschnittlichen quadratischen Fehler, erfolgt die Berechnung des Mittelwertes der quadrierten Prognosefehler.

$$MSE = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (\hat{x}_t - x_t)^2 \quad [27]$$

Die Quadrierung ermöglicht hierbei, dass große Abweichungen vom tatsächlichen Beobachtungswert, im Vergleich zu kleineren, in der Praxis meist weniger relevanten Abweichungen, überproportional hoch gewichtet und berücksichtigt werden.<sup>181</sup> Diese Tatsache hilft bei der Ermittlung, ob das untersuchte Prognoseverfahren besonders extreme Fehler produziert/ prognostiziert. Dies ist hingegen beim MAE/ MAD nicht zu erkennen.<sup>182</sup>

### Root Mean Squared Error (RMSE)

Aufbauend auf dem MSE lässt sich logischerweise die Quadratwurzel der mittleren quadratischen Abweichung ziehen, um lediglich eine mittlere Abweichung zu erhalten.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (\hat{x}_t - x_t)^2} = \sqrt{MSE} \quad [28]$$

Auch der RMSE gibt dadurch an, wie gut die Prognose den Verlauf vorliegende Beobachtungswerte wiedergibt, bzw. wie stark die Prognose im Durchschnitt von diesen tatsächlichen Werten abweicht.<sup>184</sup>

### Mean-Absolute-Percentage-Error (MAPE)

„Der Mean Percentage Error (MPE) gibt die durchschnittliche relative Abweichung des prognostizierten vom tatsächlich eingetretenen Wert an.“<sup>185</sup>

Im Unterschied zu den zum ME und MAE ist der MPE dimensionslos, d.h. es können Prognosefehler unterschiedlicher Größenordnung verglichen werden.<sup>186</sup>

---

<sup>180</sup> Vgl. Schuh; Schmidt; Bauhoff, 2014, S.87.

<sup>181</sup> Vgl. Barrot, 2009, S.550.

<sup>182</sup> Vgl. Küsters, 2012, S.432.

<sup>183</sup> In Anlehnung an Barrot, 2009, S.549.

<sup>184</sup> Vgl. „Root Mean Squared Error“, 2015.

<sup>185</sup> Barrot, 2009, S.549.

<sup>186</sup> Vgl., auch die Formel in Anlehnung an, ebenda, S.549.

$$MPE = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \frac{(\hat{x}_t - x_t)}{x_t} \quad [29]$$

Der Mean-Absolute-Percentage-Error, die durchschnittliche absolute prozentuale Abweichung, ist eine Verbindung des MAE und des MPE und vereint dabei die Vorteile beider Methoden.<sup>187</sup> Aus der Kombination des MPE mit dem MAE ergibt sich die unten stehende Formel zur Errechnung des MAPE.

$$MAPE = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \left| \frac{\hat{x}_t - x_t}{x_t} \right| * 100\% \quad [30]$$

So ist der MAPE eindeutig interpretierbar (vgl. MAE) und dabei gleichzeitig dimensionslos (vgl. MPE). Der ermittelte prozentuale Wert ermöglicht eine gute Interpretation, bzw. dient als Indikator für das Verhältnis von Prognose zur tatsächlichen Beobachtung.<sup>188</sup>

### **Median Absolute Percentage Error (MdAPE)**

Die zuvor beschriebenen Methoden zur Ermittlung der Prognosegüte beruhen alle auf der Ermittlung des Mittelwertes der Prognosefehler. Zur Analyse von Datenreihen sind in der Statistik jedoch weitere Mittel vorhanden. Bspw. der Median, der bei der Methode des MdAPE, dem Median der absoluten prozentualen Abweichung (Absolute Percentage Error - APE), Anwendung findet.

$$\text{Median des APE} = \left| \frac{\hat{x}_t - x_t}{x_t} \right| \times 100\%, \text{ mit } t = 1, 2, \dots, T^{189} \quad [31]$$

Die APE werden der Größe nach geordnet, wobei der MdAPE dann, bei einer ungeraden Anzahl von APE genau der mittlere Wert dieser Datenverteilung ist. Bei einer geraden Anzahl von APE ist dementsprechend der Mittelwert der beiden in der Mitte liegenden Werte der Datenverteilung.<sup>190</sup> Der Vorteil der Ermittlung des Median ist die Absicherung gegen die Berücksichtigung von statistischen Ausreißern, die Mittelwerte teilweise signifikant verzerren können.<sup>191</sup>

---

<sup>187</sup> Vgl. Barrot, 2009, S.549 in Verbindung mit Schuh; Schmidt; Bauhoff, 2014 S.87.

<sup>188</sup> Vgl. Barrot, 2009, S.549 in Verbindung mit Schuh; Schmidt; Bauhoff, 2014, S.87.

<sup>189</sup> Vgl. zu diesem Abschnitt und die Formel n Anlehnung an Hyndman; Koehler, 2006, S.682ff.

<sup>190</sup> Vgl. „Median“, 2015.

<sup>191</sup> Vgl. Barrot, 2009, S.550.

### 3.2.5.2 Interpretation der Prognosefehler

Die innerhalb des Kapitels 3.2.5.1 beschriebenen Methoden und Verfahren zur Bemessung der Prognosegüte liefern Ergebnisse, deren Interpretation zur Einordnung der Brauchbarkeit und Anwendbarkeit des untersuchten Prognoseverfahrens auf die vorliegende Zeitreihe dienen. Es bedarf dabei der Anmerkung, dass diese Verfahren immer in Beziehung zu den Eigenschaften der vorliegenden Datenreihe zu stellen sind, da kein pauschales, stets gültiges Urteil über die Aussage eines bestimmten Wertes gefällt werden kann. Der MSE fällt aufgrund der Quadrierung in der Regel relativ hoch aus, sodass durch den RMSE den Vergleich mit der Größenordnung der vorhandenen Daten vereinfacht. Daher ist der RMSE eines der in der Praxis am meisten verwendeten Gütemaße.<sup>192</sup> Die Prognosegenauigkeit durch Interpretation des MAPE wird in der Literatur so gestaffelt, dass ein  $\text{MAPE} < 10\%$  eine sehr gute Prognose, ein  $\text{MAPE} > 30\%$  eine möglicherweise ungenaue Prognose und  $10\% < \text{MAPE} < 30\%$  eine brauchbare Prognose indiziert. Im Allgemeinen ist die Interpretation aber stets vom Kontext, der Art der Durchschnittsbildung und dem Prognosehorizont abhängig.<sup>193</sup>

Die ermittelten Prognosefehler dienen auch dazu, dass angewandte Prognoseverfahren zu verbessern bzw. zu optimieren, in dem durch Veränderung der Glättungsfaktoren eine Minimierung eines ausgewählten Prognosefehlers vorgenommen wird. In der Regel wird zur Prognoseoptimierung eine Minimierung des MSE empfohlen.<sup>194</sup> Wenn dadurch das Prognoseverfahren zufriedenstellend optimiert, d.h. der jeweilige Prognosefehler auf ein entsprechend ausreichendes Minimum gesenkt werden konnte, kann die Extrapolation, anhand der in Kapitel 3.2.4 beschriebenen Methoden, zur Erstellung einer Vorhersage vorgenommen werden.

---

<sup>192</sup> Vgl. Barrot, 2009, S.550.

<sup>193</sup> Vgl. Küsters, 2012, S. 436.

<sup>194</sup> Vgl. Alicke, 2005, S. 43.

### 3.3 Anpassungen der operativen Produktionsprogrammplanung

Im Zuge der operativen Produktionsplanung und -steuerung kann dann, aufbauend auf der im Rahmen der durch Prognoseverfahren ermittelten Vorhersage, die Produktionsplanung optimiert und an die saisonalen Schwankungen angepasst werden. Dieses erfolgt mittelfristig durch die Beschäftigungsglättung in Form einer aggregierten Gesamtplanung und darauf aufbauend kurzfristig durch die kapazitierte Hauptproduktionsprogrammplanung.<sup>195</sup>

#### 3.3.1 Aggregierte Gesamtplanung

Die aggregierte Gesamtplanung bzw. Beschäftigungsglättung schließt das Produktionsprogramm sowie die zugehörigen Produktionsstätten der Unternehmung und somit auch die korrelativen logistischen Verknüpfungen ein. Die mittelfristige funktions- und standortübergreifende Koordination der erlös- und kostenwirksamen Entscheidungen in Übereinstimmung mit den Unternehmenszielen ist dabei als Hauptaufgabe der aggregierten Gesamtplanung zu nennen. Dies erfordert sowohl die Berücksichtigung prognostizierter Umweltentwicklungen, langfristiger Trends und Schwankungen konjunktureller Natur, als auch den Ausgleich saisonaler Beschäftigungsschwankungen.<sup>196</sup> Dies soll durch die Glättung der Ressourcenauslastung, bspw. durch die Regelung saisonbedingter Sonder- und Freischichten, Kurzarbeit, den Einsatz von Überstunden oder die Auftragsvergabe an Dritte bzw. externe Lieferanten erfolgen.<sup>197</sup> Dabei ist zu beachten, dass eine solche ausgeglichene Belastung der Kapazitätsbelastung bei schwankender Nachfrage stets mit dem Auf- und Abbau von Lagerbeständen einhergeht. Erwähnenswert ist, dass nicht Produktarten die Planungsobjekte der aggregierten Gesamtplanung sind, sondern aggregierte Produkttypen. Produkttypen sind eine Menge von Produkten mit ähnlichen Produktionsprozessen, Kosten- und Nachfragestrukturen sowie aggregierte Betriebseinheiten, welche Gruppen von Arbeitssystemen beschreiben.<sup>198</sup>

Das Ergebnis der aggregierten Gesamtplanung beinhaltet sowohl die Produktionsstätten bezogene Produktionsvorgaben für die Produkttypen, als auch einen Ausblick über die vermuteten Transportströme zwischen den individuellen Produktionsstandorten.

---

<sup>195</sup> Vgl. Günther; Tempelmeier, 2014, S. 128.

<sup>196</sup> Vgl. zu diesem Abschnitt Günther; Tempelmeier, 2014, S. 137.

<sup>197</sup> Vgl. Günther; Tempelmeier, 2014, S. 137f.

<sup>198</sup> Vgl. ebenda, S. 138.



Daraus lässt sich zum einen die Bereitstellung der nötigen logistischen Kapazität ableiten, zum anderen ergeben sich Informationen darüber, in welchem Maß die zeitweilige Anpassung der Produktionskapazitäten erforderlich ist. Zusätzlich kann bestimmt werden, ob, und in welchem Ausmaß, zusätzliche Lagerkapazität für den Aufbau saisonal bedingter Bestände zur Verfügung gestellt werden muss.<sup>199</sup> Anhand der zeitlichen Abstimmung zwischen Nachfrage- und Produktionsmenge lässt sich als Ergebnis zwischen zwei Formen der Planungsüberlegungen unterscheiden.

### Synchronisation

Bei der Synchronisation sind Produktions- und Nachfragemenge in einer Periode identisch. Es werden die Auftragseingänge abgewartet und erst dann, zur Auftragserfüllung, darauf reagiert. Dies ist nur dann möglich, wenn die Produktionskapazität, sowohl im technischen als auch im personellen Sinne, ausreicht um die maximale Periodennachfrage decken zu können. Dieses reaktive Verhalten bedeutet zugleich, dass die Produktionsressourcen mit schwankender Auslastung und Intensität nur sehr unregelmäßig zum Einsatz kommen. Der Nachteil dieser Form der Planung ist die mögliche Erhöhung der variablen Produktionskosten, bspw. in Form von erhöhtem Verschleiß der Produktionsanlagen oder erhöhtem Ausschuss. Vorteilhaft ist dem gegenüberzustellen, dass in dieser Planung keine Lagerkosten, weder durch Kapitalbindung noch durch abrufbaren disponiblen Lagerraum, anfallen.

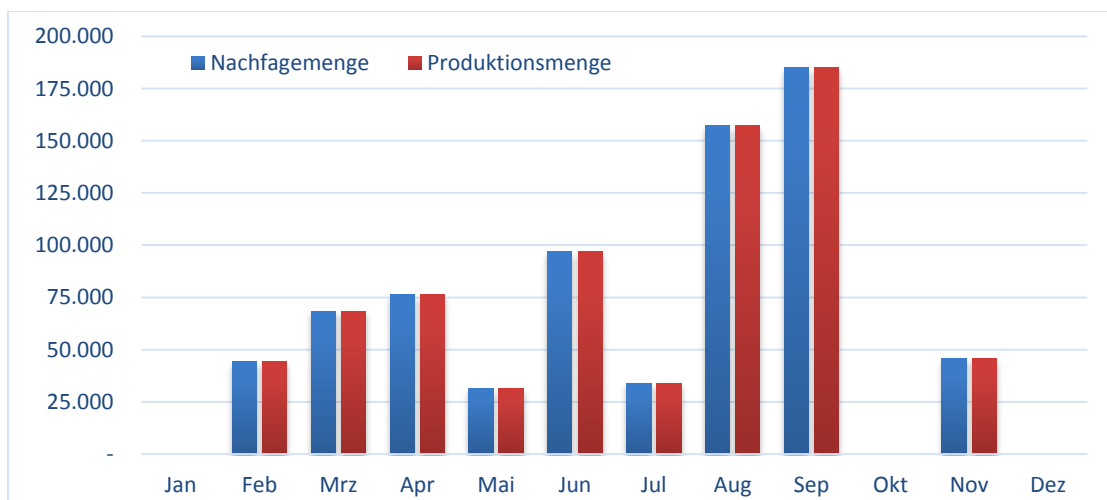


Abb. 9 – Anpassung der Produktion durch Synchronisation<sup>200</sup>

<sup>199</sup> Vgl. Günther; Tempelmeier, 2014, S.138.

<sup>200</sup> Vgl. zu diesem Abschnitt und die Abbildung in Anlehnung an ebenda, 2014, S. 139.

## Emanzipation

Bei der Emanzipation erfolgt keine Reaktion auf die jeweilige Periodennachfrage. Vielmehr bleibt die Produktionsmenge jeder Periode über den gesamten Planungszeitraum konstant, was bei schwankenden Nachfragemengen unweigerlich zum Auf- und Abbau von Lagebeständen führt. Demgegenüber lassen sich dadurch Schwankungen in der Auslastung der Ressourcen vermeiden und eine Produktion bei gleichmäßig optimaler Intensität erreichen. Andererseits müssen die entstehenden Lagerkosten, zum einen durch Kapitalbindungskosten, als auch durch Folgekosten durch schwankenden Lagerraumbedarf je nach Periodennachfrage sowie etwaige Lieferengpässe mit einhergehender Verspätung bei der Auftragserfüllung, akzeptiert werden. Die in jeder Periode konstante Produktionsmenge im Vergleich zur tatsächlichen Nachfragemenge ist in Abbildung 10 dargestellt.

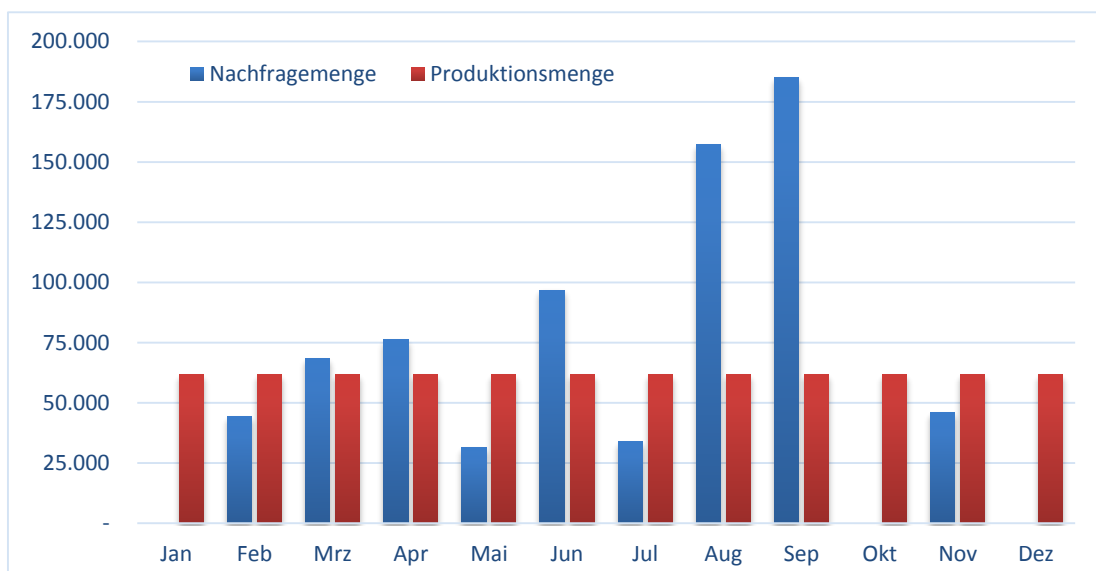


Abb. 9 – Anpassung der Produktion durch Emanzipation<sup>201</sup>

Die Auswahl von einem, oder die Anwendung einer Zwischenform dieser beiden Planungsansätze führt zu einem Entscheidungsproblem innerhalb der aggregierten Gesamtplanung. Zu dessen Lösung können verschiedene quantitative Lösungsmodelle, wie bspw. das Verfahren der linearen Optimierung, eingesetzt werden.<sup>202</sup> Eine anschauliche Darstellung dazu findet sich in Günther; Tempelmeier, 2014, S. 140ff.

<sup>201</sup> In Anlehnung an Günther; Tempelmeier, 2014, S. 138.

<sup>202</sup> Vgl. ebenda, S.140.

### 3.3.2 Kapazitierte Hauptproduktionsprogrammplanung

Im Anschluss an die Beschäftigungsglättung erfasst die Hauptproduktionsprogrammplanung „als zentrales Planungsmodul alle Produktionssegmente innerhalb einer Produktionsstätte mit ihren Haupterzeugnissen und ihren aggregierten Kapazitätsbeanspruchungen.“<sup>203</sup> Zu den zwei Hauptaufgaben gehören zum einen, für einen mehrperiodigen Zeitraum die entsprechenden dezentralen Produktionsprogramme aufzustellen. Zum anderen die Koordination der Produktionsprogramme, über die individuellen Produktionssegmente hinweg, durchzuführen.<sup>204</sup>

Sobald das Produktionsprogramm aufgestellt wird, muss eine Abstimmung der zu produzierenden Mengen mit den bereits vorhandenen Kapazitäten erfolgen. Mögliche Engpassbereiche und -faktoren müssen früh genug erkannt und veranschaulicht werden, sodass die erforderlichen Maßnahmen zur Anpassung eingeleitet werden können. Dabei kann entweder die Belastung an die Kapazität, z.B. mit Hilfe von Vorausproduktion und dem Aufbau von Lagerbeständen, oder die Kapazität an die Belastung, bspw. durch Überstunden, angepasst werden.<sup>205</sup>

Die Funktion der Koordination der Produktionsprogramme bezieht sich sowohl auf die horizontale, als auch die vertikale Abstimmung. Die horizontale Abstimmung erfolgt zwischen den verschiedenen Produktionssegmenten auf der gleichen Ebene. Die vertikale Abstimmung findet zwischen den unterschiedlichen Stufen des Produktionsprozesses statt. Dabei muss insbesondere die leistungsmäßige Verknüpfung der Produktionssegmente beachtet werden, sodass bspw. eventuell auftretende Kapazitätsengpässe bei der Produktion der Vorerzeugnisse auch bei der Aufstellung des Produktionsprogramms des, diese Vorerzeugnisse verwendenden, Endprodukts berücksichtigt werden.<sup>206</sup>

Des Weiteren geht die Hauptproduktionsprogrammplanung, anders als bei der Beschäftigungsglättung, von kurzfristigen Nachfrageprognosen und bereits bestehenden Kundenaufträgen aus und berücksichtigt zudem die produktbezogene Lagerbestandsentwicklung.

