



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN
Vienna University of Technology

Diplomarbeit

Entwicklung von Prognoseverfahren für Ersatzteilbedarfe von Gasmotoren

**Analyse von gängigen Prognoseverfahren sowie Prüfung von
neuartigen Prognoseverfahren für ausgewählte Ersatzteile
hinsichtlich des Bedarfes**

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines

Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl. Wirt.-Ing. Prof. eh. Dr. h.c. Wilfried Sihn
(E330 Institut für Managementwissenschaften, Bereich: Betriebstechnik und Systemplanung)

Martin Riester, MBE (Univ.)

Dipl.-Ing. Rudolf Schmidhofer

(Fraunhofer Austria Research GmbH)

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften

von

Lukas Hofbauer BSc



Jenbach, im März 2018

Lukas Hofbauer



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN
Vienna University of Technology

Ich habe zur Kenntnis genommen, dass ich zur Drucklegung meiner Arbeit unter der Bezeichnung

Diplomarbeit

nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin.

Ich erkläre weiters Eides statt, dass ich meine Diplomarbeit nach den anerkannten Grundsätzen für wissenschaftliche Abhandlungen selbstständig ausgeführt habe und alle verwendeten Hilfsmittel, insbesondere die zugrunde gelegte Literatur, genannt habe.

Weiters erkläre ich, dass ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch Ausland (einer Beurteilerin/einem Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe und dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit übereinstimmt.

Jenbach, im März 2018

Lukas Hofbauer

Aus Gründen der Lesbarkeit wird in dieser Arbeit darauf verzichtet, geschlechtsspezifische Formulierungen zu verwenden. Soweit personenbezogene Bezeichnungen nur in männlicher Form angeführt sind, beziehen sie sich auf Männer und Frauen in gleicher Weise.

Sperrvermerk:

Ich weise darauf hin, dass die Diplomarbeit vertrauliche Informationen und unternehmensinterne Daten beinhaltet. Daher ist eine Veröffentlichung oder Weitergabe von Inhalten an Dritte ohne die vorherige Einverständniserklärung des Unternehmens GE Jenbacher GmbH & Co OG und des Instituts für Managementwissenschaften für die nächsten 5 Jahre nicht gestattet.

Kurzfassung

Unternehmen in Bereichen des Maschinen- und Anlagenbaus sind mit steigenden Wettbewerbsdruck konfrontiert. Das After Sales Service-Geschäft nimmt dabei aufgrund höherer Rendite, im Vergleich zum Neuanlagengeschäft, eine wichtige Rolle ein. Die Anforderungen an eine zuverlässige und kostenoptimierte Ersatzteillogistik steigen dadurch.

Das Ziel dieser Arbeit ist die Erhöhung der Prognosegenauigkeit für eine ausgesuchte Gruppe von Ersatzteilen. Dadurch sollen sowohl die Ersatzteilbestände verringert, als auch Fehlteile im Service vermieden werden.

Im Theorieteil dieser Arbeit werden neben den Grundlagen des After Sales Managements, jene Methoden beschrieben, welche im Praxisteil Anwendung finden. Es werden Methoden zur Zeitreihenanalyse, Methoden der Bedarfsermittlung, Klassifizierungsmethoden von Ersatzteilen sowie Grundlagen der Prozessanalyse erläutert.

Im Praxisteil wird der IST-Prozess der Bedarfsprognose von Ersatzteilen am Beispiel von *GE Jenbacher GmbH & Co OG* dargestellt. Weiters wird ein SOLL-Prozess, welcher den Ersatzteilbedarf von geplanten Wartungen mit Hilfe von künstlichen neuronalen Netzen prognostiziert, beschrieben. Dieser wird in den weiteren Kapiteln bewertet und mit in der Praxis gängigen und bestehenden Prognoseverfahren verglichen. Der Fokus liegt auf dem verbesserten Prognoseverfahren mit Hilfe von künstlichen neuronalen Netzen.

Das optimierte Prognoseverfahren für Ersatzteilbedarfe für geplante Wartungen verringert den Prognosefehler für die definierte Teilegruppe um ca. 50%. Die dadurch erhöhte Ersatzteilverfügbarkeit wirkt sich positiv auf die Kundenzufriedenheit aus. Durch die deterministische Bedarfsermittlung von Ersatzteilen können die Ersatzteilbedarfe geographisch exakt zugeordnet sowie vorhandene Distributionsstandorte gezielt mit Ersatzteilen versorgt werden. Das führt in weiterer Folge zur Optimierung von Transportwegen.

Aufgrund des großen Potenzials des vorgestellten und für diese Anwendung optimierten Prognoseprozesses, wird die Weiterentwicklung dessen vorangetrieben. Langfristig wird das Ziel verfolgt, das Instandhaltungskonzept von präventiver zu zustandsbasierter Instandhaltung hin zu entwickeln. Werden zur Prognose der Wartungen anstatt der Betriebsstunden, gemessene dynamische Kenndaten eines Motors herangezogen, kann dieses Ziel anhand des entwickelten Verfahrens realisiert werden.