---

<sup>203</sup> Günther; Tempelmeier, 2014, S.146.

<sup>204</sup> Vgl. ebenda S.146

<sup>205</sup> Vgl. zu diesem Abschnitt Günther; Tempelmeier, 2014, S.146.

<sup>206</sup> Vgl. ebenda, S.146f.

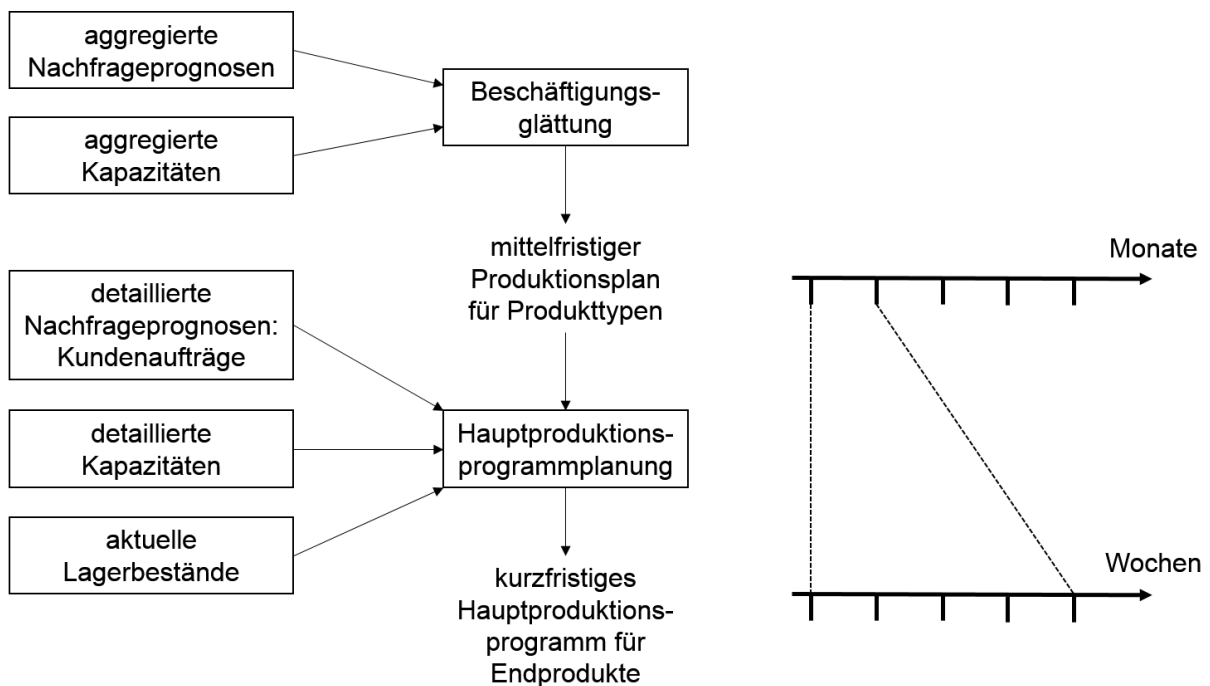


Abb. 10 – Zusammenhang zwischen Kapitel 3.1.1 und 3.1.2 <sup>207</sup>

Als allgemeines Ziel der Hauptproduktionsprogrammplanung lässt sich „die Minimierung der relevanten Produktions-, Lager- und ressourcenabhängigen Kosten unter der Nebenbedingung einer termingerechten Erreichung der Produktionsziele“ festhalten. D.h., dass Kundenaufträge termingerecht erfüllt werden und, um Produktionsstillstände zu vermeiden, Produktionsfaktoren rechtzeitig für die weitere Verwendung in der nachfolgenden Produktionsstufe bereitgestellt werden müssen. Dabei ist zudem darauf zu achten, dass die Vorgaben aus der Planung der Beschäftigungsglättung, beispielsweise in Form einer Nebenbedingung, in der Hauptproduktionsprogrammplanung berücksichtigt werden.<sup>208</sup> Die Terminologie deutet schon darauf hin, dass auch hier methodische Hilfsmittel, wie die lineare Optimierung, zur Durchführung und Verbesserung der Planung, bzw. als Grundlage zur Entscheidungsfindung genutzt werden. [Ein Beispiel dafür ist in Günther; Tempelmeier, 2014, S.147ff. zu finden.]

<sup>207</sup> In Anlehnung an Günther; Tempelmeier, 2014, 2014, S. 146.

<sup>208</sup> Vgl. zu diesem Abschnitt ebenda, S.147.

### 3.4 Schlussfolgerung

Auf der Basis von Zeitreihenanalysen lassen sich Prognoseverfahren durchführen, die Schätzwerte zur Erstellung einer Prognose liefern. Diese Prognose kann mit Hilfe der Optimierung verschiedener Maßeinheiten zur Interpretation der Prognosegüte derart angepasst werden, dass sie sich zur Erstellung einer Vorhersage von Zukunftsdaten durch die Zeitreihenextrapolation eignet. Diese Zukunftsdaten fließen dann in die PPS, bzw. in die operative Produktionsplanung ein und bilden die Grundlage für mittelfristige und kurzfristige Methoden zur optimierten Anpassung der Produktionsprogrammplanung. Die dadurch verbessert gestaltete und an schwankende Bedarfe angepasste Planung fließt in die Entscheidungen über Lagerhaltungspolitiken ein, bei denen die Ergebnisse der Zeitreihenanalyse, insbesondere die Ermittlung periodisch auftretender Schwankungen, vor allem für die Bestimmung des Sicherheitsbestands von großer Relevanz sind. Somit dienen Prognoseverfahren der tiefgehenden Analyse von Zeitreihen und liefern Ergebnisse, die bei der Planung des Produktionsprogramms und der Entscheidung über Lagerhaltungspolitiken sowie die Definition von Sicherheitsbeständen hilfreich einfließen.

## 4 Anwendung passender Prognoseverfahren

Im folgenden Kapitel soll nun das in Kapitel 3.2.4 dargestellte Prognoseverfahren nach Holt-Winters angewendet werden. Innerhalb der Anwendung soll zudem auf Möglichkeiten zur Optimierung dieses Verfahrens sowie auf die Auswirkungen der Wahl des Initialisierungsverfahrens zur Ermittlung der Startwerte für das Holt-Winters-Verfahren eingegangen werden. Es erfolgt innerhalb des Kapitels lediglich die Darstellung der Ergebnisse und deren Interpretation. Die Berechnungen und die einzelnen Schritte der Vorgehensweise sind anhand der jeweiligen Verweise unter dem betreffenden Kunden im Anhang zu finden.

Die Anwendung erfolgt auf der Basis der Umsatzdaten eines mittelständischen Unternehmens, das zunächst kurz dargestellt werden soll.

Bei dem ausgewählten Unternehmen handelt es sich um den Anbieter hochwertiger, luxuriöser Fischprodukte und Meeresfrüchte, die in einer Manufaktur, als einzigem Produktionsstandort, in Norddeutschland durch die Weiterverarbeitung und qualitative Transformation der unverarbeiteten Vorprodukte hergestellt werden. Sowohl die Vor-,

als auch die Endprodukte sind ohne Qualitätsverlust tiefgekühlt lagerfähig. Die Lagerung erfolgt in einer angemieteten Lagerhalle, die unabhängig vom Produktionsstandort jedoch in unmittelbarer Nähe liegt und eine Anbindung zur Autobahn bietet. Mit diesen Produkten bedient das Unternehmen eine Vielzahl von Kunden und Kundengruppen aus den Bereichen Kreuzfahrt, Luftfahrt, Gastronomie und Großhändler, wobei sich ein großer Teil des Umsatzes auf einige wenige A-Kunden verteilt. Das Unternehmen bietet dabei eine große Vielfalt an Produkten und Produktvarianten an, um die zwischen den Kundengruppen teilweise sehr variierende Nachfrage und Präferenzen bedienen und abdecken zu können. Zu diesen Produkten gehören verschieden garte Varianten von Fischen, wie Räucherlachs, Thunfisch, und Matjes sowie besonders weiterverarbeitete Produkte wie Fischpralinen. Des Weiteren bietet das Unternehmen verschieden Arten von Meeresfrüchten, wie Garnelen, oder auch Seegras an. Diese richten sich neben den kommerziellen Kunden auch direkt an private Endverbraucher, welche die genannten Produkte bspw. über Onlineversandhäuser oder Direktbestellung nachfragen können. Dennoch ist für alle Kundengruppen gleich, dass die Produkte, egal welcher Produktgruppe oder -variante, tiefgekühlt versandt werden. In diesem Kapitel erfolgt nun eine Umsatzanalyse und -prognose zwei der genannten Großkunden.

## 4.1 Kunde 1

Der erste Kunde, im folgenden Kunde 1 genannt, der eine Analyse der Umsatzzahlen unterzogen wird und für dessen zukünftige Nachfrage eine Prognose erstellt wird, ist ein Großhändler im europäischen Ausland und langjähriger Kunde des Unternehmens. Anhand der in Kapitel in 3.2 angeführten Reihenfolge zur Durchführung einer Prognose erfolgt zunächst die Visualisierung der in einer Zeitreihe vorhandenen Vergangenheitsdaten<sup>209</sup>, die in diesem Fall die Jahre 2007 bis 2014 umfassen. Ergänzend ist zu erwähnen, dass dieser Zeitraum eine sehr gute Grundlage zur Erstellung einer Prognose bietet. Allerdings werden bei der Prognoseerstellung lediglich die Daten von 2009 bis 2014 berücksichtigt (Begründung vgl. Anhang Kapitel 1.1.1). Die in Abbildung 12 dargestellte Visualisierung zeigt eindeutig einen saisonalen Verlauf der Nachfrage.

---

<sup>209</sup> siehe Anhang Tabelle 7.

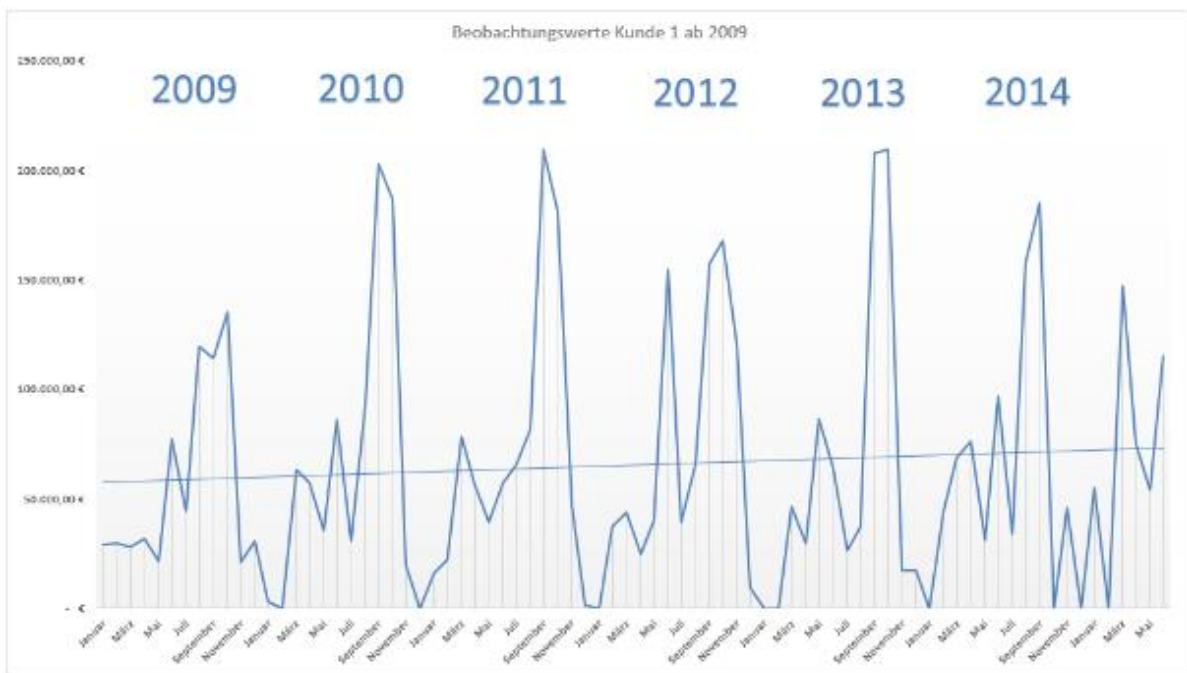


Abb. 11 – Visualisierung Zeitreihe Kunde 1 ab 2009

Wiederholt lässt sich im letzten Quartal der vergangenen Jahre eine Amplitude feststellen, die vor dem Dezember signifikant über den Jahresmittelwert ausschlägt. Diese Hochsaison lässt sich durch die erhöhte Nachfrage der Produkte in der Advents- und Weihnachtszeit begründen und tritt aufgrund der Produktions- und Lieferzeiten als Nachfrage einige Monate früher beim Produzenten auf. Zudem lässt sich ein weiterer, weniger signifikanter, Saisonzyklus im Frühjahr um die Monate Mai und Juni erkennen. Des Weiteren ist ein leicht ansteigender Trend zu erahnen, der durch die Ermittlung und Visualisierung einer Trendlinie bestätigt wird, die jedoch nur eine sehr geringe Steigung hat. Wichtig zu erwähnen ist die zu erkennende Verschiebung der Saisonperioden um einen Monat nach vorne (vorher September und Oktober) im Jahr 2014, die ebenso auf Verhandlungen mit dem Kunden und der Möglichkeit zur früheren Lieferung der Saisonprodukte zurückzuführen ist, wie der zu erkennende leichte Rückgang der Nachfrage.<sup>210</sup> Im Anhang erfolgt auf Basis der in Kapitel 1.1.1 dargestellten Visualisierung im Kapitel 1.1.2 die Schätzung des Modells nach dem Holt-Winter-Verfahren. Dort finden die in Kapitel 3.2.4 beschriebenen unterschiedlichen Möglichkeiten zur Initialisierung in zwei Vorgehensweisen Anwendung.

<sup>210</sup> Information aus Gesprächen mit dem Vertriebsleiter des Unternehmens.

### 4.1.1 Deutung der Ergebnisse

An dieser Stelle werden nun lediglich die Vorhersageergebnisse der zweiten Vorgehensweise bewertet. Im Anhang findet sich zum einen unter Kapitel 1.1.3 die zugehörige Begründung, zum anderen unter Kapitel 1.1.2 die entsprechenden Berechnungen. Die im Anhang in Tabelle 3 bzw. Tabelle 4 und visualisiert in Abbildung 19 zu findenden Vorhersagen berücksichtigen die oben angesprochene Verschiebung der Hochsaisonperioden sowie den leichten Nachfragerückgang. Allerdings ist dabei zu beachten, dass die Berechnung der Vorhersage auf Basis eines negativen Trendparameters in der Periode  $T$  erfolgt, welcher durch die Multiplikation mit dem Vorhersageperiodenindikator  $i$  im Verlauf der Vorhersage stetig stärker gewichtet wird. Daher ist es denkbar, dass die Vorhersagen für die besonders relevanten Perioden der Hochsaison mit 180.358,92 € (Periode  $T+2$ , August) bzw. 172.855,01 € (Periode  $T+3$ , September) etwas zu niedrig ausfallen.<sup>211</sup> Dem Unternehmen wird daher empfohlen, diese nach einem quantitativen Verfahren ermittelte Vorhersage, zusätzlich ein qualitatives Verfahren, wie eine Bewertung eines Experten, bspw. des den Kunden betreuenden Mitarbeiters im Vertrieb, in die Bewertung dieser Vorhersage einfließen zu lassen. Dadurch sollte ein Ergebnis erzielt werden können, das einen sehr realitätsnahen, qualifizierten Vorhersagewert darstellt und so in die konkrete operative Produktionsplanung einfließen kann. Dabei bietet sich eine Anpassung der Produktion nach der Methode der Emanzipation an, da die Produkte lange lagerfähig sind und sich der Kunde zu einer früheren Abnahme bereits gefertigter Produkte und anschließender eigenständiger Lagerung bereit erklärt hat. So lassen sich bei relativ geringen Kapitalbindungskosten die Schwankungen in der Nachfrage decken und es wird ein ausgeglichener Produktionsprozess erreicht, der vor bzw. zwischen der Vorsaison im Mai/Juni und der Hochsaison im August bis Oktober die Vorproduktion der erhöhten Nachfrage vornimmt. Abschließend lässt sich konkludieren, dass das gewählte Prognoseverfahren eine hochwertige Vorhersage liefert, deren Schätzwerte zur weiteren Verwendung gut geeignet sind.

---

<sup>211</sup> Vgl. zu den Werten Tabelle 4



## 4.2 Kunde 2

Die Vergangenheitsdaten des als zweites zu analysierenden Kunden, Kunde 2, setzen sich aus den Umsätzen mehrerer Einzelkunden zusammen, die unter einer Kundengruppe zusammengefasst wurden. Diese Kundengruppe ist ein Unternehmen, welches sich dem Bereich Cateringservice für Fluggesellschaften zuordnen lässt. Die Auswahl dieser Kundengruppe erfolgte auf eingehenden Wunsch des Unternehmens, da die Problematik schwankender Nachfragemengen bei dieser Kundengruppe enorm ist. Allerdings ist der Kunde 2 einer der am meisten Umsatz generierenden Kunden des Unternehmens.

Analog zum Kunden 1 finden sich im Zuge der Zeitreihenanalyse der Vergangenheitsdaten des Kunden 2 die Berechnung und Interpretationen im Anhang, unter Kapitel 1.2. Die Visualisierung ist an dieser Stelle in Abbildung 13 zu sehen.

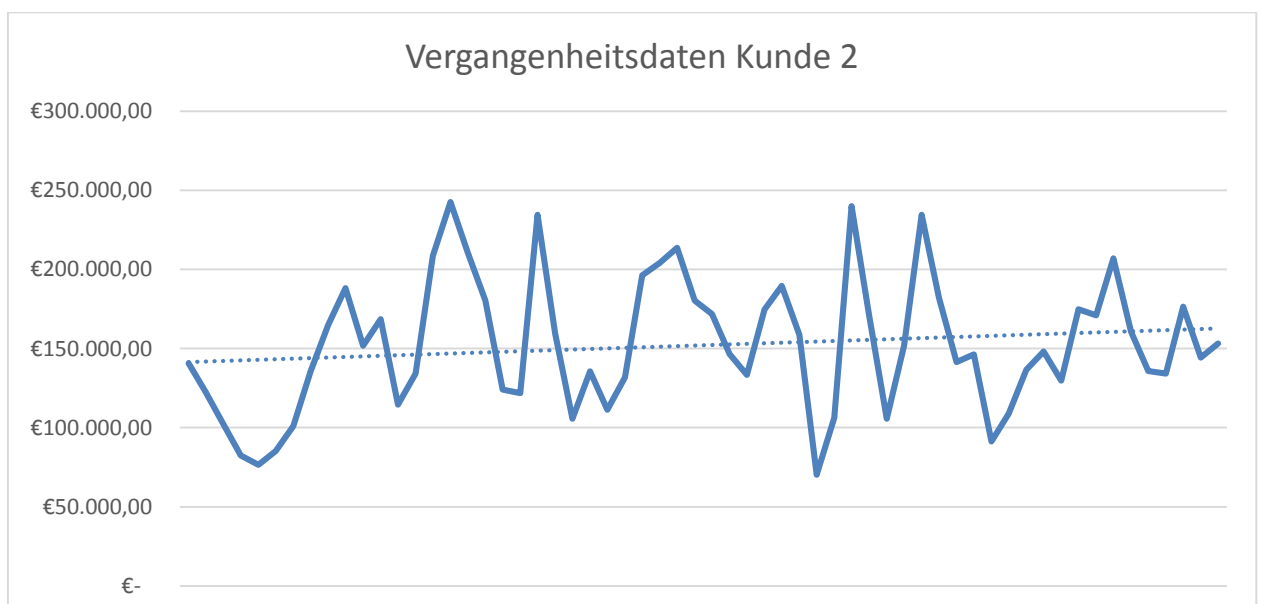


Abb. 12 – Beobachtungswerte Kunde 2

Als Ergebnis lässt sich bereits zu Beginn des Analyseprozesses feststellen, dass die Zeitreihe keinen durch saisonale Schwankungen beeinflussten Verlauf aufweist. Die hier die auftretenden Schwankungen haben vielmehr einen willkürlich erscheinenden, periodisch nicht wiederkehrenden Charakter. Trotz allem wurde das Holt-Winters-Verfahren zur Erstellung einer Vorhersage angewendet, um das Fehlen der Saisonalität zu verdeutlichen. Daher sind die ermittelten Vorhersagewerte hinfällig und auf keinen Fall zur weiteren Verwendung bezüglich Verbesserungen bzw. Anpassungen im Zuge der operativen Produktionsprogrammplanung geeignet.

Aufgrund der nicht saisonalen Schwankungen und teilweise chaotischen Verläufe der Zeitreihe, wird eine tiefergehende Analyse der vorhandenen Vergangenheitsdaten im Rahmen dieser Arbeit nicht durchgeführt. Es soll dennoch ein Vorschlag zur weiteren Behandlung mit dieser Problematik gemacht werden.

#### **4.2.1 Deutung der Ergebnisse**

Die Umsätze der gesamten Kundengruppe setzen sich aus mehreren Produkten zusammen. Eine genauere Analyse ergibt, dass sechs Produkte einen Großteil des Umsatzes ausmachen und in der Regel zugleich einen hohen Deckungsbeitrag I und II erzielen. Es ist daher sinnvoll, diese umsatzstarken Produkte individuell zu betrachten und einer Zeitreihenanalyse zu unterziehen, um geringstenfalls einen bedeutenden Teil der Produkte dieser Kundengruppe möglicherweise vorhersagen zu können. Im Idealfall lässt sich ein saisonal schwankender Verlauf bei einigen der Produkte ermitteln, sodass eines der beschriebenen Verfahren Anwendung finden kann und eine geeignete Vorhersage - zumindest für einige Produktgruppen - möglich ist. In jedem Fall sollten die deckungsbeitragsstarken Produkte gesondert betrachtet und geplant werden. Es ist dabei empfehlenswert, für diese Produkte einen vergleichsweise hohen Sicherheitsbestand zu wählen, um jederzeit die schwankende Nachfrage bedienen zu können. Allerdings ist dieses nur unter der Prämisse möglich, die dabei anfallenden Kapitalbindungskosten zu akzeptieren und decken zu können. Auch hier sollte zusätzlich die Erfahrung und Meinung des, den Kunden betreuenden, Vertriebsmitarbeiters einfließen, zumal das quantitative Verfahren in diesem Fall initial kein geeignetes Ergebnis liefern konnte.

Eine weitere Möglichkeit um die vorliegende Zeitreihe zu analysieren, bietet das Verfahren der Zeitreihendekomposition. Dabei werden durch exponentielles Glätten erster Ordnung oder durch die Methode der Kleinsten Quadrate die einzelnen Komponenten, wie die glatte Komponente  $G$  oder die Saisonkomponente  $S$  (vgl. Kapitel 3.1.1), der Zeitreihe ermittelt. Mit Hilfe dieser Werte lässt sich die Zeitreihe bereinigen und im Normalfall eine saisonale Schwankung verdeutlicht werden. In diesem Fall könnte die Zeitreihenzerlegung dazu genutzt werden, die irreguläre Komponente  $I$  zu ermitteln,

um festzustellen, welchen Anteil diese Komponente an dem Ausschlag der Schwankungen hat. Im Rahmen dieser Arbeit, mit dem Ziel der Analyse saisonaler Schwankungen, bleibt es aber lediglich bei der Erwähnung dieser Möglichkeit.

## 5 Fazit

Unternehmen, die in einem Umfeld mit stark schwankenden Nachfragen agieren, stellen sich der Herausforderung, ihre Produktionsprogramme so an diese Schwankungen anzupassen, dass sie in der Lage sind unter Einhaltung wirtschaftlicher Größen und Zielsetzungen die Nachfrage decken zu können. Durch Beobachtung des Umfelds können in der strategischen Produktionsplanung bereits frühzeitig Trends erkannt werden. In der operativen Produktionsplanung erfolgt die Anpassung der Produktion an kurzfristig auftretende Schwankungen. Zu diesem Zweck werden mit Hilfe von Prognoseverfahren Vorhersagen erstellt, um diese Schwankungen bestmöglich prognostizieren zu können. Diese Vorhersagen fließen in die Produktionsprogrammplanung mit ein, die, durch Vorgaben über Produktionszeitpunkte, die Entscheidungen der Lagerhaltung beeinflussen.

Hier wird auf Basis verschiedener Lagerhaltungspolitiken festgelegt, wann und in welcher Menge die nötigen Bestellungen ausgelöst werden. Zudem wird die Höhe des Sicherheitsbestands festgelegt, der Unsicherheiten in der Planung, zum Beispiel durch unpräzise Vorhersagen, abdeckt und so sicherstellt, dass trotz Unsicherheiten eine kontinuierliche Produktion möglich ist.

Um die Einflüsse des Marktes, vor allem die saisonal schwankende Nachfrage, in der Planung der Produktionsprogramme berücksichtigen zu können, bedürfen Unternehmen der korrekten Anwendung geeigneter Prognoseverfahren.

Dabei ist insbesondere die Wahl des richtigen Verfahrens zwingend erforderlich. Es kann dabei die Wahl eines qualitativen oder quantitativen Verfahrens erfolgen. Die Darstellung der quantitativen Verfahren innerhalb des Komponentenmodells zeigt, dass, mit Hilfe einer genauen Zeitreihenanalyse, die Auswahl eines geeigneten Verfahrens sichergestellt werden kann. Dabei ist insbesondere die Einhaltung der Vorgehensweise anhand der fünf Schritte Visualisierung, Modell Formulierung, Modell Schätzung, Prognoseerstellung und Überprüfung der Prognosegüte bedeutsam für die Verfahrenswahl. Zudem wird dadurch bereits früh sichtbar, ob erste Annahmen über

den Verlauf der Zeitreihe korrekt waren. Je nachdem, ob der Zeitreihe ein konstantes oder ein lineares Modell, bzw. ein Modell höherer Ordnung oder ein Modell mit periodischen Schwankungen zugrunde liegt, muss ein dafür geeignetes Verfahren angewandt werden. Die Wahl des richtigen Verfahrens ist essenziell zur Erstellung einer guten Vorhersage, die die Grundlage für eine korrekte Anpassung der Planung des Produktionsprogramms ist und dadurch auch die Wahl der Lagerhaltungspolitik und die Höhe des Sicherheitsbestands beeinflusst.

Diese Anpassungen in der operativen Produktionsprogrammplanung erfolgen mit Hilfe der Synchronisation oder Emanzipation der Produktionsmengen im Rahmen der aggregierten Gesamtplanung, bzw. durch die darauf aufbauende kapazitierte Hauptproduktionsprogrammplanung.

Bei der Anwendung der Prognoseverfahren zeigte sich, dass das Verfahren nach Holt-Winters sehr gut zur Erstellung einer Vorhersage geeignet ist. Zumindest dann, wenn der vorliegenden Zeitreihe ein Modell mit saisonalen Schwankungen zugrunde liegt. Bei der Anwendung dieses Verfahrens auf eine Zeitreihe, die einer, nicht der Definition der Saisonalität zuzurechnenden, Schwankung unterliegt zeigt sich, dass das Holt-Winters-Verfahren tatsächlich ausschließlich zur Anwendung auf saisonal beeinflusste Zeitreihen geeignet ist.

Wenn auch die Anwendung des Verfahrens bei einigen Zeitreihen nicht möglich sein sollte, bieten sich mit Hilfe der Grundlagen, auf denen das Verfahren basiert, Möglichkeiten die Zeitreihe zu analysieren. So lassen sich durch die Zeitreihenzerlegung wichtige Erkenntnisse über die Einflüsse der jeweiligen Komponenten, aus denen sich eine Zeitreihe zusammensetzt, ermitteln.

So war es möglich, dem mittelständischen Unternehmen, dass die zu analysierenden Daten zur Verfügung stellte, immerhin für einen Kunden eine geeignete Vorhersage und, darauf aufbauend, konkrete Vorschläge zur Anpassung der Produktion zu liefern. Trotz der erfolgreichen Erstellung einer Vorhersage sei erwähnt, dass, durch eine engere Zusammenarbeit und Einbindung in das Unternehmen, eine Erstellung konkreterer Vorschläge möglich gewesen wäre. Auch wäre die Vorstellung eines weiteren Verfahrens zur Prognose saisonal schwankender Nachfrage (z.B. das SEATREND-Verfahren) zum ausführlichen Vergleich sinnvoll. Dieses ist im Rahmen einer Bachelorarbeit und aufgrund der begrenzenden Vorgaben jedoch leider nicht möglich gewesen.

Abschließend lässt sich sagen, dass dennoch das Ziel erreicht wurde, durch Anwendung eines geeigneten Prognoseverfahrens ein treffendes Anwendungsbeispiel für Studierende sowie einen Beitrag zur Entwicklung eines Produktionsplanungskonzepts für das, von saisonalen Schwankungen betroffene, mittelständische Unternehmen zu liefern.

## Anhang

1	Anwendung der Prognoseverfahren.....	ii
1.1	Kunde 1.....	ii
1.1.1	Visualisierung der Zeitreihe.....	ii
1.1.2	Schätzung des Modells und Erstellung der Prognose.....	iii
1.1.2.1	Vorgehensweise 1 – einfache Initialisierung.....	iv
1.1.2.2	Vorgehensweise 2 – angepasste Initialisierung.....	ix
1.1.3	Interpretation.....	xv
1.2	Kunde 2.....	xvi

# 1 Anwendung der Prognoseverfahren

Die Anwendung der Prognoseverfahren und ihre genauen Berechnungen, welche die im Hauptteil angeführten und interpretierten Ergebnisse liefern, werden hier ausführlich dargestellt. Dabei wird das Verfahren nach Holt-Winters, mit verschiedenen Initialisierungsmethoden und Optimierungsmöglichkeiten angewendet und die jeweiligen Ergebnisse verglichen.

## 1.1 Kunde 1

Die dem Kunden 1 zugehörigen Vergangenheitsdaten liegen in Form von monatsweise erfassten Umsatzerlösen vor. Diese geben durch das Unternehmen erfüllte, von Kunde 1 gestellte, Fertigungsaufträge wieder. Die Daten werden in Tabelle 2 am Ende des Anhangs dargestellt und bilden die Basis der weiteren Zeitreihenanalyse.

### 1.1.1 Visualisierung der Zeitreihe

Die vorhandenen Beobachtungswerte der in Tabelle 1 mit Hilfe von Excel tabellarisch aufgelisteten Vergangenheitsdaten können nun in Form eines Zeitreihenpolygons mit untergelegtem Gitternetz zur übersichtlicheren Abgrenzung der einzelnen Beobachtungsperioden visualisiert werden (vgl. Abb. 14).

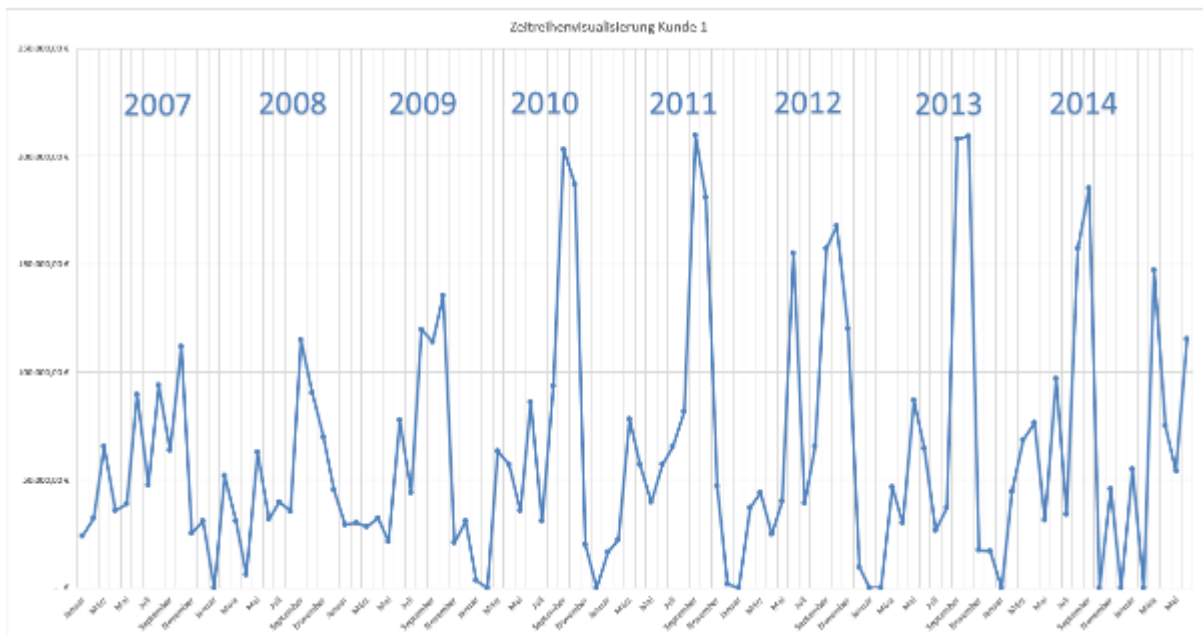


Abb. 13 – Zeitreihenvisualisierung Kunde 1

Zunächst einmal sind daraus deutliche Schwankungen innerhalb der Zeitreihe abzulesen, die insbesondere in den Monaten September bis November eines jeden Jahres signifikant ausgeprägt sind. Zudem scheint es im Frühjahr, um die Monate April und Mai, einen weiteren Saisonalen Ausschlag zu geben. Diese beiden saisonalen Schwankungen heben sich aber erst ab dem Jahr 2009 deutlich von den Beobachtungswerten der Nichtsaisonperioden ab. Diese werden erst dann genau sichtbar, wenn sie auch im Jahr 2009 selbst, im Vergleich zu den nachfolgenden Saisonzyklen, eine geringere Amplitude vorweisen. Für die weitere Analyse der Zeitreihe des Kunden 1 zur Schätzung eines Modells und Erstellung einer Prognose mit Vorhersage zukünftiger Umsatzerlöse, sollen daher lediglich die Daten ab Januar 2009 bis Juni 2015 als Grundlage dienen. Eine Visualisierung dieses Zeitreihenabschnittes ist in Abbildung 12 in Kapitel 4.1 im Hauptteil dargestellt. Zusätzlich zu der einfachen grafischen Darstellung wurde noch eine Trendlinie durch die Zeitreihe gelegt, um eine mögliche Trendentwicklung zu ermitteln. Daraus lässt sich für diesen Beobachtungszeitraum ein leicht steigender Trend ablesen.

### **1.1.2 Schätzung des Modells und Erstellung der Prognose**

Basierend auf der in Kapitel 3.2.3.4 angeführten Erläuterung, wird sich deshalb für die Anwendung eines Verfahrens mit multiplikativer Verknüpfung entschieden, da es sich bei der Zeitreihe augenscheinlich um eine Zeitreihe mit einem dem Trend folgenden Verlauf handelt.

Die Schätzung der Prognosewerte innerhalb des Beobachtungszeitraums wird initial mit den selbst festgelegten Glättungsfaktoren  $\alpha = 0,5$ ,  $\beta = 0,1$  und  $\gamma = 0,6$  vorgenommen. Die Wahl der Glättungsfaktoren erfolgt auf Grundlage der Interpretation der Zeitreihenvisualisierung. Diese lässt auf ein nahezu konstantes Modell mit signifikantem Saison-, jedoch lediglich minimalem Trendeinfluss schließen. Die aktuelle Konstante und die Saisonkomponente sollen folglich in der Prognose eine gewichtigere Rolle spielen, als die jeweiligen Parameter des vorherigen Saisonzyklus. Der Trend soll hingegen nur geringfügig in die Prognose eingehen.



### 1.1.2.1 Vorgehensweise 1 - einfache Initialisierung

Wie in Kapitel 3.2.4 beschrieben, gibt es verschiedene Möglichkeiten die Startwerte der Parameter zur Initialisierung der Prognose zu bestimmen. In der ersten Vorgehensweise soll dieses nach der in Kapitel 3.2.4 zuerst angeführten Möglichkeit erfolgen, sodass  $\hat{a}_0 = \bar{x}_1$ ,  $\hat{b}_0 = 0$  und  $\hat{c}_{-L+t} = x_t/\bar{x}_1$  ist.

Anhand der in Formel 20 dargestellten Gleichung lässt sich zunächst das arithmetische Mittel der ersten  $L$  Perioden ermitteln, wobei in diesem Fall  $L=12$  ist. Das bedeutet, dass eine monatliche Betrachtungsweise zugrunde liegt.

$$\bar{x}_1 = \frac{1}{12} \sum_{t=1}^{12} x_{(1-1)12+t} = \frac{1}{12} (28.971,11 + 29.869,84 + \dots + 31.065,49) = 56.975,40$$

Somit ist  $\hat{a}_0 = 56.975,40$ ,  $\hat{b}_0 = 0$  und die Startwerte der jeweiligen Saisonfaktoren können der Tabelle 1 entnommen werden.