Abstract

Companies in the business of mechanical and plant engineering are confronted with increasing competitive pressure. Due to higher profit compared with the new installation business, the after-sales service business has an important role. The requirements on a reliable and cost-optimized spare parts logistics are therefore increasing continuously.

The aim of this thesis is to increase the forecasting accuracy for a selected group of spare parts. Therefore, the inventory of spare parts should be reduced and missing items in the service should be avoided.

In the theoretical part of this thesis, besides the basics of After Sales Management, the methods which are used in the practical part are described. Methods for time series analysis, methods of determining demands, classification methods of spare parts and basics of process analysis are explained.

In the practical part, the actual process of demand forecasting of spare parts on an example of *GE Jenbacher GmbH & Co OG* is presented. Furthermore, an improved process for the spare parts forecasting, which considers the spare parts demand of planned maintenance with use of artificial neural networks, is described. In the following chapters, the comparison and evaluation regarding existing forecasting methods is explained. The focus of this thesis lies on the improved forecasting process with use of artificial neural networks.

The improved spare parts forecasting process for planned maintenance reduces the forecast error for the defined spare parts group. The mean absolute percent error (*MAPE*) of the forecast can be reduced by round about 50%. This achieved improvement of the availability of spare parts has a positive effect on customer satisfaction. Due to the deterministic spare parts demand identification, the spare part demand can be assigned geographically exactly. Existing distribution centers can be specifically supplied with spare parts. Therefore, the transportation routes can be optimized as well.

Due to the high potential of the newly developed forecasting process, the further development of the presented process will be promoted as a future demand determination process for all spare parts. In the long term, the goal is to shift the maintenance concept from preventive to condition-based maintenance. For the forecast of the maintenance events, the measured dynamic engine characteristics can be used, instead of operating hours. Therefore the mentioned goal can be realized by using the developed method in this thesis.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Problemstellung und Zielsetzung	2
1.2	Abgrenzung der Arbeit.....	3
1.3	Aufbau und Struktur der Arbeit	4
2	Theoretische Grundlagen.....	5
2.1	Begriffe und Definitionen	5
2.1.1	Ersatzteil	5
2.1.2	Instandhaltung	5
2.1.3	Prognose	5
2.2	After Sales Management	7
2.2.1	Instandhaltung	8
2.2.2	Lebenszyklus	10
2.3	Ersatzteillogistik.....	10
2.4	Nachfragemodelle	13
2.5	Statistische Kenngrößen	14
2.5.1	Notation	14
2.5.2	Variationskoeffizient.....	15
2.5.3	Mittlerer absoluter prozentualer Fehler	16
2.5.4	Methode der kleinsten Quadrate.....	16
2.6	Künstliche neuronale Netze.....	17
2.7	Stückliste	21
2.7.1	Struktur-Stückliste	22
2.7.2	Mengenübersichts-Stückliste	23
2.8	Pareto-Analyse	24
3	Zeitreihenanalyse.....	26
3.1	Zerlegung von Zeitreihen.....	27
3.1.1	Bestimmung der glatten Komponente.....	27
3.1.2	Bestimmung der saisonalen Komponente	29
3.1.3	Bestimmung der irregulären Komponente	30
3.2	Vorhersage einer Zeitreihe nach Holt-Winters.....	31

3.3	Gleitender Mittelwert.....	33
3.4	Exponentielle Glättung	35
3.5	Regressionsanalyse	36
3.6	Naive Prognose	37
4	Methoden zur Bedarfsermittlung	39
4.1	Deterministische Bedarfsermittlung	40
4.1.1	Analytische Verfahren	40
4.1.2	Synthetische Verfahren.....	40
4.2	Stochastische Bedarfsermittlung	40
4.2.1	Methoden der Mittelwertbildung	41
4.2.2	Methoden der exponentiellen Glättung	41
4.2.3	Regressionsanalyse.....	41
4.2.4	Holt-Winters Verfahren	41
4.3	Subjektive Schätzung	41
4.3.1	Analogschätzung	42
4.3.2	Intuitivschätzung	42
5	Klassifizierung von Ersatzteilen	43
5.1	Klassifizierung nach der Herkunft.....	43
5.2	Ersatzteilspezifische Klassifizierungsmethoden	44
5.2.1	ABC-Klassifizierung	44
5.2.2	XYZ-Klassifizierung.....	45
5.3	Sonstige Klassifizierungsansätze	46
5.3.1	Klassifizierung mittels Lebenszyklus	46
5.3.2	Klassifizierung mittels Ausfallfolgekosten des Primärprodukts	46
5.3.3	Klassifizierung mittels logistisch relevanter Merkmale	47
5.3.4	Klassifizierung mittels Beschaffungsbedingungen	47
5.3.5	Klassifizierung mittels Ersetzbarkeit.....	47
6	Prozessanalyse und Swimlane-Diagramm.....	48
6.1	Allgemeines	48
6.2	SIPOC Prozessdarstellung	50
6.3	Visualisierung	51
7	Einleitung Praxisteil.....	53