$t$	$e_t$	$\hat{c}_{-L+t}$	$t$	$e_t$	$\hat{c}_{-L+t}$
1	28.971,11 €	0,51	7	44.088,73 €	0,77
2	29.869,84 €	0,52	8	119.854,77 €	2,10
3	28.322,26 €	0,50	9	113.976,52 €	2,00
4	32.166,69 €	0,56	10	135.441,60 €	2,38
5	21.488,98 €	0,38	11	20.958,02 €	0,37
6	77.500,80 €	1,36	12	31.065,49 €	0,55

Tabelle 1 – Startwerte der Saisonfaktoren, Vorgehensweise 1

Mit diesen Startwerten kann nun die Berechnung der Schätzwerte für jeden Parameter anhand der Formeln 17 (für  $\hat{a}$ ), 14 (für  $\hat{b}$ ), 19 (für  $\hat{c}$ ) und somit die Erstellung der Prognose initialisiert werden. Diese erfolgte mit Hilfe von Excel, sodass an dieser Stelle beispielhaft lediglich die Berechnung der Schätzwerte der ersten Periode  $t=1$  stehen soll, die Ergebnisse für alle Perioden können der Tabelle 2 am Ende des Anhangs entnommen werden.

$$\begin{aligned} \hat{a}_1 &= \alpha * \frac{x_1}{\hat{c}_{1-12}} + (1 - \alpha) * (\hat{a}_{1-1} + \hat{b}_{1-1}) = \alpha * \frac{x_1}{\hat{c}_{-11}} + (1 - \alpha) * (\hat{a}_0 + \hat{b}_0) \\ &= 0,5 * \frac{28.971,11}{0,51} + 0,5 * (56.975,40 + 0) = 56.975,40 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \hat{b}_1 &= \beta * (\hat{a}_1 - \hat{a}_{1-1}) + (1 - \beta) * \hat{b}_{1-1} = \beta * (\hat{a}_1 - \hat{a}_0) + (1 - \beta) * \hat{b}_0 \\ &= 0,1 * (56.975,40 - 56.975,40) + 0,9 * 0 = 0 \end{aligned}$$

$$\hat{c}_1 = \gamma * \frac{x_1}{\hat{a}_1} + (1 - \gamma) * \hat{c}_{1-11} = 0,6 * \frac{28.971,11}{56.975,40} + 0,4 * 0,51 = 0,51$$

Anhand der Gleichung aus Formel 16 lässt sich dann der Prognosewert ermitteln

$$\hat{x}_1 = (\hat{a}_1 + \hat{b}_1) * \hat{c}_1 = (56.975,40 + 0) * 0,51 = 28.971,11$$

Auffällig zu erkennen ist, dass im ersten Saisonzyklus, in den ersten 12 Perioden, aufgrund des gewählten Initialisierungsverfahrens, exakt die Beobachtungswerte prognostiziert wurden. Dabei sind die Schätzwerte des Niveaus stets der Wert  $\hat{a}_0$ , die geschätzten Trendparameter fortwährend 0 und die Saisonparameter gleich den jeweiligen, initialen Saisonfaktoren. Erst nach dieser Startphase, ab dem zweiten Saisonzyklus, d.h. der Periode  $t=13$ , beginnt die Prognose von den Beobachtungswerten abzuweichen. An dieser Stelle wird das angefangene Verfahren weitergeführt. Im folgenden Unterkapitel Vorgehensweise 2 wird dann eine weitere Methode zur Initialisierung der Prognose angewandt und ein Vergleich zu den hier ermittelten Ergebnissen vorgenommen.

Eine Visualisierung der errechneten Prognosezeitreihe der Werte  $\hat{x}_t$  mit  $t=1,2,\dots,T$ ;  $T=78$ , im Vergleich zur Zeitreihe der Beobachtungswerte, wird in Abbildung 15 dargestellt, wobei der blaue Graph den Verlauf der Beobachtungswerte und der rote Graph die Prognose wiedergibt.

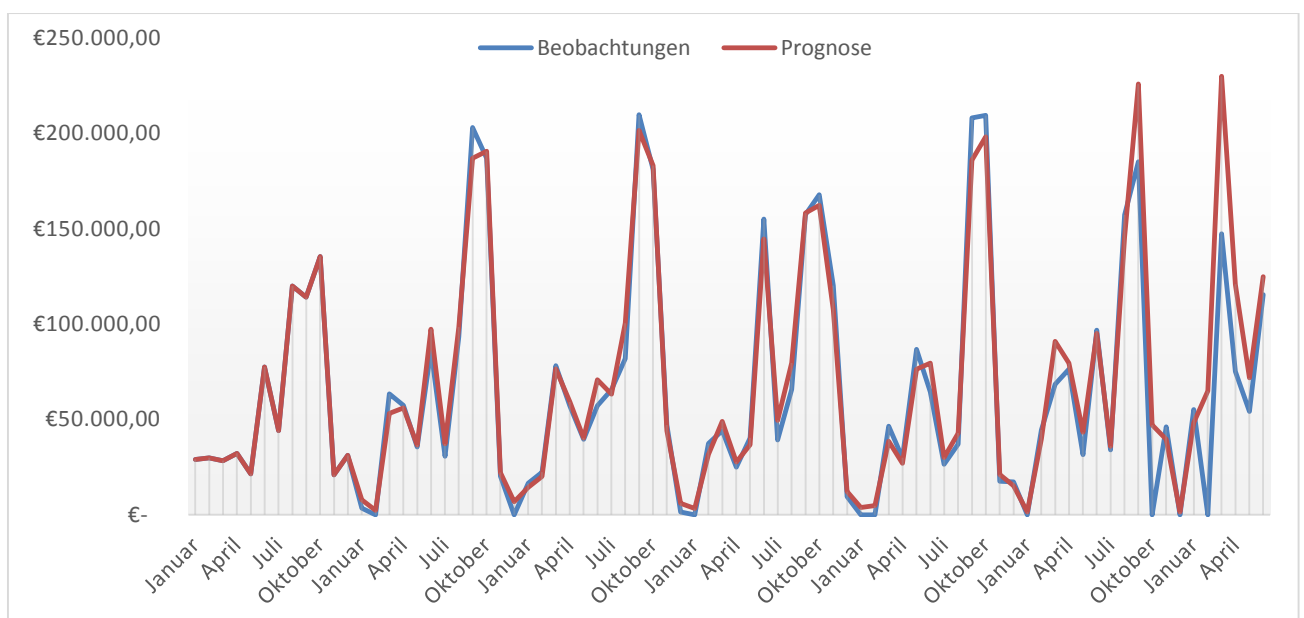


Abb. 14 – Vergleich Beobachtung & Prognose Vorgehensweise 1

Es sind deutlich die vorhandenen Prognoseabweichungen zu erkennen, die sich mit Hilfe der in Kapitel 3.2.5.1 beschriebenen Verfahren ermitteln lassen.

Anhand der in Formel 27 dargestellten Gleichung lässt sich der einfache Prognosefehler  $e_t$  ermitteln. Die Berechnung soll auch hier beispielhaft für die erste Periode in der es eine Abweichung gibt ( $t=13$ ) vorgenommen werden, die ermittelten Prognosefehler der anderen Perioden finden sich in der Tabelle 8.

$$e_{13} = \hat{x}_{13} - x_{13} = 7.892,62 - 3.465,00 = 4.427,62$$

Eine Darstellung der absoluten Prognosefehler  $|e_t|$  ist aufgrund der einfachen Berechnung überflüssig. Es sollen zur Überprüfung der Prognosegüte im Folgenden der MAE, MSE, RMSE, MAPE und MdAPE ermittelt werden. Aufgrund des Datenumfangs sollen lediglich die Start- und Endwerte der Berechnungen dargestellt werden, da eine komplette Auflistung den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde.

Der MAE berechnet sich anhand der Gleichung aus Formel 26

$$\begin{aligned} MAE &= \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T |\hat{x}_t - x_t| = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T |e_t| = \frac{1}{78} * (|e_1| + |e_2| + \dots + |e_{78}|) \\ &= \frac{1}{78} * (0 + 0 + \dots + 9.388,14) = 8.741,91 \end{aligned}$$

Der MSE lässt sich mit Hilfe der Gleichung aus Formel 27 ermitteln

$$MSE = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (\hat{x}_t - x_t)^2 = \frac{1}{78} * (0^2 + 0^2 + \dots + 9.388,14^2) = 274.091.416,07$$

Der RMSE lässt sich als Wurzel des MSE simpel berechnen (vgl. Formel 28)

$$RMSE = \sqrt{MSE} = \sqrt{108.992.215,42} = 16.555,71$$

Die Ermittlung des MAPE erfolgt anhand der Gleichung aus Formel 30

$$\begin{aligned} MAPE &= \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \left| \frac{\hat{x}_t - x_t}{x_t} \right| * 100\% \\ &= \frac{1}{78} * \left( \left| \frac{0}{28.971,11} \right| + \left| \frac{0}{29.869,84} \right| + \dots + \left| \frac{9.388,14}{115.451,81} \right| \right) * 100\% \\ &= 20,67\% \end{aligned}$$

Der MdAPE als Median der absoluten prozentualen Abweichungen wird ermittelt wie in Formel 34 dargestellt und beträgt in diesem Fall  $MdAPE = 9,74\%$ .

Die Abweichungen sind alle, insbesondere der MSE, noch zu groß, um von einer, für eine Prognose, ausreichenden Güte sprechen zu können. Damit dies erreicht werden kann bedarf es der Optimierung. In diesem Fall soll das durch Minimierung eines der oben berechneten Gütekriterien, durch Veränderung der Glättungsfaktoren, geschehen. Oftmals wird die Minimierung des MSE vorgeschlagen, da er mit den MSEs anderer Verfahren verglichen werden kann (vgl. Kapitel 3.2.5.1). Der Excel Solver dient dazu als geeignetes Hilfsmittel, da die Zeitreihenanalyse in der Regel in Excel durchgeführt wird und die benötigten Daten so bereits vorliegen. [Eine Erklärung wie der Solver gestartet und angewendet wird ist in „Beispiel für eine Berechnung in Solver“, 2015 zu finden.]

In diesem Fall soll der Solver die Zelle minimieren, welche die Berechnung des MSE durchführt. Dieses soll durch Veränderung der Glättungsfaktoren  $\alpha$ ,  $\beta$  und  $\gamma$  unter der Nebenbedingung, dass die Glättungsparameter jeweils zwischen 0 und 1 liegen müssen, erreicht werden. Die Minimierung wird durch Konvergieren mit Hilfe eines evolutionären Algorithmus vollzogen. Das vom Solver ermittelte Ergebnis ist mit einem  $MSE = 0,0000252$  perfekt, sodass die Prognose nahezu exakt denselben Verlauf nimmt, wie die Beobachtungswerte (vgl. Abbildung 16).

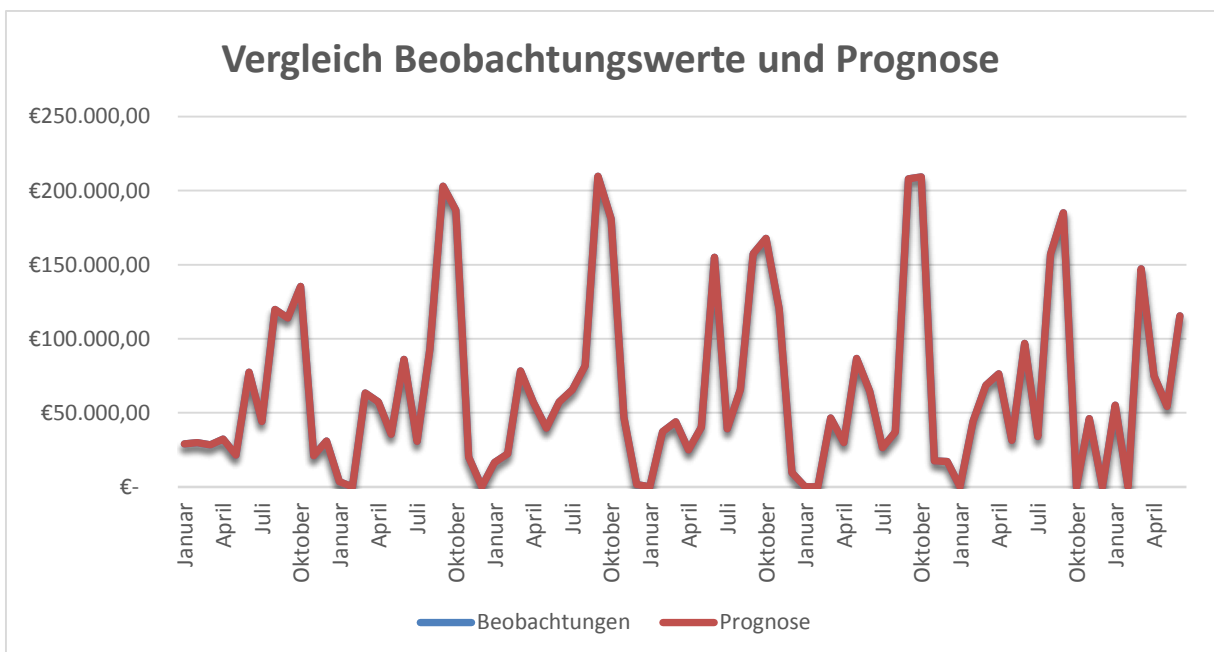


Abb. 15 – Vergleich Beobachtung und Prognose nach Optimierung

Diese Anpassung wird durch die Veränderung der Glättungsfaktoren auf  $\alpha = 0,999999869$ ,  $\beta = 0$  und  $\gamma = 0,398886949307346$  möglich. Die Auswirkungen dieser Festlegung, speziell den Trendparameter gleich Null zu setzen, werden in Tabelle 9 deutlich. Da bei der Initialisierung der Startwert des Trendparameters gleich Null gesetzt wird, wird er unter diesen Bedingungen im Verlauf der ganzen Zeitreihe auch gleich Null bleiben, sodass die Prognosewerte lediglich aus dem Niveau- und dem jeweiligen Saisonparameter ermittelt werden.

Nichtsdestotrotz soll der Vollständigkeit halber eine Extrapolation dieser scheinbar perfekten Prognose vorgenommen werden.

Dazu werden, wie in Kapitel 3.2.4 beschrieben, die geschätzten Parameter in der letzten Periode des Beobachtungszeitraums  $t=T$  als Basis für die Verlängerung der Zeitreihe angenommen, die anhand der in Formel 26 dargestellten Gleichung vorgenommen wird. Es soll an dieser Stelle allerdings lediglich die Berechnung der ersten beiden Vorhersagewerte ausgeführt werden. Die übrigen Ergebnisse können der Tabelle 2 entnommen werden. Für die erste Vorhersage in Periode  $T+i$  ( $i=1$ ), was dem Monat Juli 2015 entspricht, ergibt sich

$$\begin{aligned}\hat{x}_{T+1} &= (\hat{a}_T + \hat{b}_T * 1) * \hat{c}_{T-12+1} = \hat{x}_{79} = (\hat{a}_{78} + \hat{b}_{78} * 1) * \hat{c}_{67} \\ &= (84.875,46 + 0 * 1) * 0,77 = 65.678,36\end{aligned}$$

Der zweite Vorhersagewert in Periode  $T+2$  ist

$$\begin{aligned}\hat{x}_{T+2} &= (\hat{a}_T + \hat{b}_T * 2) * \hat{c}_{T-12+2} = \hat{x}_{80} = (\hat{a}_{78} + \hat{b}_{78} * 1) * \hat{c}_{68} \\ &= (84.875,46 + 0 * 1) * 2,10 = 178.545,95\end{aligned}$$

Wie sich bereits an diesen beiden Berechnungen erkennen lässt, erfolgt lediglich eine Multiplikation des Niveauparameters der Periode  $T$  mit den jeweiligen Saisonfaktoren des letzten Saisonzyklus, da der Trendparameter 0 ist und dieser mit  $i$  multipliziert wird, da  $i * 0 = 0$ .

$T + i$	79	80	81	82	83	84
$\hat{x}_{T+i}$	65.678,36 €	178.545,95 €	169.789,25 €	121.283,84 €	31.220,87 €	16.721,85 €
$T + i$	85	86	87	88	89	90
$\hat{x}_{T+i}$	9.374,07 €	9.664,87 €	42.191,28 €	47.918,26 €	32.011,83 €	115.451,82 €

Tabelle 2 – Vorhersage Vorgehensweise 1

Zudem kann die durch die Extrapolation verlängerte Zeitreihe visualisiert werden, um augenscheinlich zu überprüfen, ob die zugrundeliegenden Eigenschaften korrekt abgebildet werden. In Abbildung 17 lässt sich sehr gut der Ausschlag der saisonalen Schwankung in den Perioden  $T+2$  und  $T+3$  (August und September) erkennen. Zudem deutet sich die Vorsaison im Juni, bzw. in Periode  $T+11$ , an.

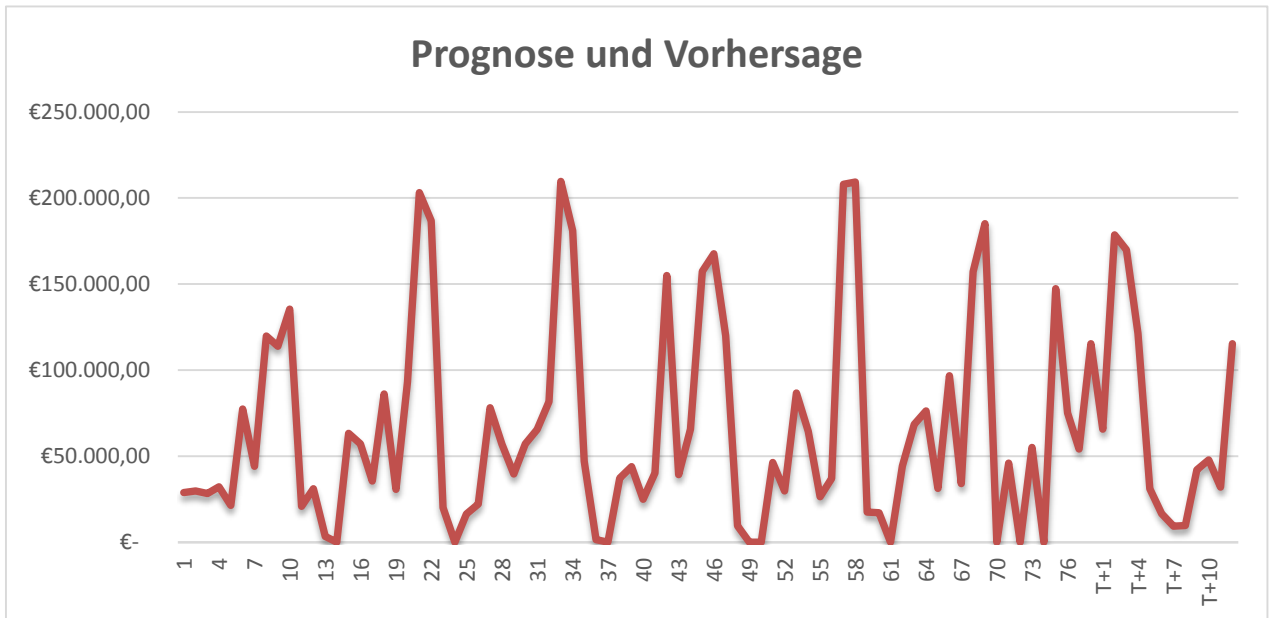


Abb. 16 – Prognose und Vorhersage Vorgehensweise 1

### 1.1.2.2 Vorgehensweise 2 – angepasste Initialisierung

Zum Vergleich wird nun in der zweiten Vorgehensweise eine andere Ermittlung der Startwerte zur Initialisierung der Prognose angewandt. Es werden im Folgenden lediglich die Ergebnisse der einzelnen Parameter aufgeführt, da bereits in der Vorgehensweise 1 die praktische Anwendung bzw. das Einsetzen der Werte in die jeweiligen Gleichungen vorgenommen und verdeutlicht wurde, sodass an dieser Stelle eine Wiederholung vermieden werden soll.