7.1	Unternehmensvorstellung – General Electric und GE Jenbacher GmbH & Co OG	53
7.2	Begriffe und Definitionen	55
7.2.1	Stückliste (Bill of Material).....	55
7.2.2	Wartungsanweisung	56
7.2.3	Wartungsplan.....	56
7.2.4	Wartungsfall/Event.....	56
7.2.5	Installed Base	56
7.2.6	MyPlant.....	56
7.2.7	Enterprise Ressource Planning-System	57
7.2.8	Service Package Configurator	57
7.2.9	After Sales Service bei GE Jenbacher GmbH & Co OG	58
7.3	Restriktionen	59
8	IST-Analyse	60
8.1	Einführung	60
8.2	Klassifizierungen der Ersatzteile	61
8.2.1	Planer-Gruppen	61
8.2.2	MTO und MTS	61
8.3	Ersatzteilprognose IST – Prozess	61
8.4	Bedarfsanalyse.....	63
8.4.1	Daten	64
8.4.2	Bedarfsermittlung.....	64
8.5	Sicherheitsbestand	65
8.6	Optimierungspotenziale	67
9	Definition der Fokusgruppe	69
9.1	ABC-Analyse	69
9.1.1	ABC (Bedarf).....	69
9.1.2	ABC (Lagerwert)	70
9.1.3	ABC (Bedarf und Lagerwert).....	71
9.2	XYZ-Analyse	72
9.2.1	XYZ (MAPE)	72
9.2.2	XYZ (VK).....	73

9.3	ABC-/XYZ-Analyse	74
9.3.1	ABC (Bedarf) / XYZ (MAPE)	74
9.3.2	ABC(Lagerwert) / XYZ(MAPE).....	75
9.4	Zusammenfassung	76
10	SOLL-Prozess	78
10.1	Konzept.....	78
10.2	Optimierter Prognoseprozess.....	80
10.2.1	Service Package Configurator	81
10.2.2	Schema für die Prognose der Betriebsstunden	81
10.2.3	Prognose der Betriebsstunden der CSA-Motoren	82
10.2.4	Profilprognose mittels KNN.....	82
10.3	Ergebnis des SOLL-Prozesses	84
10.3.1	Ergebnis der Betriebsstundenprognose für CSA-Motoren.....	84
10.3.2	Ergebnis der Profilprognose mittels KNN	85
10.3.3	Prognose von Ersatzteilen für alle Motoren	85
10.4	Vergleich des IST- und SOLL-Prozesses.....	86
10.5	Vergleich mit weiteren Prognoseverfahren.....	88
11	Bewertung und Deutung der Ergebnisse	91
12	Maßnahmenplan / weiterführende Schritte	93
13	Fazit und Ausblick.....	95
14	Literaturverzeichnis.....	96
15	Abbildungsverzeichnis	99
16	Tabellenverzeichnis	101
17	Abkürzungsverzeichnis	102

1 Einleitung

Die voranschreitende Globalisierung der Märkte treibt den Wettbewerbsdruck und den damit einhergehenden Innovationsdruck immer weiter voran. Daraus resultiert eine stark steigende Automatisierung und Komplexität der Anlagen. Auch das After Sales Service-Geschäft gewinnt durch den steigenden Wettbewerbsdruck immer mehr an Bedeutung. Besonders Hersteller im Maschinen- und Anlagenbau, deren Produkte sich durch eine hohe Lebensdauer auszeichnen, sind an einer nachhaltigen Verbesserung des Profits durch Ersatzteile interessiert. Die Anforderungen an Anlagen und an die Ersatzteillogistik steigen unter anderem durch das Bestreben nach minimalen Lager- und Umlaufbeständen stetig.¹

In der Investitionsgüterindustrie ist der Anteil des After Sales Service am Gesamtumsatz im Durchschnitt 27%. Weiters liegt die EBIT Marge im After Sales Service Geschäft im Durchschnitt bei rund 25%.² Das zeigt, dass auch das Ersatzteilmanagement wesentlichen Beitrag zum Erfolg eines Unternehmens beisteuert. Durch Serviceverträge bzw. Vereinbarungen über den Kauf einer Neuanlage hinaus, können Kunden langfristig an das Unternehmen gebunden werden. In weiterer Folge kann eine hohe Kundenzufriedenheit die Basis für Umsatzsteigerungen im Neuanlagengeschäft sein. Der dadurch erstrebte positive Effekt ist allerdings nur bei effizienter Instandhaltung sowie bei zuverlässiger Versorgung mit Ersatzteilen gegeben.

Die Bedeutung von Gasmotoren nimmt trotz des stetigen Ausbaus von erneuerbaren Energiequellen weiter zu. Die Verfügbarkeit von erneuerbaren Energien ist durch die Abhängigkeit von beispielsweise Sonne und Wind schwankend. Um die Stromversorgung auch in Zukunft flächendeckend zu erhalten, sind flexible Technologien, wie zum Beispiel der Einsatz von Gasmotoren, erforderlich.³ Kann neben der elektrischen Leistung auch die erzeugte Wärme genutzt werden, ist die Verwendung von Gasmotoren besonders interessant.