Die angepasste Initialisierung erfolgt dadurch, dass die Startwerte der Niveau- und Saisonparameter um einen anders ermittelten Trendparameter-Startwert  $\hat{b}_0$  korrigiert werden (vgl. Kapitel 3.2.4). Die zur Ermittlung von  $\hat{b}_0$  gemäß der in Formel 21 dargestellten Gleichung benötigten Mittelwerte werden analog zu der in Vorgehensweise 1 angeführten Berechnung gemäß der Formel 20 errechnet.

$$\hat{b}_0 = \frac{\bar{x}_2 - \bar{x}_1}{L} = \frac{54.849,89 - 56.975,40}{12} = -177,13$$

Es lassen sich nun  $\hat{a}_0$  anhand der Formel 22 und die Saisonparameter jeweils mit Hilfe der Formel 24 korrigieren.

$$\hat{a}_0 = \bar{x}_1 - \frac{L}{2} * \hat{b}_0 = 56.975,40 - \frac{12}{2} * -177,13 = 58.038,16$$

$$\hat{c}_{-L+t} = \frac{L * \tilde{c}_t}{\sum_{t=1}^L \tilde{c}_t} \text{ mit } \tilde{c}_t = \frac{x_t}{\hat{a}_0 + t * \hat{b}_0} \quad (t = 1, 2, \dots, L)$$

$$\tilde{c}_1 = \frac{x_1}{\hat{a}_0 + 1 * \hat{b}_0} = \frac{28.971,11}{58.038,16 + 1 * -177,13} = 0,50$$

$t$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\tilde{c}_t$	0,50	0,52	0,49	0,56	0,38	1,36	0,78	2,12	2,02	2,41	0,37	0,56

Und damit

$$\hat{c}_{-12+1} = \frac{12 * 0,5}{12,06} = 0,55$$

$t$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\hat{c}_{-L+t}$	0,50	0,52	0,49	0,56	0,37	1,35	0,77	2,11	2,01	2,40	0,37	0,55

Mit diesen korrigierten Startwerten kann dann die Berechnung der Prognosewerte für die jeweilige Periode  $t$  erfolgen. Die daraus resultierenden Ergebnisse sowie der Prognosefehler der jeweiligen Periode können der Tabelle 10 entnommen werden.

Anhand der Abbildung 18 lässt sich erkennen, dass ab dem zweiten Beobachtungsjahr, das bedeutet ab Periode  $t=13$ , einige Abweichungen auftreten. Insbesondere zum Ende des Betrachtungszeitraums in der letzten Hochsaison sowie ab Januar. Für die Kennzahlen zur Messung der Prognosegüte lassen sich die folgenden Ergebnisse ermitteln.

$MAE = 8.774,78$ ,  $MSE = 274.494.612,04$ ,  $RMSE = 16.567,88$ ,  $MAPE = 20,77\%$  und  $MdAPE = 9,79\%$ .

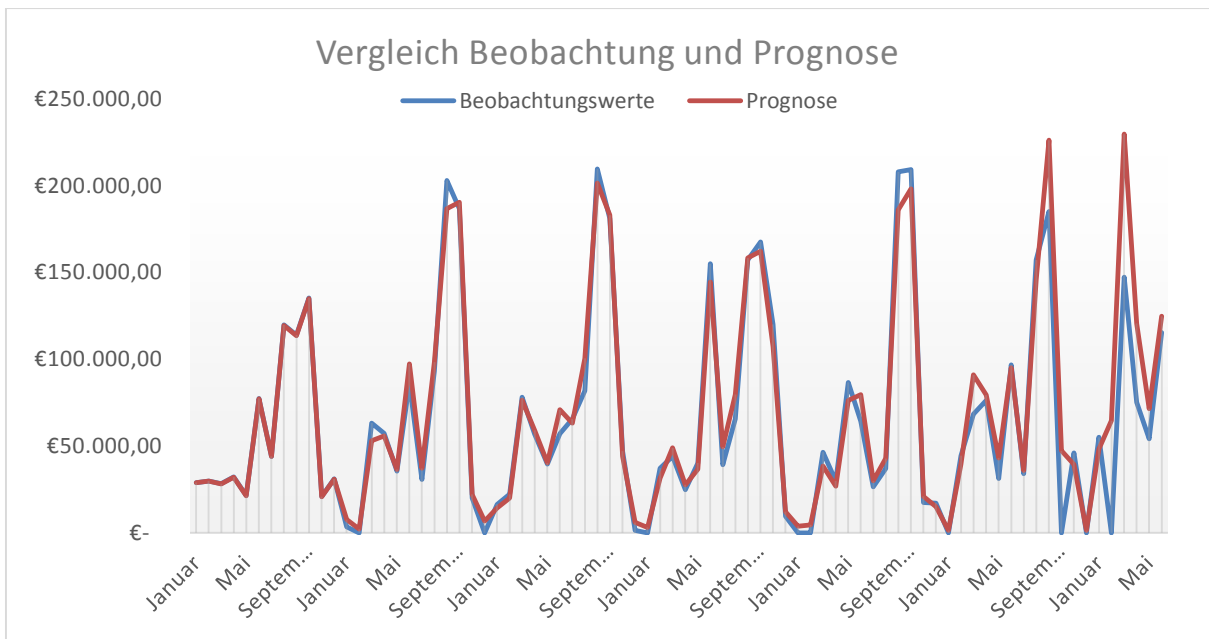


Abb.17 – Vergleich Beobachtung und Prognose Vorgehensweise 2

Analog wird auch hier zur Optimierung der Prognosezeitreihe eine Minimierung des MSE vorgenommen, wodurch  $MSE = 29.141,09$  erreicht werden konnte. Die neuen Glättungsparameter lauten  $\alpha = 0,997933209$ ,  $\beta = 0,002879943$  und  $\gamma = 0,458957173$ . Die anderen Gütemaße nehmen die folgenden Werte an.

$$MAE = 123,38, RMSE = 170,71, MAPE = 0,11\% \text{ und } MdAPE = 0,18\%$$

Die Schätzwerte der optimierten Zeitreihe können der Tabelle 11 entnommen werden. Eine Extrapolation dieser Zeitreihe ergibt die in Tabelle 3 aufgelisteten Vorhersagen. Der Verlauf der Zeitreihe inklusive Extrapolation ist in Abbildung 18 dargestellt.

$T + i$	79	80	81	82	83	84
$\hat{x}_{T+i}$	66.139,87	180.225,16	172.591,38	110.815,38	31.820,56	13.415,93
$T + i$	85	86	87	88	89	90
$\hat{x}_{T+i}$	6.703,64	6.976,33	41.829,83	47.352,53	31.840,55	114.285,49

Tabelle 3 – Vorhersage Vorgehensweise 2



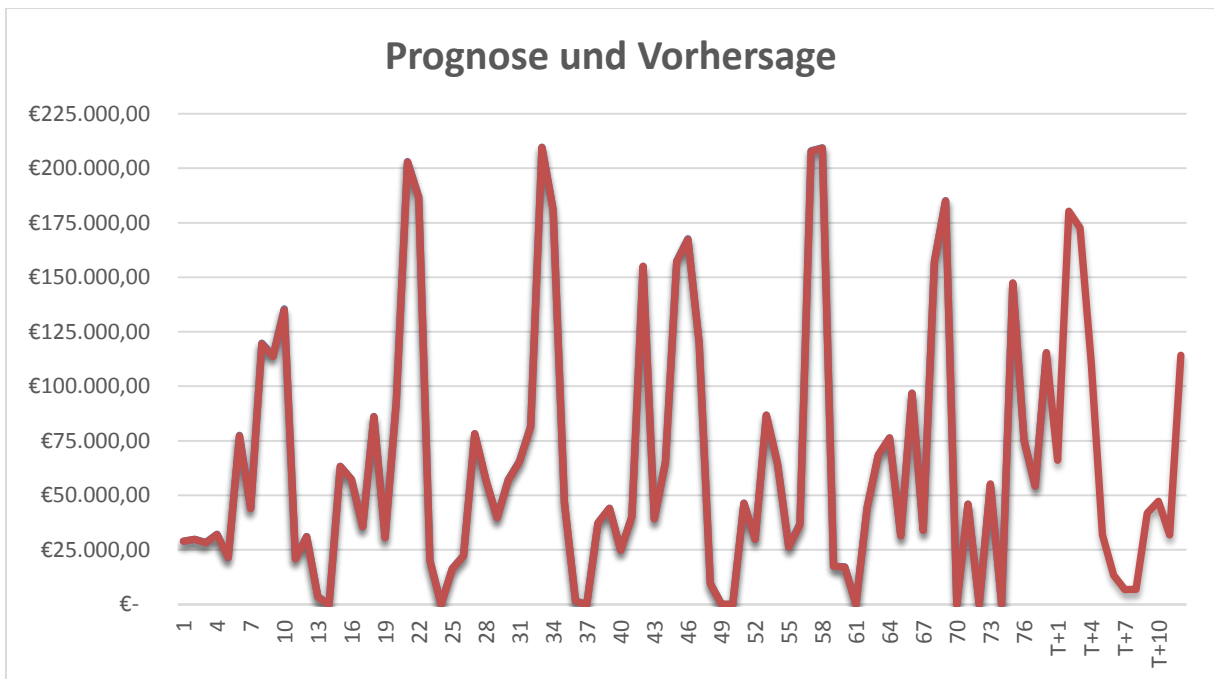


Abb. 18 – Optimierte Prognose und Vorhersage Vorgehenweise 2

Auffällig hierbei sind vor allem die niedrigen Werte in den Perioden  $T+7$  und  $T+8$  (Januar und Februar), die durch die Saisonkoeffizienten von fast 0 der jeweils entsprechenden vorherigen Saisonperiode hervorgerufen werden. Generell ist festzustellen, dass der Umsatz in diesen beiden Perioden eher sporadischen Charakter hat, sodass eine präzise Vorhersage dieser Perioden als unwahrscheinlich erscheint. Die relevanten Perioden der Hochsaison hingegen sind auch in der Vorhersage deutlich ersicht-lich.

Ein weitere Möglichkeit die Prognosegüte zu messen, die nicht auf der reinen Bildung von Mittelwerten basiert, ist der Theilsche Ungleichheitskoeffizient, der an dieser Stelle kurz dargestellt werden soll.

### **Theilscher Ungleichheitskoeffizient neuer Ordnung**

Diese Methode zur Messung der Prognosegüte wurde von Henri Theil entwickelt und existiert in zwei Varianten. Die in der Praxis gängige Version dieser Methode, der Ungleichheitskoeffizient „neuer Ordnung“, im englischen Sprachraum auch Theil's  $U_2$  genannt, soll in der Folge, als einzige der beiden Varianten, erläutert werden.

Dieser Ungleichheitskoeffizient neuer Ordnung basiert dabei auf den Veränderungen der Vorhersage des Prognosewertes  $\hat{x}_t$  bzw. des tatsächlichen Beobachtungswertes  $x_t$  der Periode  $t$  zu  $x_{t-h}$  dem Beobachtungswert der Periode  $t-h$ , wobei  $h$  den Prognosehorizont beschreibt. Daraus ergibt sich, mit  $P_t = \hat{x}_t - x_{t-h}$  und  $A_t = x_t - x_{t-h}$  die folgende Formel für den Theilschen Ungleichheitskoeffizienten neuer Ordnung<sup>212</sup>:

$$U_2 = \frac{\sqrt{\frac{1}{T-h} \sum_{t=h+1}^T (P_t - A_t)^2}}{\sqrt{\frac{1}{T-h} \sum_{t=h+1}^T (A_t)^2}} = \frac{\sqrt{\frac{1}{T-h} \sum_{t=h+1}^T (\hat{x}_t - x_{t-h} - x_t + x_{t-h})^2}}{\sqrt{\frac{1}{T-h} \sum_{t=h+1}^T (x_t - x_{t-h})^2}}$$

$$= \frac{\sqrt{\frac{1}{T-h} \sum_{t=h+1}^T (\hat{x}_t - x_t)^2}}{\sqrt{\frac{1}{T-h} \sum_{t=h+1}^T (x_t - x_{t-h})^2}}$$

Daraus lässt sich eine äußerst leicht verständliche Interpretation festlegen. Ein  $U=1$  gibt dabei eine naive Prognose an.<sup>213</sup> Eine naive Prognose schreibt lediglich den aktuellen Wert mit einfachen mathematischen Mitteln in die Zukunft fort, sodass der aktuelle Wert  $x_t$  gleich dem vorherigen Wert  $x_{t-1}$  ist.<sup>214</sup> In diesem Fall ( $U=1$ ) entspricht der tatsächlich beobachtete Wert der Prognoseperiode genau dem Prognosewert, was  $\hat{x}_t = x_{t-h}$  entspricht, sodass gilt:

$$U_2 = \frac{\sqrt{\frac{1}{T-h} \sum_{t=h+1}^T (x_{t-h} - x_t)^2}}{\sqrt{\frac{1}{T-h} \sum_{t=h+1}^T (x_t - x_{t-h})^2}} = 1$$

Bei einer perfekten Prognose hingegen ist  $U=0$ , da der Prognosewert für die Periode  $t$  genau dem tatsächlichen Beobachtungswert in der Periode  $t$  entspricht, was bedeutet dass  $\hat{x}_t = x_t$  ist und somit gilt

$$U_2 = \frac{\sqrt{\frac{1}{T-h} \sum_{t=h+1}^T (x_t - x_t)^2}}{\sqrt{\frac{1}{T-h} \sum_{t=h+1}^T (x_t - x_{t-h})^2}} = \frac{0}{\sqrt{\frac{1}{T-h} \sum_{t=h+1}^T (x_t - x_{t-h})^2}} = 0$$

<sup>212</sup> Vgl. zu diesem Abschnitt und der Formel Barrot, 2009, S.552.

<sup>213</sup> Vgl. ebenda S. 552.

<sup>214</sup> Vgl. „Naive Prognose“, 2014.

Bei der Interpretation des Theil's  $U_2$  ist daher festzustellen, dass ein  $U < 1$  eine Prognose darstellt, die besser als eine naive Prognose, und somit empfehlenswert, ist, wobei die Güte mit sinkendem  $U$  steigt.<sup>215</sup> Dennoch ist auch eine Prognose mit einem  $U$ -Wert der kleiner als, aber nahe an, 1 liegt immer noch als ein vergleichsweise guter Wert einzuordnen, da die Prognosefehler in der Berechnung nicht linear geordnet werden.<sup>216</sup> Ein  $U > 1$  jedoch ist logischerweise ein Indikator dafür, dass das Prognoseverfahren deutlich von den tatsächlichen Werten abweicht und nicht für eine gute und aussagekräftige Prognose geeignet ist.<sup>217</sup>

Der Theilsche Ungleichheitskoeffizient neuer Ordnung der initialen Berechnung nach zweiter Vorgehensweise mit den nicht optimierten Glättungsfaktoren beträgt  $U_2 = 0,377882366$ . Nach dem zur Optimierung der Zeitreihe der  $U_2$  analog zum MSE in den vorherigen Berechnungen mit einem evolutionären Algorithmus minimiert und dadurch auf den Wert  $U_2 = 0,003367668$  gesenkt wurde, ergeben sich daraus die neuen Glättungsfaktoren  $\alpha = 0,997714805$ ,  $\beta = 0,002971631$ ,  $\gamma = 0,481528613$ .

Die weiteren Gütemaße betragen

$MAE = 122,93 \text{ €}$ ,  $MSE = 29.095,58$ ,  $RMSE = 170,57$ ,  $MAPE = 0,11\%$  und  $MdAPE = 0,18\%$ .

Auffällig dabei ist, dass es nur geringe Differenzen zwischen diesen und den durch Minimierung des MSE ermittelten Gütemaßen gibt. So sind bspw. MAPE und MdAPE auf zwei Nachkommastellen identisch, der RMSE weicht lediglich um 0,14 ab. Auch die neuen Glättungsfaktoren weichen nicht signifikant voneinander ab, weshalb auf die Darstellung aller durch  $U_2$ -Minimierung berechneten Schätzwerte verzichtet wird und an dieser Stelle lediglich die durch Extrapolation ermittelte Vorhersage zum Vergleich angeführt werden.

$T + i$	79	80	81	82	83	84
$\hat{x}_{T+i}$	66.185,92	180.358,92	172.855,01	106.295,86	31.861,14	12.295,27
$T + i$	85	86	87	88	89	90
$\hat{x}_{T+i}$	5.901,72	6.149,02	41.880,41	47.383,84	31.884,17	114.317,87

Tabelle 4 – Vorhersage Vorgehensweise 2 ( $U_2$ -Minimierung)

<sup>215</sup> Vgl. Barrot, 2009, S.552.

<sup>216</sup> Vgl. Vogel, 2015, S.17.

<sup>217</sup> Vgl. Barrot, 2009, S.552.

### 1.1.3 Interpretation

Die durch den Solver optimierten Glättungsfaktoren (sowohl durch MSE als auch durch  $U_2$ -Minimierung) verdeutlichen signifikant, dass es sich bei der vorliegenden Zeitreihe um eine nahezu trendunabhängige, saisonbeeinflusste Konstante handelt. Der aktuelle Trendglättungsfaktor  $\beta$  wird durch  $\beta \approx 0,003$  so gut wie gar nicht berücksichtigt, wohingegen das aktuelle Niveau mit dem Glättungsfaktor  $\alpha$  von ungefähr 1 nahezu voll und ganz in die Prognose eingeht. Der aktuelle Saisonfaktor wird durch den Glättungsfaktor  $\gamma \approx 0,48$  nur minimal geringer gewichtet als der Saisonfaktor des vorherigen Saisonzyklus. Diese Prognosen, und somit ihre Vorhersagen, sind aufgrund der sehr guten, gegebenen Prognosegüte und unter Berücksichtigung dieser Anmerkungen, als Entscheidungshilfe zur Planung der Produktion und Lagerhaltungs- bzw. Wiederbeschaffungspolitik geeignet. Die in Vorgehensweise 1 ermittelte, optimierte Prognose ist, aufgrund der Nicht-Berücksichtigung des Trendparameters, für eine Vorhersage zwar geeignet, die Tatsache, dass bei dieser Zeitreihe lediglich minimalste Abweichungen auftreten, ist jedoch äußerst ungewöhnlich für eine Prognose, sodass von einer Verwendung dieser Vorhersage zu Planungszwecken abgeraten wird.

## 1.2 Kunde 2

Die Vergangenheitsdaten der Jahre 2010 bis 2014 des Kunden 2 liegen in gleicher Art, wie die des Kunden 1 vor (vgl. Kapitel 1.1) und können der folgenden Tabelle 5 entnommen werden.