Aus den genannten Gründen resultiert die Anforderung, die Ersatzteillogistik weiter zu verbessern. Ein wesentliches Thema ist dabei, den zukünftigen Bedarf an Ersatzteilen zu prognostizieren. Ziel ist dabei einerseits, die Lagerbestände zu reduzieren, andererseits die Verfügbarkeit zu erhöhen. Der dadurch erzielte Nutzen zeigt sich in vielerlei Hinsicht. Neben den Ersparnissen durch geringere Lagerkosten können durch die verbesserte Verfügbarkeit an Ersatzteilen, sowohl Umsatzeinbußen vermieden, als auch die Kundenzufriedenheit erhöht werden.

¹ Vgl. Baune, Westphal, 2006, S.241 und Pawellek, 2016, S.1

² Vgl. Impuls, 2012, S.1

³ Vgl. MTU Onsite Energy, 2017, S.1

1.1 Problemstellung und Zielsetzung

Ziel der Arbeit ist es, die Prognosegenauigkeit von ausgewählten Ersatzteilen zu erhöhen. Dadurch sollen sowohl die Ersatzteilbestände verringert werden, als auch Fehlteile im Service vermieden werden.

Die Firma *GE Jenbacher GmbH & Co OG*⁴ ist einer der führenden Hersteller von Gasmotoren und Blockheizkraftwerken. Aufgrund der regelmäßig notwendigen Wartungen von Gasmotoren, sowie durch den steigenden Wettbewerbsdruck, nimmt das After Sales Service-Geschäft eine äußerst wichtige Rolle ein.⁵ Derzeit prognostiziert *GE Jenbacher GmbH & Co OG* den Bedarf von Ersatzteilen für geplante Ersatzteile ausschließlich anhand von Vergangenheitsdaten.⁶ Bekannte Informationen zu den Motoren in Betrieb werden dabei nicht berücksichtigt. Aufgrund einer großen Anzahl an Produktvarianten stellt die Prognose von Ersatzteilbedarfen eine zeitintensive Aufgabe dar. Bei vielen Ersatzteilen sind darüber hinaus Erfahrungswerte für die Erstellung der Prognosen erforderlich. Die Folge sind einerseits hohe Lagerbestände und andererseits fehlende Ersatzteile im Service. Das wirkt sich negativ auf den Gewinn und auf die Kundenzufriedenheit aus.

Die Verbesserung des Prognoseprozesses soll sowohl die Ersatzteilbestände reduzieren, als auch die Fehlteile bei geplanten Wartungen im Service verringern. Diese Arbeit beschränkt sich auf eine Fokusgruppe kritischer Teile. Für die Bestimmung von kritischen Teilen ist eine Klassifizierung aller Ersatzteile durchzuführen. Dabei stellen Prognostizierbarkeit, Absatzwert und Lagerwert wichtige zu berücksichtigende Kenngrößen dar. Bei einer ausführlichen Analyse des bestehenden Bedarfsermittlungsprozesses werden Schnittstellen und den jeweils verwendeten Daten hohe Bedeutung zugeschrieben. Weiters sind auch Optimierungspotenziale im Prozess kenntlich zu machen und zu diskutieren.

Um den aktuellen Prozess zu verbessern, ist als Grundlage eine Recherche über bereits existierende Prognoseverfahren durchzuführen. Hauptaugenmerk liegt auf der Entwicklung eines neuartigen Prognoseverfahrens, welches an vergangenen Bedarfsdaten getestet wird. Darüber hinaus sollen gängige Prognoseverfahren als Vergleichswert dienen. Die beste Prognosevariante ist mit dem aktuellen Verfahren zu vergleichen. Aus den daraus resultierenden Erkenntnissen ist eine kritische Diskussion zu führen. Weiters ist ein Maßnahmenplan für weitere Schritte zur vollständigen Realisierung des Prognoseprozesses allgemein, sowie für die Prognose der Ersatzteilbedarfe für geplante Wartungen zu erstellen.

⁴ Ein Markenzeichen der General Electric Company.

⁵ Vgl. Baune, Westphal, 2006, S.241

⁶ Unter Vergangenheitsdaten sind in diesem Zusammenhang die Ersatzteilbedarfe der vergangenen Perioden zu verstehen.

1.2 Abgrenzung der Arbeit

In dieser Arbeit werden eine Auswahl an Methoden zur Ermittlung von Ersatzteilbedarfen im After Sales Service Bereich beschrieben. Diese Verfahren finden auch im Praxisteil Anwendung. Dadurch werden mehrere Vergleichswerte zu der gängigen Praxis des Prognostizierens der Ersatzteile des betrachteten Unternehmens geschaffen. Der Fokus dieser Arbeit liegt bei der Anwendung bzw. Validierung eines neuartigen Prognoseverfahrens (SOLL-Prozess). Dieser wird anhand einer definierten Gruppe von Ersatzteilen (Fokus-Gruppe) evaluiert. Dabei werden allerdings ausschließlich Ersatzteilbedarfe für geplante Wartungen optimiert.

Im Theorieteil werden die Konzepte und Methoden beschrieben, welche im Praxisteil Anwendung finden. Die beschriebenen Verfahren decken ein breites Spektrum verschiedener Thematiken ab. Die Grundlagen dieser Konzepte sind für das weitere Verständnis der Anwendung im Praxisteil notwendig.

1.3 Aufbau und Struktur der Arbeit

Der Aufbau dieser Arbeit ist in Abbildung 1.1 dargestellt.

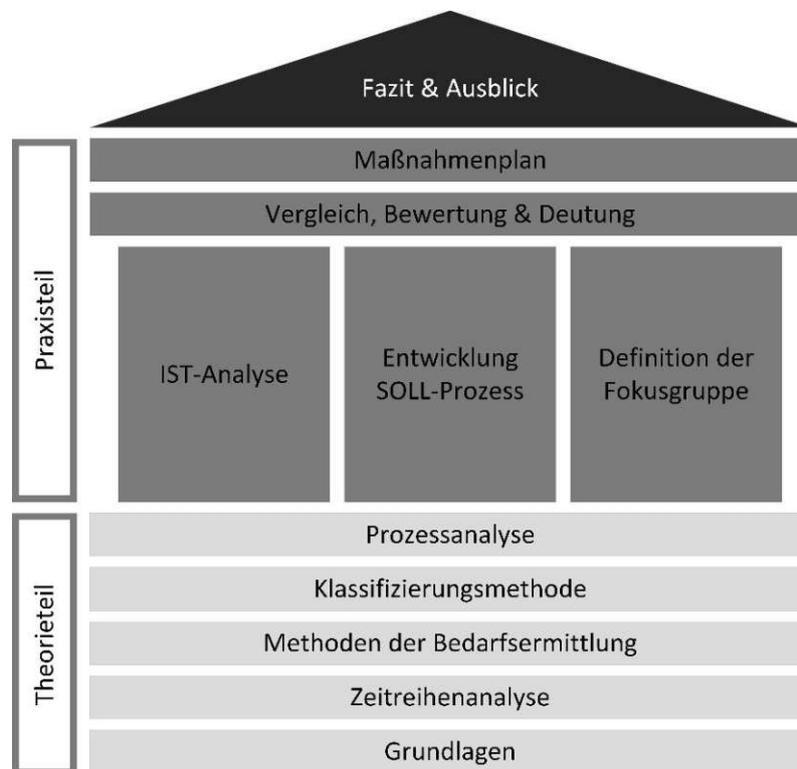


Abbildung 1.1: Aufbau der Arbeit

Im ersten Abschnitt des Theorieteils werden die zum weiteren Verständnis notwendigen Grundlagen vermittelt (Kapitel 2). In den weiteren Kapiteln desselben (Kapitel 3 bis 6) folgt die Beschreibung verschiedener Methoden, welche im Praxisteil von Bedeutung sind. Kapitel 3 behandelt das Thema Zeitreihenanalyse, während Kapitel 4 auf die verschiedenen Methoden der Bedarfsermittlung eingeht. Dabei kommen zum Teil Verfahren zum Einsatz, die bereits im Zuge der Zeitreihenanalyse beschrieben wurden. In Kapitel 5 werden die verwendeten Klassifizierungsmethoden erläutert. Als Abschluss des Theorieteils sind in Kapitel 6 die theoretischen Hintergründe zur Prozessanalyse beschrieben.

Der Praxisteil umfasst die Kapitel 7 bis 12. Nach einer Einleitung mit Unternehmensvorstellung und Begriffsdefinitionen in Kapitel 7, werden in Kapitel 8 die bestehenden Prozesse zur Bedarfsermittlung im After Sales Service Bereich der Fa. *GE Jenbacher GmbH & Co OG* erläutert. In Kapitel 9 folgt die Definition der Ersatzteilkopfgruppe. Auf Basis der Erkenntnisse und gestellten Anforderungen wird in Kapitel 10 ein verbesserter Prognoseprozess für eine definierte Teilegruppe beschrieben. In Kapitel 11 erfolgt die Validierung des Prognoseprozesses. Zum Schluss des Praxisteils in Kapitel 12 ist der Maßnahmenplan dargestellt, wodurch die weitere Vorgangsweise definiert ist. Das Fazit der Arbeit wird in Kapitel 13 dargelegt.

2 Theoretische Grundlagen

Die theoretischen Grundlagen bilden das Fundament dieser Arbeit. Für die Entwicklung von neuartigen Prognoseverfahren von Ersatzteilen sind Disziplinen aus verschiedenen Forschungsbereichen von Bedeutung. Die Anwendung der Ersatzteilprognose sowie der Bestandsplanung finden sich in den Bereichen der Materialwirtschaft und Logistik wieder. Für das Verständnis der beschriebenen Prognoseverfahren sind jedoch auch Kenntnisse aus dem Maschinenbau und der Mathematik notwendig. Zu Beginn werden wichtige Begriffe und Definitionen beschrieben. Daraus folgt die nähere theoretische Ausführung von relevanten Teilbereichen dieser Arbeit.