Monat	2010	2011	2012	2013	2014
Januar	140.574,01 €	114.514,20 €	111.334,45 €	70.308,57 €	136.712,43 €
Februar	122.257,64 €	134.234,98 €	131.677,04 €	106.309,05 €	148.104,82 €
März	102.088,83 €	208.589,75 €	196.296,30 €	239.922,82 €	129.802,59 €
April	82.357,55 €	242.736,23 €	204.159,43 €	170.784,42 €	174.816,27 €
Mai	76.461,03 €	210.728,07 €	213.641,88 €	105.560,65 €	171.009,47 €
Juni	85.274,87 €	180.414,18 €	180.414,18 €	151.827,21 €	207.025,74 €
Juli	101.003,69 €	124.027,47 €	171.896,27 €	234.489,19 €	160.780,22 €
August	135.511,71 €	121.902,55 €	146.615,47 €	182.176,48 €	135.763,12 €
September	165.040,07 €	234.640,78 €	133.385,73 €	141.381,32 €	134.093,58 €
Oktober	188.245,24 €	159.497,05 €	174.762,57 €	146.427,14 €	176.481,52 €
November	151.777,93 €	105.735,78 €	189.732,23 €	91.368,77 €	144.406,86 €
Dezember	168.682,85 €	135.633,22 €	158.765,35 €	108.828,35 €	153.303,62 €
Total	1.521.285,42 €	1.974.665,26 €	2.014.692,90 €	1.751.396,97 €	1.874.314,24 €

Tabelle 5 – Vergangenheitswerte Kunde 2

Die Visualisierung dieser Zeitreihe ist in Abbildung 13 in Kapitel 4.2 im Hauptteil dargestellt.

Darin lässt sich ein geringfügig steigender Trend erkennen, der durch die gepunktete Trendlinie sichtbar wird. Viel bedeutsamer ist aber die Erkenntnis, dass die vorliegende Zeitreihe zwar Schwankungen unterliegt, diese Schwankungen aber nicht saisonalen Ursprungs sind. Es sei an dieser Stelle erneut auf die Definition der Saisonalität in Kapitel 3.1.2 hingewiesen, insbesondere auf die Eigenschaft, dass sich eine saisonale Schwankung durch ein periodisch wiederkehrendes Auftreten auszeichnet. Dieses ist in der vorliegenden Zeitreihe nicht gegeben und lässt sich auch in einer Visualisierung des Vergleichs der jeweiligen monatlichen Beobachtungen pro Jahr des Beobachtungszeitraums erkennen (vgl. Abbildung 20).

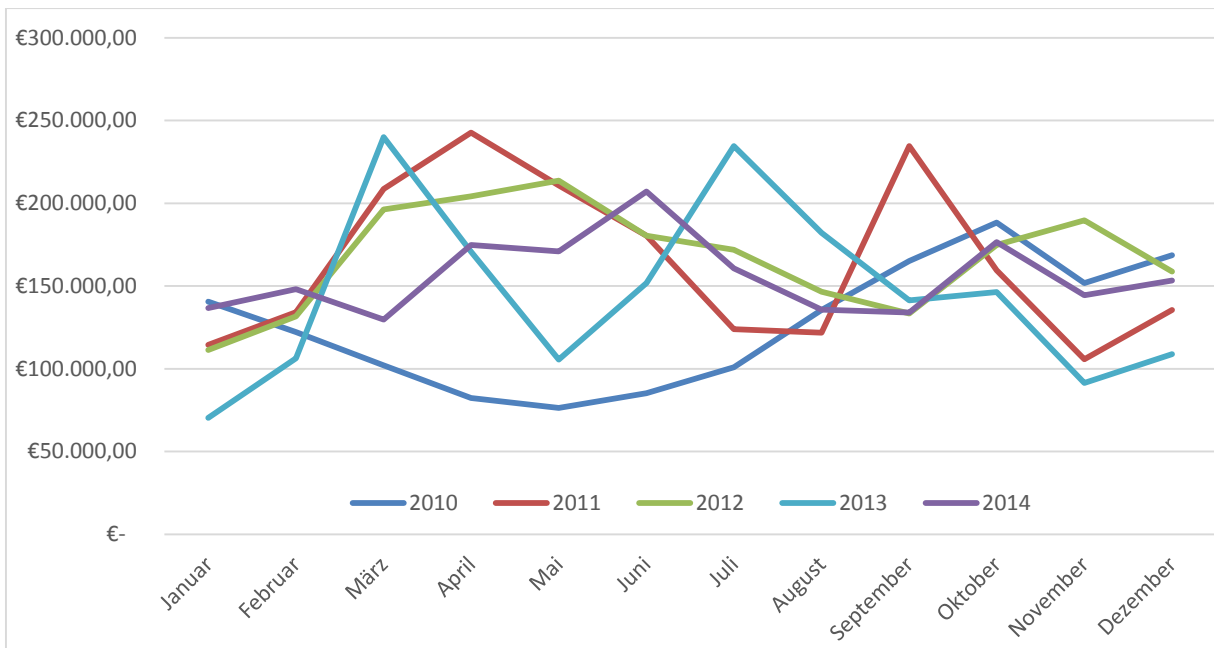


Abb. 19 – Monatliche Beobachtungen pro Jahr – Kunde 2

Auch durch die Ermittlung des Anteils der jeweiligen Periode am arithmetischen Jahresmittel lässt sich verdeutlichen, dass die Schwankungen der Zeitreihe keinen saisonalen Charakter aufweisen. Die Mittelwerte dieser Anteile sind in der folgenden Abbildung 21 dargestellt.

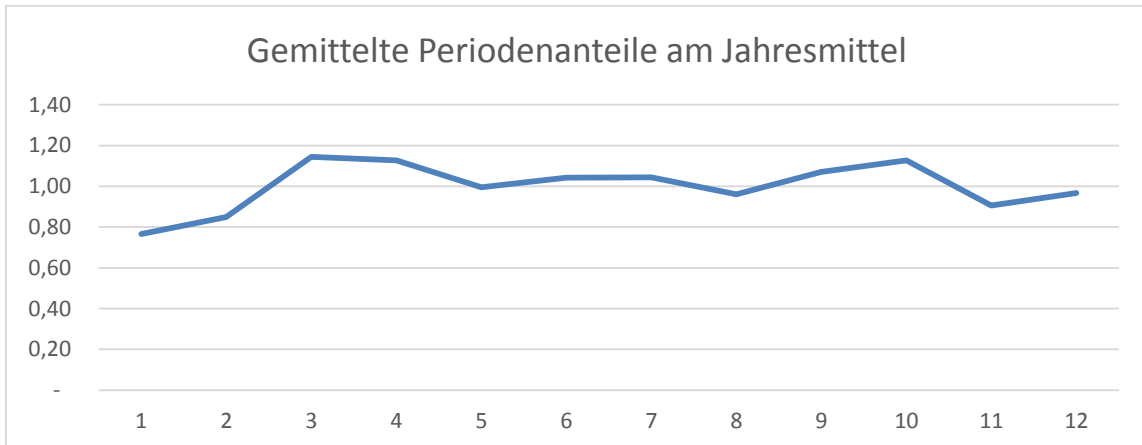


Abb. 20 – Gemittelte Periodenanteile am Jahresmittel – Kunde 2

Es sind zwar erhöhte Anteile in den Perioden 3 und 10 eines jeden Jahres zu verzeichnen, diese sind aber mit einer Ausprägung von weniger als dem 1,2-fachen des Jahresmittels nicht signifikant genug, um als saisonale Schwankung deklariert zu werden. Zum Vergleich sei auf die Saisonfaktoren der Schätzwerte in Vorgehensweise 2 zu

Kunde 1 verwiesen, die in den Perioden der Hochsaison in der Regel Werte größer 2 annehmen (vgl. Tabelle 10).

Zur Verdeutlichung soll dennoch das Verfahren nach Holt Winters angewendet werden, allerdings wird keine ausführliche Berechnung und Ergebnisdarstellung erfolgen. Die Vorgehensweise ist dieselbe wie die zweite für den Kunden 1. Als Ergebnisse nach Optimierung durch Minimierung des MSE liegen die folgenden Glättungsfaktoren  $\alpha = 0,105329439$ ,  $\beta = 0,005288369$  und  $\gamma = 1$  vor. An dem niedrigen Wert für den Niveau- und den Trendglättungsfaktor, aber vor allem den genau 1 annehmenden Saisonglättungsfaktor lässt sich erkennen, dass die Minimierung des MSE zur Verbesserung der Prognosegüte nur dadurch erreicht wird, dass die jeweils aktuelle Schwankung, durch das Verhältnis zwischen Niveauschätzwert und Beobachtungswert plus Trendparameter, mit eben jenen  $\gamma = 1$  gewichtet wird. Der jeweilige vorherige Saisonfaktor beeinflusst den Periodenschätzwert hingegen gar nicht. Es sollen an dieser Stelle dennoch die Ergebnisse der Prognose, die sich Tabelle 6 entnehmen lassen, aufgeführt werden.

$T + i$	61	62	63	64	65	66
$\hat{x}_{T+i}$	142.837,68	154.680,58	137.312,94	181.121,27	174.412,72	203.177,26
$T + i$	67	68	69	70	71	72
$\hat{x}_{T+i}$	157.339,67	134.769,79	135.011,72	174.816,80	144.085,00	153.029,35

Tabelle 6 – Vorhersage Kunde 2

Bei der Betrachtung dieser Vorhersagewerte muss beachtet werden, wie diese ermittelt wurden (vgl. Formel 25). Die Multiplikation mit dem entsprechenden vorherigen Saisonfaktor hat entscheidenden Einfluss auf die Vorhersagewerte, sodass im Grunde eine Wiederholung der vorherigen (Saison-) Schwankungen erfolgt. Wie bereits eindeutig bewiesen liegt dieser Zeitreihe keine Saisonalität zugrunde, sodass die Vorhersage lediglich die letztjährigen willkürlich aufgetretenen Schwankungen wiederholt. Die Vorhersagewerte haben daher spekulativen Charakter und sind trotz vermeintlich gegebener Prognosegüte nicht zur Verwendung in der Produktionsprogrammplanung geeignet.

Tabelle 7 – Vergangenheitswerte Kunde 1

	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>
Januar	24.059,34 €	-€	28.971,11 €	3.465,00 €	16.463,21 €	-€	-€	-€
Februar	32.129,64 €	51.797,96 €	29.869,84 €	-€	22.257,72 €	37.268,52 €	-€	44.429,22 €
März	65.632,76 €	31.107,15 €	28.322,26 €	63.295,81 €	78.200,91 €	44.007,33 €	46.474,74 €	68.475,40 €
April	35.681,47 €	6.202,91 €	32.166,69 €	57.249,90 €	57.036,62 €	24.934,66 €	29.879,45 €	76.350,70 €
Mai	38.850,85 €	62.726,68 €	21.488,98 €	35.543,44 €	39.607,84 €	40.258,74 €	86.732,14 €	31.408,49 €
Juni	89.512,86 €	31.813,96 €	77.500,80 €	86.144,01 €	57.219,92 €	155.024,13 €	64.413,01 €	96.842,69 €
Juli	47.686,12 €	39.537,71 €	44.088,73 €	30.716,48 €	65.591,27 €	39.225,64 €	26.467,06 €	34.040,70 €
August	94.083,75 €	35.522,53 €	119.854,77 €	93.215,83 €	81.790,43 €	65.662,67 €	37.070,00 €	157.263,51 €
September	63.542,06 €	114.952,58 €	113.976,52 €	203.064,00 €	209.662,95 €	157.365,42 €	207.981,09 €	185.070,10 €
Oktober	111.810,27 €	90.338,39 €	135.441,60 €	186.830,85 €	181.017,62 €	167.709,90 €	209.333,49 €	-€
November	25.109,23 €	69.814,85 €	20.958,02 €	20.157,81 €	47.042,94 €	120.105,51 €	17.519,07 €	46.003,98 €
Dezember	30.741,02 €	45.377,68 €	31.065,49 €	-€	1.512,61 €	9.488,49 €	17.146,53 €	-€
<b>Total</b>	<b>658.839,37 €</b>	<b>579.192,39 €</b>	<b>683.704,81 €</b>	<b>779.683,14 €</b>	<b>857.404,04 €</b>	<b>861.051,00 €</b>	<b>743.016,58 €</b>	<b>739.884,79 €</b>



Tabelle 8 – Prognose und Prognosefehler Vorgehensweise 1

$x_t$	$t$	$\hat{a}_t$	$\hat{b}_t$	$\hat{c}_t$	$\hat{x}_t$	$e_t$
28.971,11 €	1	56.975,40 €	-€	0,51	28.971,11 €	-€
29.869,84 €	2	56.975,40 €	0,00 €	0,52	29.869,84 €	-€
28.322,26 €	3	56.975,40 €	0,00 €	0,50	28.322,26 €	-€
32.166,69 €	4	56.975,40 €	0,00 €	0,56	32.166,69 €	-€
21.488,98 €	5	56.975,40 €	-0,00 €	0,38	21.488,98 €	-€
77.500,80 €	6	56.975,40 €	0,00 €	1,36	77.500,80 €	-€
44.088,73 €	7	56.975,40 €	0,00 €	0,77	44.088,73 €	-€
119.854,77 €	8	56.975,40 €	0,00 €	2,10	119.854,77 €	-€
113.976,52 €	9	56.975,40 €	0,00 €	2,00	113.976,52 €	-€
135.441,60 €	10	56.975,40 €	-0,00 €	2,38	135.441,60 €	-€
20.958,02 €	11	56.975,40 €	-0,00 €	0,37	20.958,02 €	-€
31.065,49 €	12	56.975,40 €	-0,00 €	0,55	31.065,49 €	-€
3.465,00 €	13	31.894,88 €	- 2.508,05 €	0,27	7.892,62 €	4.427,62 €
-€	14	14.693,42 €	- 3.977,39 €	0,21	2.247,19 €	2.247,19 €
63.295,81 €	15	69.023,55 €	1.853,36 €	0,75	53.090,28 €	- 10.205,53 €
57.249,90 €	16	86.140,53 €	3.379,72 €	0,62	55.913,89 €	- 1.336,01 €
35.543,44 €	17	91.879,67 €	3.615,66 €	0,38	36.572,19 €	1.028,75 €
86.144,01 €	18	79.412,43 €	2.007,37 €	1,19	97.293,45 €	11.149,44 €
30.716,48 €	19	60.557,19 €	- 78,89 €	0,61	37.125,62 €	6.409,14 €
93.215,83 €	20	52.395,17 €	- 887,20 €	1,91	98.323,79 €	5.107,96 €
203.064,00 €	21	76.508,53 €	1.612,85 €	2,39	186.918,05 €	- 16.145,95 €
186.830,85 €	22	78.357,20 €	1.636,44 €	2,38	190.503,77 €	3.672,92 €
20.157,81 €	23	67.396,81 €	376,75 €	0,33	22.134,32 €	1.976,51 €
-€	24	33.886,78 €	- 3.011,92 €	0,22	6.733,73 €	6.733,73 €
16.463,21 €	25	46.086,42 €	- 1.490,77 €	0,32	14.349,34 €	- 2.113,87 €
22.257,72 €	26	75.367,35 €	1.586,40 €	0,26	20.090,72 €	- 2.167,00 €
78.200,91 €	27	90.677,00 €	2.958,73 €	0,82	76.506,63 €	- 1.694,28 €
57.036,62 €	28	92.476,76 €	2.842,83 €	0,62	59.088,44 €	2.051,82 €
39.607,84 €	29	99.370,72 €	3.247,94 €	0,39	40.261,55 €	653,71 €
57.219,92 €	30	75.251,51 €	511,23 €	0,93	70.778,58 €	13.558,66 €
65.591,27 €	31	91.306,05 €	2.065,56 €	0,68	63.172,15 €	- 2.419,12 €
81.790,43 €	32	68.109,20 €	- 460,68 €	1,48	100.396,15 €	18.605,72 €
209.662,95 €	33	77.638,01 €	538,27 €	2,58	201.489,68 €	- 8.173,27 €
181.017,62 €	34	77.093,31 €	429,97 €	2,36	183.064,58 €	2.046,96 €
47.042,94 €	35	110.782,56 €	3.755,90 €	0,39	44.145,66 €	- 2.897,28 €
1.512,61 €	36	60.736,96 €	- 1.624,25 €	0,10	6.040,23 €	4.527,62 €
-€	37	29.556,36 €	- 4.579,89 €	0,13	3.214,63 €	3.214,63 €
37.268,52 €	38	83.863,29 €	1.308,80 €	0,37	31.604,62 €	- 5.663,90 €
44.007,33 €	39	69.516,12 €	- 256,80 €	0,71	48.942,65 €	4.935,32 €
24.934,66 €	40	54.741,56 €	- 1.708,58 €	0,52	27.643,86 €	2.709,20 €

$x_t$	$t$	$\hat{a}_t$	$\hat{b}_t$	$\hat{c}_t$	$\hat{x}_t$	$e_t$
40.258,74 €	41	77.822,24 €	770,35 €	0,47	36.728,40 €	- 3.530,34 €
155.024,13 €	42	122.266,68 €	5.137,76 €	1,13	144.532,22 €	- 10.491,91 €
39.225,64 €	43	92.690,95 €	1.666,41 €	0,52	49.494,14 €	10.268,50 €
65.662,67 €	44	69.300,96 €	- 839,23 €	1,16	79.561,71 €	13.899,04 €
157.365,42 €	45	64.759,08 €	- 1.209,50 €	2,49	158.172,28 €	806,86 €
167.709,90 €	46	67.285,27 €	- 835,93 €	2,44	162.141,57 €	- 5.568,33 €
120.105,51 €	47	189.035,01 €	11.422,64 €	0,54	107.322,13 €	- 12.783,38 €
9.488,49 €	48	146.658,37 €	6.042,71 €	0,08	12.168,96 €	2.680,47 €
-€	49	76.350,54 €	- 1.592,34 €	0,05	3.848,74 €	3.848,74 €
-€	50	37.379,10 €	- 5.330,25 €	0,15	4.756,92 €	4.756,92 €
46.474,74 €	51	48.907,90 €	- 3.644,35 €	0,85	38.601,36 €	- 7.873,38 €
29.879,45 €	52	51.292,68 €	- 3.041,43 €	0,56	26.925,18 €	- 2.954,27 €
86.732,14 €	53	116.921,70 €	3.825,61 €	0,63	76.313,35 €	- 10.418,79 €
64.413,01 €	54	88.763,53 €	627,23 €	0,89	79.484,15 €	15.071,14 €
26.467,06 €	55	69.924,25 €	- 1.319,42 €	0,44	29.974,96 €	3.507,90 €
37.070,00 €	56	50.251,52 €	- 3.154,75 €	0,91	42.738,77 €	5.668,77 €
207.981,09 €	57	65.329,13 €	- 1.331,51 €	2,91	185.960,23 €	- 22.020,86 €
209.333,49 €	58	74.893,65 €	- 241,91 €	2,65	198.056,82 €	- 11.276,67 €
17.519,07 €	59	53.687,04 €	- 2.338,38 €	0,41	21.050,14 €	3.531,07 €
17.146,53 €	60	133.255,16 €	5.852,27 €	0,11	15.174,01 €	- 1.972,52 €
-€	61	69.553,72 €	- 1.103,10 €	0,02	1.409,60 €	1.409,60 €
44.429,22 €	62	183.892,11 €	10.441,05 €	0,20	39.708,82 €	- 4.720,40 €
68.475,40 €	63	137.313,35 €	4.739,07 €	0,64	90.960,88 €	22.485,48 €
76.350,70 €	64	139.438,33 €	4.477,66 €	0,55	79.404,71 €	3.054,01 €
31.408,49 €	65	96.806,14 €	- 233,33 €	0,45	43.213,62 €	11.805,13 €
96.842,69 €	66	102.742,81 €	383,67 €	0,92	95.001,65 €	- 1.841,04 €
34.040,70 €	67	90.518,37 €	- 877,14 €	0,40	35.892,99 €	1.852,29 €
157.263,51 €	68	131.470,32 €	3.305,77 €	1,08	145.652,65 €	- 11.610,86 €
185.070,10 €	69	99.233,69 €	- 248,47 €	2,28	225.814,01 €	40.743,91 €
-€	70	49.492,61 €	- 5.197,73 €	1,06	47.007,09 €	47.007,09 €
46.003,98 €	71	78.257,34 €	- 1.801,48 €	0,52	39.504,07 €	- 6.499,91 €
-€	72	38.227,93 €	- 5.624,28 €	0,04	1.422,58 €	1.422,58 €
55.096,54 €	73	1.354.051,53 €	126.520,51 €	0,03	48.342,57 €	- 6.753,97 €
-€	74	740.286,02 €	52.491,91 €	0,08	64.796,51 €	64.796,51 €
147.271,66 €	75	511.385,08 €	24.352,62 €	0,43	229.791,18 €	82.519,52 €
75.146,80 €	76	335.968,25 €	4.375,68 €	0,35	120.788,33 €	45.641,53 €
54.190,57 €	77	230.723,90 €	- 6.586,32 €	0,32	71.704,28 €	17.513,71 €
115.451,81 €	78	174.731,59 €	- 11.526,92 €	0,76	124.839,95 €	9.388,14 €