2.1 Begriffe und Definitionen

Die in diesem Unterkapitel beschriebenen elementaren Begriffe und Definitionen sind für das weitere Verständnis der Inhalte dieser Arbeit unerlässlich.

2.1.1 Ersatzteil

Der Begriff „Ersatzteil“ wird nach *DIN 24420 Teil 1* wie folgt definiert:

*„Teile (z.B. auch Einzelteile genannt), Gruppen (z.B. auch Baugruppen und Teilegruppen genannt) oder vollständige Erzeugnisse, die dazu bestimmt sind, beschädigte, verschlissene oder fehlende Teile, Gruppen oder Erzeugnisse zu ersetzen.“*⁷

2.1.2 Instandhaltung

In der *DIN 31051* wird der Begriff „Instandhaltung“ wie folgt definiert:

*„Kombination aller technischen und administrativen Maßnahmen sowie Maßnahmen des Managements während des Lebenszyklus einer Einheit, die dem Erhalt oder der Wiederherstellung ihres funktionsfähigen Zustands dient, sodass sie die geforderte Funktion erfüllen kann.“*⁸

2.1.3 Prognose

Vogel definiert den Begriff Prognose wie folgt:

*„Unter einer Prognose wird die Vorhersage eines zukünftigen Zustandes oder der zukünftigen Entwicklung eines Systems anhand des gegenwärtigen Zustandes und der Kenntnis der vergangenen Entwicklung dieses Systems verstanden.“*⁹

⁷ Deutsches Institut für Normung, 1976, S.1

⁸ Deutsches Institut für Normung, 2012, S.4

⁹ Vogel, 2015, S.11

Prognosen sind in gesellschaftlichen und privaten Bereichen, besonders aber in den Wirtschaftswissenschaften, von hoher Bedeutung.¹⁰ In dieser Arbeit sind einerseits die Prognose von Bedarfen an Ersatzteilen, andererseits die Prognose von Betriebsstunden von besonderer Relevanz.

Die Bewertung und der Vergleich von Prognoseverfahren sind zur Auswahl der geeignetsten Methode wichtig. Das Problem der Sache liegt allerdings darin, dass die Qualität einer Prognose nur mit Daten aus der Zukunft beurteilt werden kann. Um dieses Problem zu umgehen, kann ersatzweise das Vorgehensmodell, welches in Abbildung 2.1 dargestellt ist, herangezogen werden.