Tabelle 9 - Prognose und -fehler Vorgehensweise 1 - optimiert

$x_t$	$t$	$\hat{a}_t$	$\hat{b}_t$	$\hat{c}_t$	$\hat{x}_t$	$e_t$
28.971,11 €	1	56.975,40 €	-€	0,51	28.971,11 €	-€
29.869,84 €	2	56.975,40 €	-€	0,52	29.869,84 €	-€
28.322,26 €	3	56.975,40 €	-€	0,50	28.322,26 €	-€
32.166,69 €	4	56.975,40 €	-€	0,56	32.166,69 €	-€
21.488,98 €	5	56.975,40 €	-€	0,38	21.488,98 €	-€
77.500,80 €	6	56.975,40 €	-€	1,36	77.500,80 €	-€
44.088,73 €	7	56.975,40 €	-€	0,77	44.088,73 €	-€
119.854,77 €	8	56.975,40 €	-€	2,10	119.854,77 €	-€
113.976,52 €	9	56.975,40 €	-€	2,00	113.976,52 €	-€
135.441,60 €	10	56.975,40 €	-€	2,38	135.441,60 €	-€
20.958,02 €	11	56.975,40 €	-€	0,37	20.958,02 €	-€
31.065,49 €	12	56.975,40 €	-€	0,55	31.065,49 €	-€
3.465,00 €	13	6.814,37 €	-€	0,51	3.465,00 €	0,00 €
-€	14	0,00 €	-€	0,32	0,00 €	0,00 €
63.295,81 €	15	127.331,07 €	-€	0,50	63.295,81 €	-0,00 €
57.249,90 €	16	101.404,16 €	-€	0,56	57.249,90 €	0,00 €
35.543,44 €	17	94.239,08 €	-€	0,38	35.543,44 €	0,00 €
86.144,01 €	18	63.329,54 €	-€	1,36	86.144,01 €	0,00 €
30.716,48 €	19	39.694,59 €	-€	0,77	30.716,48 €	0,00 €
93.215,83 €	20	44.312,04 €	-€	2,10	93.215,83 €	-0,00 €
203.064,00 €	21	101.509,08 €	-€	2,00	203.063,99 €	-0,01 €
186.830,85 €	22	78.593,01 €	-€	2,38	186.830,85 €	0,00 €
20.157,81 €	23	54.799,99 €	-€	0,37	20.157,81 €	0,00 €
-€	24	0,01 €	-€	0,33	0,00 €	0,00 €
16.463,21 €	25	32.377,02 €	-€	0,51	16.463,21 €	-0,00 €
22.257,72 €	26	70.628,34 €	-€	0,32	22.257,72 €	-0,00 €
78.200,91 €	27	157.315,40 €	-€	0,50	78.200,91 €	-0,00 €
57.036,62 €	28	101.026,39 €	-€	0,56	57.036,62 €	0,00 €
39.607,84 €	29	105.015,34 €	-€	0,38	39.607,84 €	-0,00 €
57.219,92 €	30	42.065,74 €	-€	1,36	57.219,93 €	0,01 €
65.591,27 €	31	84.762,90 €	-€	0,77	65.591,27 €	-0,00 €
81.790,43 €	32	38.880,75 €	-€	2,10	81.790,44 €	0,01 €
209.662,95 €	33	104.807,81 €	-€	2,00	209.662,94 €	-0,01 €
181.017,62 €	34	76.147,60 €	-€	2,38	181.017,63 €	0,01 €
47.042,94 €	35	127.888,53 €	-€	0,37	47.042,94 €	-0,00 €
1.512,61 €	36	4.615,10 €	-€	0,33	1.512,61 €	0,00 €
-€	37	0,00 €	-€	0,31	0,00 €	0,00 €
37.268,52 €	38	118.260,69 €	-€	0,32	37.268,52 €	-0,00 €
44.007,33 €	39	88.528,78 €	-€	0,50	44.007,33 €	0,00 €
24.934,66 €	40	44.165,64 €	-€	0,56	24.934,66 €	0,00 €

$x_t$	$t$	$\hat{a}_t$	$\hat{b}_t$	$\hat{c}_t$	$\hat{x}_t$	$e_t$
40.258,74 €	41	106.741,11 €	-€	0,38	40.258,74 €	-0,00 €
155.024,13 €	42	113.967,38 €	-€	1,36	155.024,13 €	-0,00 €
39.225,64 €	43	50.690,89 €	-€	0,77	39.225,64 €	0,00 €
65.662,67 €	44	31.214,09 €	-€	2,10	65.662,67 €	0,00 €
157.365,42 €	45	78.664,94 €	-€	2,00	157.365,41 €	-0,01 €
167.709,90 €	46	70.549,52 €	-€	2,38	167.709,90 €	0,00 €
120.105,51 €	47	326.512,66 €	-€	0,37	120.105,50 €	-0,01 €
9.488,49 €	48	28.950,18 €	-€	0,33	9.488,50 €	0,01 €
-€	49	0,00 €	-€	0,18	0,00 €	0,00 €
-€	50	0,00 €	-€	0,19	0,00 €	0,00 €
46.474,74 €	51	93.492,41 €	-€	0,50	46.474,74 €	-0,00 €
29.879,45 €	52	52.924,13 €	-€	0,56	29.879,45 €	0,00 €
86.732,14 €	53	229.959,63 €	-€	0,38	86.732,13 €	-0,01 €
64.413,01 €	54	47.353,82 €	-€	1,36	64.413,03 €	0,02 €
26.467,06 €	55	34.203,11 €	-€	0,77	26.467,06 €	0,00 €
37.070,00 €	56	17.621,98 €	-€	2,10	37.070,00 €	0,00 €
207.981,09 €	57	103.967,06 €	-€	2,00	207.981,08 €	-0,01 €
209.333,49 €	58	88.059,06 €	-€	2,38	209.333,49 €	0,00 €
17.519,07 €	59	47.626,45 €	-€	0,37	17.519,07 €	0,00 €
17.146,53 €	60	52.315,47 €	-€	0,33	17.146,53 €	-0,00 €
-€	61	0,01 €	-€	0,11	0,00 €	0,00 €
44.429,22 €	62	234.536,68 €	-€	0,19	44.429,22 €	-0,00 €
68.475,40 €	63	137.750,78 €	-€	0,50	68.475,40 €	0,00 €
76.350,70 €	64	135.236,55 €	-€	0,56	76.350,70 €	0,00 €
31.408,49 €	65	83.275,77 €	-€	0,38	31.408,49 €	0,00 €
96.842,69 €	66	71.194,79 €	-€	1,36	96.842,69 €	0,00 €
34.040,70 €	67	43.990,45 €	-€	0,77	34.040,70 €	0,00 €
157.263,51 €	68	74.758,41 €	-€	2,10	157.263,50 €	-0,01 €
185.070,10 €	69	92.514,15 €	-€	2,00	185.070,10 €	-0,00 €
-€	70	0,01 €	-€	1,43	0,02 €	0,02 €
46.003,98 €	71	125.064,05 €	-€	0,37	46.003,98 €	-0,00 €
-€	72	0,02 €	-€	0,20	0,00 €	0,00 €
55.096,54 €	73	498.859,44 €	-€	0,11	55.096,54 €	-0,00 €
-€	74	0,07 €	-€	0,11	0,01 €	0,01 €
147.271,66 €	75	296.263,79 €	-€	0,50	147.271,65 €	-0,01 €
75.146,80 €	76	133.104,16 €	-€	0,56	75.146,81 €	0,01 €
54.190,57 €	77	143.679,66 €	-€	0,38	54.190,57 €	-0,00 €
115.451,81 €	78	84.875,46 €	-€	1,36	115.451,82 €	0,01 €

Tabelle 10 – Prognose und -fehler Vorgehensweise 2

$x_t$	$t$	$\hat{a}_t$	$\hat{b}_t$	$\hat{c}_t$	$\hat{x}_t$	$e_t$
28.971,11 €	1	57.998,54 €	-163,37 €	0,50	28.862,17 €	-108,94 €
29.869,84 €	2	57.896,63 €	-157,23 €	0,52	29.776,09 €	-93,75 €
28.322,26 €	3	57.759,76 €	-155,19 €	0,49	28.242,18 €	-80,08 €
32.166,69 €	4	57.603,36 €	-155,31 €	0,56	32.080,23 €	-86,46 €
21.488,98 €	5	57.436,12 €	-156,51 €	0,37	21.432,21 €	-56,77 €
77.500,80 €	6	57.262,92 €	-158,18 €	1,35	77.295,74 €	-205,06 €
44.088,73 €	7	57.086,50 €	-160,00 €	0,77	43.970,78 €	-117,95 €
119.854,77 €	8	56.908,39 €	-161,81 €	2,11	119.529,20 €	-325,57 €
113.976,52 €	9	56.729,45 €	-163,52 €	2,01	113.661,71 €	-314,81 €
135.441,60 €	10	56.550,14 €	-165,10 €	2,40	135.061,25 €	-380,35 €
20.958,02 €	11	56.370,71 €	-166,54 €	0,37	20.898,23 €	-59,79 €
31.065,49 €	12	56.191,29 €	-167,82 €	0,55	30.975,55 €	-89,94 €
3.465,00 €	13	31.483,39 €	-2.621,83 €	0,27	7.667,12 €	4.202,12 €
-€	14	14.430,78 €	-4.064,91 €	0,21	2.138,26 €	2.138,26 €
63.295,81 €	15	69.734,04 €	1.871,91 €	0,74	53.039,63 €	-10.256,18 €
57.249,90 €	16	87.063,44 €	3.417,66 €	0,62	55.908,98 €	-1.340,92 €
35.543,44 €	17	92.737,16 €	3.643,26 €	0,38	36.588,87 €	1.045,43 €
86.144,01 €	18	80.011,06 €	2.006,33 €	1,19	97.389,26 €	11.245,25 €
30.716,48 €	19	60.892,14 €	-106,20 €	0,61	37.178,49 €	6.462,01 €
93.215,83 €	20	52.520,12 €	-932,78 €	1,91	98.400,94 €	5.185,11 €
203.064,00 €	21	76.323,01 €	1.540,79 €	2,40	186.880,82 €	-16.183,18 €
186.830,85 €	22	77.930,74 €	1.547,48 €	2,40	190.475,36 €	3.644,51 €
20.157,81 €	23	66.845,55 €	284,21 €	0,33	22.130,37 €	1.972,56 €
-€	24	33.564,88 €	-3.072,27 €	0,22	6.743,78 €	6.743,78 €
16.463,21 €	25	46.232,78 €	-1.498,26 €	0,32	14.311,33 €	-2.151,88 €
22.257,72 €	26	76.317,74 €	1.660,07 €	0,26	20.079,20 €	-2.178,52 €
78.200,91 €	27	91.776,32 €	3.039,92 €	0,81	76.567,44 €	-1.633,47 €
57.036,62 €	28	93.561,14 €	2.914,41 €	0,61	59.133,18 €	2.096,56 €
39.607,84 €	29	100.404,19 €	3.307,27 €	0,39	40.296,28 €	688,44 €
57.219,92 €	30	75.949,91 €	531,12 €	0,93	70.898,14 €	13.678,22 €
65.591,27 €	31	91.860,59 €	2.069,07 €	0,67	63.221,26 €	-2.370,01 €
81.790,43 €	32	68.404,41 €	-483,45 €	1,48	100.550,11 €	18.759,68 €
209.662,95 €	33	77.638,46 €	488,30 €	2,58	201.593,74 €	-8.069,21 €
181.017,62 €	34	76.829,31 €	358,55 €	2,37	183.111,98 €	2.094,36 €
47.042,94 €	35	109.943,41 €	3.634,11 €	0,39	44.135,79 €	-2.907,15 €
1.512,61 €	36	60.208,46 €	-1.702,80 €	0,10	6.057,57 €	4.544,96 €
-€	37	29.252,83 €	-4.628,08 €	0,13	3.151,15 €	3.151,15 €
37.268,52 €	38	84.678,74 €	1.377,32 €	0,37	31.588,56 €	-5.679,96 €
44.007,33 €	39	70.275,97 €	-200,69 €	0,70	48.964,29 €	4.956,96 €
24.934,66 €	40	55.378,04 €	-1.670,42 €	0,52	27.677,22 €	2.742,56 €

$x_t$	$t$	$\hat{a}_t$	$\hat{b}_t$	$\hat{c}_t$	$\hat{x}_t$	$e_t$
40.258,74 €	41	78.661,23 €	824,95 €	0,46	36.762,06 €	-3.496,68 €
155.024,13 €	42	123.358,85 €	5.212,21 €	1,12	144.618,87 €	-10.405,26 €
39.225,64 €	43	93.424,87 €	1.697,59 €	0,52	49.572,68 €	10.347,04 €
65.662,67 €	44	69.738,59 €	-840,79 €	1,16	79.721,10 €	14.058,43 €
157.365,42 €	45	64.942,03 €	-1.236,37 €	2,49	158.374,65 €	1.009,23 €
167.709,90 €	46	67.200,51 €	-886,88 €	2,45	162.223,98 €	-5.485,92 €
120.105,51 €	47	187.694,51 €	11.251,20 €	0,54	107.306,90 €	-12.798,61 €
9.488,49 €	48	145.294,05 €	5.886,04 €	0,08	12.184,89 €	2.696,40 €
-€	49	75.590,04 €	-1.672,97 €	0,05	3.783,57 €	3.783,57 €
-€	50	36.958,54 €	-5.368,82 €	0,15	4.638,25 €	4.638,25 €
46.474,74 €	51	49.051,03 €	-3.622,69 €	0,85	38.522,41 €	-7.952,33 €
29.879,45 €	52	51.704,70 €	-2.995,05 €	0,55	26.929,83 €	-2.949,62 €
86.732,14 €	53	118.120,04 €	3.945,99 €	0,63	76.359,77 €	-10.372,37 €
64.413,01 €	54	89.665,69 €	705,95 €	0,88	79.612,69 €	15.199,68 €
26.467,06 €	55	70.578,96 €	-1.273,32 €	0,43	30.041,08 €	3.574,02 €
37.070,00 €	56	50.671,42 €	-3.136,74 €	0,90	42.865,95 €	5.795,95 €
207.981,09 €	57	65.597,19 €	-1.330,49 €	2,90	186.165,36 €	-21.815,73 €
209.333,49 €	58	74.918,83 €	-265,27 €	2,66	198.205,79 €	-11.127,70 €
17.519,07 €	59	53.566,85 €	-2.373,95 €	0,41	21.090,53 €	3.571,46 €
17.146,53 €	60	131.966,43 €	5.703,41 €	0,11	15.170,94 €	-1.975,59 €
-€	61	68.834,92 €	-1.180,09 €	0,02	1.385,21 €	1.385,21 €
44.429,22 €	62	185.124,43 €	10.566,87 €	0,20	39.672,31 €	-4.756,91 €
68.475,40 €	63	138.221,17 €	4.819,86 €	0,64	91.036,38 €	22.560,98 €
76.350,70 €	64	140.570,62 €	4.572,82 €	0,55	79.398,51 €	3.047,81 €
31.408,49 €	65	97.675,97 €	-173,93 €	0,44	43.208,94 €	11.800,45 €
96.842,69 €	66	103.716,08 €	447,48 €	0,91	95.061,37 €	-1.781,32 €
34.040,70 €	67	91.348,22 €	-834,06 €	0,40	35.931,57 €	1.890,87 €
157.263,51 €	68	132.453,00 €	3.359,83 €	1,07	145.741,06 €	-11.522,45 €
185.070,10 €	69	99.850,71 €	-236,38 €	2,27	226.202,81 €	41.132,71 €
-€	70	49.807,17 €	-5.217,10 €	1,06	47.354,79 €	47.354,79 €
46.003,98 €	71	78.127,62 €	-1.863,35 €	0,52	39.511,86 €	-6.492,12 €
-€	72	38.132,13 €	-5.676,56 €	0,04	1.430,62 €	1.430,62 €
55.096,54 €	73	1.361.707,31 €	127.248,61 €	0,03	48.341,48 €	-6.755,06 €
-€	74	744.477,96 €	52.800,82 €	0,08	64.652,62 €	64.652,62 €
147.271,66 €	75	514.339,78 €	24.506,92 €	0,43	229.749,71 €	82.478,05 €
75.146,80 €	76	338.108,93 €	4.433,14 €	0,35	120.632,23 €	45.485,43 €
54.190,57 €	77	232.412,22 €	-6.579,84 €	0,32	71.625,71 €	17.435,14 €
115.451,81 €	78	176.169,39 €	-11.546,14 €	0,76	124.826,21 €	9.374,40 €