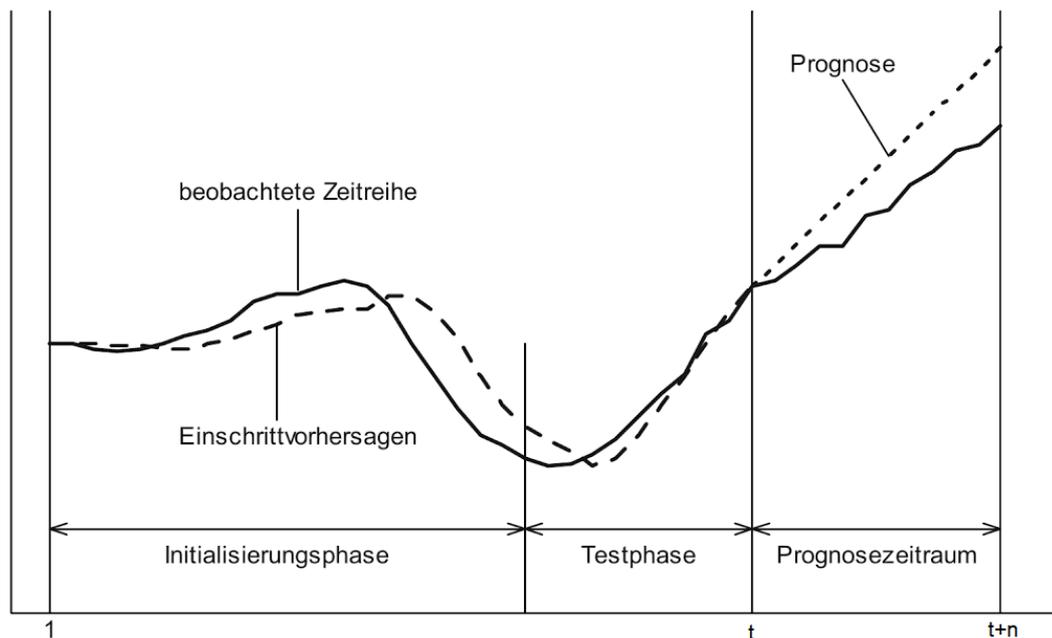


Abbildung 2.1: Zeitschema zur Fehlerbeurteilung¹¹

Der Zeitpunkt t beschreibt jenen Zeitpunkt, bis zu dem Daten bekannt sind. Üblicherweise ist es der Zeitpunkt, ab dem die Prognose für die Zukunft erstellt wird. Der Bereich von Beginn der betrachteten Zeitreihe bis Zeitpunkt t wird in die Bereiche Initialisierungsphase und Testphase geteilt. In der Initialisierungsphase werden die variablen Parameter des jeweiligen Prognoseverfahrens festgelegt. In der anschließenden Testphase erfolgt die Ermittlung der Abweichungen zwischen der erstellten Prognose zu den bekannten Daten. Für die Auswahl des geeignetsten Prognoseverfahrens stehen mehrere Verfahren, wie beispielsweise die mittlere prozentuale Abweichung oder der mittlere quadratische Fehler zur Verfügung. Diese Verfahren werden in dieser Arbeit im Unterkapitel 2.5 beschrieben. Nach Auswahl des besten Prognoseverfahrens kommt es zu dessen Anwendung auf den Prognosezeitraum.

¹⁰ Vgl. Vogel, 2015, S.9

¹¹ Ebd. S.16

2.2 After Sales Management

Besonders für Primärprodukthersteller, welche in gesättigten Märkten agieren, spielt das After Sales Service Geschäft eine bedeutende Rolle.¹² Die große Bedeutung des After Sales Service im Allgemeinen wurde bereits in der Einleitung beschrieben.

After Sales Management bedeutet heute weit mehr als die Versorgung mit Ersatzteilen und der Durchführung von produktbegleitenden Dienstleistungen. Das hat die zeitliche Entwicklung des After Sales Management gezeigt. Serviceorientierte Hersteller bauen in Zukunft vor allem auf neue Geschäftsmodelle.¹³

Abbildung 2.2 zeigt die Entwicklung vom traditionellen Produktgeschäft hin zum umfassenden Anbieter an Serviceleistungen im After Sales Geschäft. Beginnend mit dem Neuproduktgeschäft und der Ersatzteilversorgung umfasste das After Sales Geschäft später auch Instandhaltungs- und Wartungsaufgaben. Beim Betreibermodell garantiert der Serviceanbieter den Kunden die Verfügbarkeit der Anlage im Rahmen der vereinbarten Anforderungen. Das umfassendste Betreibermodell reicht bis hin zur Anlagenfinanzierung sowie der anschließenden Entsorgung der Anlage.¹⁴ Schulungen und Trainings können ein weiterer Teil des After Sales Service sein.¹⁵

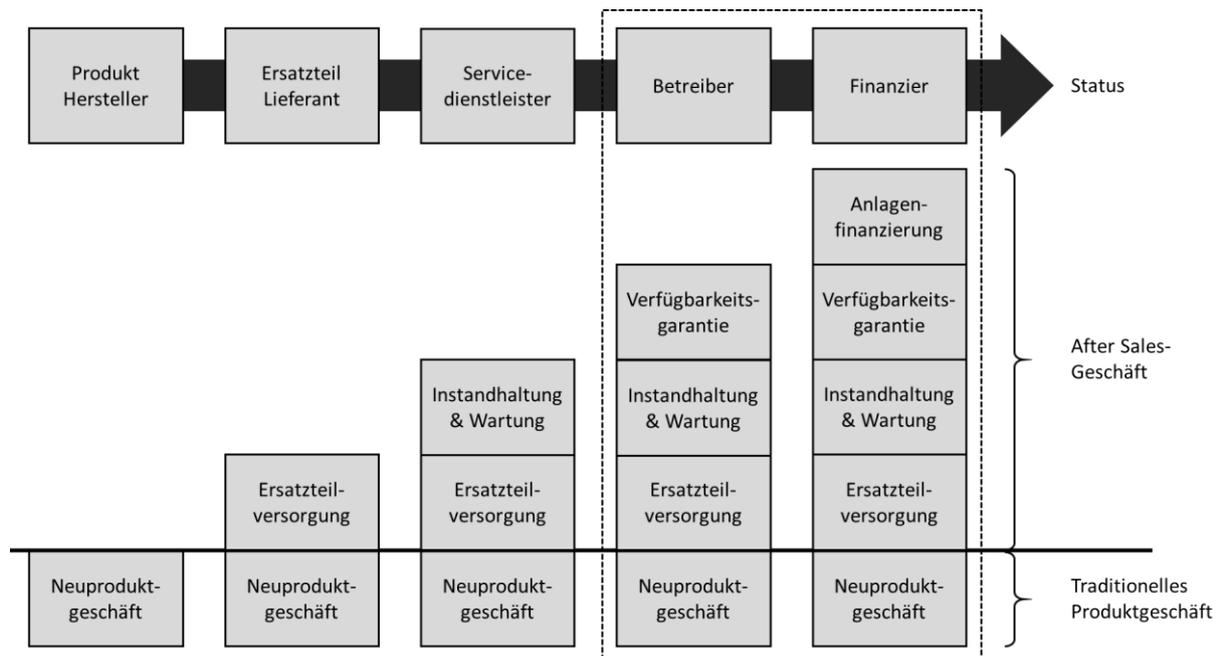


Abbildung 2.2: Entwicklung vom reinen Produkthersteller zum Komplett-Dienstleister¹⁶