Tabelle 11 – Prognose und -fehler Vorgehensweise 2 - optimiert

$x_t$	$t$	$\hat{a}_t$	$\hat{b}_t$	$\hat{c}_t$	$\hat{x}_t$	$e_t$
28.971,11 €	1	58.135,49 €	-176,34 €	0,50	28.883,08 €	-88,03 €
29.869,84 €	2	57.958,09 €	-176,34 €	0,52	29.778,96 €	-90,88 €
28.322,26 €	3	57.780,13 €	-176,34 €	0,49	28.235,82 €	-86,44 €
32.166,69 €	4	57.602,16 €	-176,35 €	0,56	32.068,21 €	-98,48 €
21.488,98 €	5	57.424,19 €	-176,35 €	0,37	21.422,99 €	-65,99 €
77.500,80 €	6	57.246,22 €	-176,36 €	1,35	77.262,05 €	-238,75 €
44.088,73 €	7	57.068,26 €	-176,36 €	0,77	43.952,48 €	-136,25 €
119.854,77 €	8	56.890,29 €	-176,37 €	2,11	119.483,21 €	-371,56 €
113.976,52 €	9	56.712,32 €	-176,37 €	2,01	113.622,07 €	-354,45 €
135.441,60 €	10	56.534,35 €	-176,38 €	2,40	135.019,05 €	-422,55 €
20.958,02 €	11	56.356,39 €	-176,38 €	0,37	20.892,43 €	-65,59 €
31.065,49 €	12	56.178,42 €	-176,38 €	0,55	30.967,95 €	-97,54 €
3.465,00 €	13	7.054,53 €	-317,35 €	0,50	3.335,23 €	-129,77 €
-€	14	13,92 €	-336,71 €	0,28	-90,01 €	-90,01 €
63.295,81 €	15	128.861,97 €	35,33 €	0,49	63.242,19 €	-53,62 €
57.249,90 €	16	102.574,17 €	-40,48 €	0,56	57.243,77 €	-6,13 €
35.543,44 €	17	94.997,00 €	-62,18 €	0,37	35.523,33 €	-20,11 €
86.144,01 €	18	63.695,26 €	-152,15 €	1,35	85.985,51 €	-158,50 €
30.716,48 €	19	39.808,43 €	-220,51 €	0,77	30.566,77 €	-149,71 €
93.215,83 €	20	44.236,22 €	-207,12 €	2,11	92.768,46 €	-447,37 €
203.064,00 €	21	100.922,54 €	-43,27 €	2,01	202.848,87 €	-215,13 €
186.830,85 €	22	78.031,93 €	-109,07 €	2,40	186.630,96 €	-199,89 €
20.157,81 €	23	54.253,63 €	-177,23 €	0,37	20.101,79 €	-56,02 €
-€	24	111,76 €	-332,65 €	0,30	-66,09 €	-66,09 €
16.463,21 €	25	33.186,56 €	-236,44 €	0,50	16.327,52 €	-135,69 €
22.257,72 €	26	79.726,52 €	-101,72 €	0,28	22.214,72 €	-43,00 €
78.200,91 €	27	159.220,62 €	127,51 €	0,49	78.219,74 €	18,83 €
57.036,62 €	28	102.280,83 €	-36,84 €	0,56	57.051,76 €	15,14 €
39.607,84 €	29	105.843,06 €	-26,48 €	0,37	39.596,42 €	-11,42 €
57.219,92 €	30	42.416,70 €	-209,07 €	1,35	57.033,55 €	-186,37 €
65.591,27 €	31	84.860,85 €	-86,23 €	0,77	65.487,76 €	-103,51 €
81.790,43 €	32	38.913,76 €	-218,30 €	2,10	81.439,26 €	-351,17 €
209.662,95 €	33	104.132,48 €	-29,85 €	2,01	209.455,45 €	-207,50 €
181.017,62 €	34	75.638,11 €	-111,83 €	2,39	180.826,28 €	-191,34 €
47.042,94 €	35	126.446,09 €	34,82 €	0,37	47.034,68 €	-8,26 €
1.512,61 €	36	5.306,72 €	-314,15 €	0,29	1.461,28 €	-51,33 €
-€	37	10,32 €	-328,50 €	0,27	-85,30 €	-85,30 €
37.268,52 €	38	133.305,75 €	56,33 €	0,28	37.242,48 €	-26,04 €
44.007,33 €	39	89.741,44 €	-69,30 €	0,49	43.997,32 €	-10,01 €
24.934,66 €	40	44.779,05 €	-198,59 €	0,56	24.852,02 €	-82,64 €



$x_t$	$t$	$\hat{a}_t$	$\hat{b}_t$	$\hat{c}_t$	$\hat{x}_t$	$e_t$
40.258,74 €	41	107.456,33 €	-17,51 €	0,37	40.225,82 €	-32,92 €
155.024,13 €	42	114.710,43 €	3,43 €	1,35	155.017,76 €	-6,37 €
39.225,64 €	43	50.910,17 €	-180,32 €	0,77	39.141,74 €	-83,90 €
65.662,67 €	44	31.239,66 €	-236,45 €	2,10	65.211,29 €	-451,38 €
157.365,42 €	45	78.115,50 €	-100,77 €	2,01	157.056,34 €	-309,08 €
167.709,90 €	46	70.064,40 €	-123,66 €	2,39	167.435,18 €	-274,72 €
120.105,51 €	47	322.452,64 €	603,56 €	0,37	120.224,90 €	119,39 €
9.488,49 €	48	33.018,73 €	-231,74 €	0,29	9.516,35 €	27,86 €
-€	49	67,76 €	-325,97 €	0,15	-37,45 €	-37,45 €
-€	50	-0,53 €	-325,22 €	0,15	-49,22 €	-49,22 €
46.474,74 €	51	94.524,99 €	-52,06 €	0,49	46.397,03 €	-77,71 €
29.879,45 €	52	53.683,32 €	-169,53 €	0,56	29.810,49 €	-68,96 €
86.732,14 €	53	231.283,99 €	342,44 €	0,37	86.785,86 €	53,72 €
64.413,01 €	54	48.046,14 €	-186,26 €	1,35	64.440,20 €	27,19 €
26.467,06 €	55	34.330,78 €	-225,23 €	0,77	26.305,04 €	-162,02 €
37.070,00 €	56	17.658,14 €	-272,59 €	2,10	36.535,91 €	-534,09 €
207.981,09 €	57	103.133,03 €	-25,65 €	2,01	207.735,99 €	-245,10 €
209.333,49 €	58	87.474,79 €	-70,67 €	2,39	209.206,28 €	-127,21 €
17.519,07 €	59	47.158,82 €	-186,57 €	0,37	17.466,48 €	-52,59 €
17.146,53 €	60	59.050,46 €	-151,79 €	0,29	17.098,54 €	-47,99 €
-€	61	121,73 €	-321,06 €	0,08	-15,64 €	-15,64 €
44.429,22 €	62	293.448,38 €	524,63 €	0,15	44.458,85 €	29,63 €
68.475,40 €	63	139.748,00 €	80,47 €	0,49	68.599,75 €	124,35 €
76.350,70 €	64	137.065,36 €	72,51 €	0,56	76.392,82 €	42,12 €
31.408,49 €	65	83.937,62 €	-80,70 €	0,37	31.400,61 €	-7,88 €
96.842,69 €	66	71.949,93 €	-114,99 €	1,35	96.705,85 €	-136,84 €
34.040,70 €	67	44.192,40 €	-194,60 €	0,77	33.914,59 €	-126,11 €
157.263,51 €	68	74.769,84 €	-105,98 €	2,10	156.968,24 €	-295,27 €
185.070,10 €	69	91.821,90 €	-56,57 €	2,02	184.917,37 €	-152,73 €
-€	70	189,66 €	-320,30 €	1,30	-169,18 €	-169,18 €
46.003,98 €	71	123.461,63 €	35,64 €	0,37	45.965,75 €	-38,23 €
-€	72	255,24 €	-319,29 €	0,16	-10,06 €	-10,06 €
55.096,54 €	73	700.596,06 €	1.698,57 €	0,08	55.168,35 €	71,81 €
-€	74	1.451,50 €	-319,82 €	0,08	92,60 €	92,60 €
147.271,66 €	75	299.569,18 €	539,66 €	0,49	147.372,61 €	100,95 €
75.146,80 €	76	135.242,51 €	64,86 €	0,56	75.285,80 €	139,00 €
54.190,57 €	77	144.699,22 €	91,91 €	0,37	54.221,05 €	30,48 €
115.451,81 €	78	85.881,80 €	-77,75 €	1,35	115.436,08 €	-15,73 €



## Literaturverzeichnis

- Adam, Dietrich: Produktionspolitik, Wiesbaden (Gabler Verlag), 1990.
- Alicke, Knut: Planung und Betrieb von Logistiknetzwerken – Unternehmensübergreifendes Supply Chain Management, Berlin Heidelberg (Springer Verlag), 2005.
- Backhaus, Klaus et al.: Multivariate Analysemethoden - Eine anwendungsorientierte Einführung, Berlin Heidelberg (Springer Verlag), 2011.
- Barrot, Christian: Prognosegütemaß, in: Methodik der empirischen Forschung (Hrsg.: Albers, Sönke et al.), Wiesbaden (Springer Fachmedien), 2009.
- Bloech et al.: Einführung in die Produktion, Berlin Heidelberg (Springer Verlag), 2014.
- Bradtke, Thomas: Statistische Grundlagen für Ökonomen, München (Oldenbourg Wissenschaftsverlag), 2007.
- Bretzke, Wolf-Rüdiger: Logistische Netzwerke, Berlin Heidelberg (Springer Verlag), 2010.
- Burchert, Heiko: Grundbegriffe der Produktionswirtschaft; in: Produktionswirtschaft - Aufgaben und Lösungen (Hrsg.: Rollberg, Roland; Hering, Thomas; Burchert, Heiko), München (Oldenbourg Wissenschaftsverlag), 2010.
- Deistler, Manfred; Neusser, Klaus: Prognose uni- und multivariater Zeitreihen, in: Prognoserechnung (Hrsg.: Mertens, Peter; Rässler, Susanne), Berlin Heidelberg (Springer Verlag), 2012.
- Dyckhoff, Harald; Spengler, Thomas S.: Produktionswirtschaft – Eine Einführung, Heidelberg (Springer Verlag), 2010.
- Fleischmann, Bernhard: Begriffliche Grundlagen in: Handbuch Logistik (Hrsg.: Arnold, Dieter et al.), Heidelberg (Springer Verlag), 2008.
- Granger, C.W.J.; Newbold, Paul: Forecasting Economic Time Series, Orlando London (Academic Press, Inc), 1986.
- Gudehus, Timm: Dynamische Disposition - Strategien zur optimalen Auftrags- und Bestandsdisposition, Berlin Heidelberg (Springer Verlag), 2006.
- Günther, Hans-Otto; Tempelmeier, Horst: Produktion und Logistik – Supply Chain und Operations Management, Norderstedt (Books on Demand), 2014.
- Hartung, Joachim; Elpelt, Bärbel; Klösener, Karl-Heinz: Statistik: Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik, München (Oldenbourg Wissenschaftsverlag), 2005

- Harvey, A.C.; Todd, P.H.J.: Forecasting Economic Time Series with Structural and Box-Jenkins Models, in: Modelling Seasonality – Advanced Texts in Econometrics (Hrsg.: Hylleberg, Svend), Oxford (Oxford University Press), 1992.
- Hylleberg, Svend: General Introduction, in: Modelling Seasonality – Advanced Texts in Econometrics (Hrsg.: Hylleberg, Svend), Oxford (Oxford University Press), 1992.
- Hyndman, Rob J.; Koehler, Anne B.: Another look at measures of forecast accuracy, in: International Journal of Forecasting, Volume 22 (2006), Heftnummer 4, S. 679–688.
- Inderfurth, Karl; Jensen, Thomas: Lagerbestandsmanagement in: Handbuch Logistik (Hrsg.: Arnold, Dieter et al.), Heidelberg (Springer Verlag), 2008.
- Kiener, Stefan et al. : Produktions-Management: Grundlagen der Produktionsplanung und -steuerung, München (Oldenbourg Wissenschaftsverlag), 2012.
- Kistner, Klaus Peter, Steven, Marion: Betriebswirtschaftslehre im Grundstudium 2, Berlin Heidelberg (Springer Verlag), 1997.
- Kühnapfel, Jörg B.: Vertriebsprognosen – Methoden für die Praxis, Wiesbaden (Springer Fachmedien), 2015.
- Küsters, Ulrich: Evaluation, Kombination und Auswahl betriebswirtschaftlicher Prognoseverfahren; in: Prognoserechnung (Hrsg.: Mertens, Peter; Rässler, Susanne), Berlin Heidelberg (Springer Verlag), 2012.
- Meißner, Jörg; Wendler, Tilo: Statistik-Praktikum mit Excel, Wiesbaden (Springer Fachmedien), 2015.
- Mosler, Karl; Schmid, Friedrich: Beschreibende Statistik und Wirtschaftsstatistik, Berlin Heidelberg (Springer Verlag), 2006.
- Schäffer, Karl-August: Einführung in die Analyse saisonaler Zeitreihen; in: Analyse saisonaler Zeitreihen (Hrsg.: Edel, Klaus; Schäffer, Karl-August; Stier, Winfried), Berlin Heidelberg (Springer Verlag), 1997.
- Schmidt, Achim; Schneider, Marc: Lager- und Materialflussprozesse, in: Handbuch Logistik (Hrsg.: Arnold, Dieter et al.), Heidelberg (Springer Verlag), 2008.
- Schmidt, Matthias: Produktionsplanung und –steuerung, in: Handbuch Logistik (Hrsg.: Arnold, Dieter et al.), Heidelberg (Springer Verlag), 2008.

- Schröder, Michael: Einführung in die kurzfristige Zeitreihenprognose und Vergleich der einzelnen Verfahren, in: Prognoserechnung (Hrsg.: Mertens, Peter; Rässler, Susanne), Berlin Heidelberg (Springer Verlag), 2012.
- Schuh, Günther; Brandenburg, Ulrich; Cuber, Stefan: Aufgaben Grundlagen der Produktionsplanung und -steuerung, in: Produktionsplanung und -steuerung 1 - Grundlagen der PPS (Hrsg.: Schuh, Günther; Stich, Volker), Berlin, Heidelberg (Springer Verlag), 2012.
- Schuh, Günther; Schmidt, Carsten; Hering, Niklas: Produktionsbedarfsplanung, in: Produktionsplanung und -steuerung 1 - Grundlagen der PPS (Hrsg.: Schuh, Günther; Stich, Volker), Berlin, Heidelberg (Springer Verlag), 2012.
- Schuh, Günther; Schmidt, Carsten: Grundlagen des Produktionsmanagements, in: Produktionsmanagement (Hrsg.: Schuh, Günther; Schmidt, Carsten), Heidelberg (Springer Verlag), 2014.
- Schuh, Günther; Schmidt, Carsten, Bauhoff, Fabian: Produktionsprogrammplanung, in: Produktionsmanagement (Hrsg.: Schuh, Günther; Schmidt, Carsten), Heidelberg (Springer Verlag), 2014.
- Schuhr, Roland: Einführung in die Prognose saisonaler Zeitreihen mithilfe exponentieller Glättungstechniken und Vergleich der Verfahren von Holt/ Winters und Harrison; in: Prognoserechnung (Hrsg.: Mertens, Peter; Rässler, Susanne), Berlin Heidelberg (Springer Verlag), 2012.
- Tempelmeier, Horst: Inventory Management in Supply Networks, Norderstedt (Books on Demand), 2006.
- Tempelmeier, Horst: Bestandsmanagement in Supply Chains, Norderstedt (Books on Demand), 2012.
- Vogel, Jürgen: Prognose von Zeitreihen, Wiesbaden (Springer Fachmedien), 2015.
- Wannenwetsch, Helmut: Integrierte Materialwirtschaft und Logistik, Heidelberg (Springer Verlag), 2010.
- Wöhe, Günter; Döring, Ulrich: Einführung in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, München (Vahlen Verlag), 2010.
- Zäpfle, Günther: Taktisches Produktions-Management, München (Oldenbourg-Verlag), 2000.

## Internetquellen:

Frontline Systems, Inc. „Beispiel für eine Berechnung in Solver“, September 2015

<https://support.office.com/de-ch/article/Beispiel-f%C3%BCr-eine-Berechnung-in-Solver-e2e6deb2-b838-40d8-adad-7903cfd4e029?ui=de-DE&rs=de-CH&ad=CH> (Stand: 04.09.2015).

Lagerwiki „Lagerbewegung“, 05.09.2013

<http://www.lagerwiki.de/index.php?title=Lagerbewegung> (Stand: 29.07.2015).

Siepermann, Christoph „Produktionsplanung und -steuerung“, Juli 2015

<http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/17918/produktionsplanung-und-steuerung-v10.html> (Stand: 22.07.2015).

Statista “Median”, Juli 2015

<http://de.statista.com/statistik/lexikon/definition/85/median/>  
(Stand: 14.07.2015).

Statista “Root Mean Squared Error”, Juli 2015

[http://de.statista.com/statistik/lexikon/definition/303/root\\_mean\\_square\\_error/](http://de.statista.com/statistik/lexikon/definition/303/root_mean_square_error/)  
(Stand: 14.07.2015).

Voigt, Kai-Ingo “Fehlmengen”, September 2015

<http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/72576/fehlmengen-v4.html>  
(Stand 02.09.2015).

Wikipedia „Backcasting“, 2.November 2014

<https://en.wikipedia.org/wiki/Backcasting> (Stand: 03.09.2014).

Wikipedia „Determiniertheit“, 16.Dezember 2013

[https://de.wikipedia.org/wiki/Determiniertheit\\_\(Algorithmus\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Determiniertheit_(Algorithmus))  
(Stand: 04.09.2014).

Wikipedia „Extrapolation“, 17.Januar 2015

<https://de.wikipedia.org/wiki/Extrapolation> (Stand: 20.08.2015).

Wikipedia „Naive Prognose“, 4.August 2014

[https://de.wikipedia.org/wiki/Naive\\_Prognose](https://de.wikipedia.org/wiki/Naive_Prognose) (Stand: 03.09.2015).

Wirtschaftslehre „Produktionsmanagement“, 06.02.2013

<http://www.wirtschafts-lehre.de/produktionsmanagement.html>  
(Stand: 21.07.2015).

Wirtschaftslexikon „Bereitstellungsplanung“, Juli 2015

<http://www.wirtschaftslexikon.co/d/bereitstellungsplanung/bereitstellungsplanung.htm> (Stand: 24.07.2015).

Wirtschaftslexikon24 „Durchführungsplanung“, Juli 2015

<http://www.wirtschaftslexikon24.com/e/durchf%C3%BChrungsplanung/durchf%C3%BChrungsplanung.htm> (Stand: 24.07.2015).

Wirtschaftslexikon24 „Lagerhaltungspolitik“, Juli 2015

<http://www.wirtschaftslexikon24.com/d/lagerhaltungspolitik/lagerhaltungspolitik.htm> (Stand: 27.07.2015).

Wirtschaftslexikon24 „Produktionsmanagement“, Juli 2015

<http://www.wirtschaftslexikon24.com/e/produktionsmanagement/produktionsmanagement.htm> (Stand: 16.07.2015).

## **Erklärungen**

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht.

Ich erkläre mich damit einverstanden, dass ein Exemplar meiner Bachelor-Thesis in die Bibliothek des Fachbereichs aufgenommen wird; Rechte Dritter werden dadurch nicht verletzt.

Hamburg, den 07.09.2015

Mattis Hillmer