¹² Vgl. Baumbach, Stampfl, 2002, S.5

¹³ Vgl. Baune, Westphal, 2006, S.5f

¹⁴ Vgl. ebd., S.6

¹⁵ Wannewetsch, 2014, S.374

¹⁶ Eigene Darstellung, in Anlehnung an Baune, Westphal, 2006, S.6

Betreibermodelle bringen hohe Risiken für den Betreiber mit sich. In Anbetracht der dadurch entstehenden langfristigen Partnerschaft, entsteht die Möglichkeit neue Absatzkanäle zu erschließen. Darüber hinaus eröffnet sich die Chance, auch Folgeaufträge durch Neuproduktaufträge zu erhalten.¹⁷

In den weiteren Unterkapiteln werden nun die Instandhaltung als Teilbereich des After Sales Service sowie der Lebenszyklus eines Produktes näher beschrieben. Die Darstellung des Lebenszyklus eines Produktes verdeutlicht einmal mehr, wie wichtig das After Sales Service Geschäft für ein Unternehmen sein kann.

2.2.1 Instandhaltung

Die Instandhaltung als Teilbereich des After Sales Management gewinnt unter anderem durch immer weiter steigende Anforderung an Anlagen sowie durch deren hohe Komplexitätsgrade nach und nach an Bedeutung. Die Aufgaben der Instandhaltung werden in der *DIN 31051 (2012)* in die vier Bereiche Wartung, Inspektion, Instandsetzung und Verbesserung unterteilt. Die Unterteilung ist in Abbildung 2.3 dargestellt.

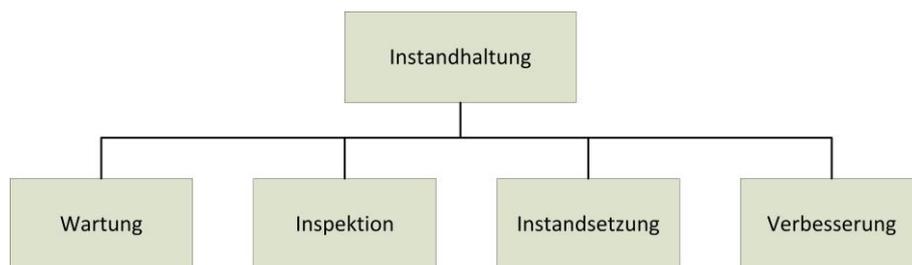


Abbildung 2.3: Unterteilung der Instandhaltung¹⁸

Ziel der Wartung ist es, den Abbau des Abnutzungsvorrates so gering wie möglich zu halten. Das bedeutet, dass durch gezielte Maßnahmen die Leistungsfähigkeit der Anlage auf hohem Niveau zu halten versucht wird. Die Inspektion umfasst jene Maßnahmen, die den Istzustand einer Anlage erfassen. Darüber hinaus werden die Ursachen ermittelt, warum die Abnutzung einer Anlage voranschreitet. Die Instandsetzung beschreibt jene Tätigkeiten und Maßnahmen, die die Funktionsfähigkeit einer Anlage wiederherstellen. Das kann beispielsweise nach dem Ausfall einer Anlage der Fall sein. Bei der Verbesserung einer Anlage können durch Maßnahmen die Zuverlässigkeit, die Instandhaltbarkeit sowie die Sicherheit einer Anlage optimiert werden.¹⁹

Neben dem hohen Maß an Sicherheit von Anlagen und der optimalen Verfügbarkeit sind die Minimierung der Instandhaltungskosten ein wichtiges Ziel der Instandhaltung

¹⁷ Vgl. Baune, Westphal, 2006, S.6

¹⁸ Eigene Darstellung, in Anlehnung an Deutsches Institut für Normung, 2012, S.4

¹⁹ Vgl. Deutsches Institut für Normung, 2012, S.5

bzw. von Unternehmen. Diese lassen sich in direkte und indirekte Instandhaltungskosten unterteilen. Die direkten Instandhaltungskosten umfassen alle Kosten wie Personalkosten, Ersatzteilkosten etc., welche zur Erbringung der Instandhaltungstätigkeit erforderlich sind. Zu den indirekten Instandhaltungskosten zählen die Ausfallfolgekosten sowie die Betriebskosten, die durch die unterlassene Modernisierung anfallen.²⁰

Weiters können die Instandhaltungskosten in Kosten durch geplante und ungeplante Maßnahmen sowie in Produktionsausfallkosten geteilt werden. Abbildung 2.4 zeigt die anfallenden Kosten in Abhängigkeit der Instandhaltungsintensität. Bei steigender Intensität der Instandhaltung, erhöhen sich die Kosten für geplante Wartungen. Die Produktionsausfallkosten sowie die Instandhaltungskosten für ungeplante Wartungen können dadurch reduziert werden. Dieser Zusammenhang gilt auch umgekehrt. In Folge dessen ist das Ziel einer effizienten Instandhaltung die optimale Instandhaltungsintensität zu finden, um die Gesamtkosten zu minimieren.

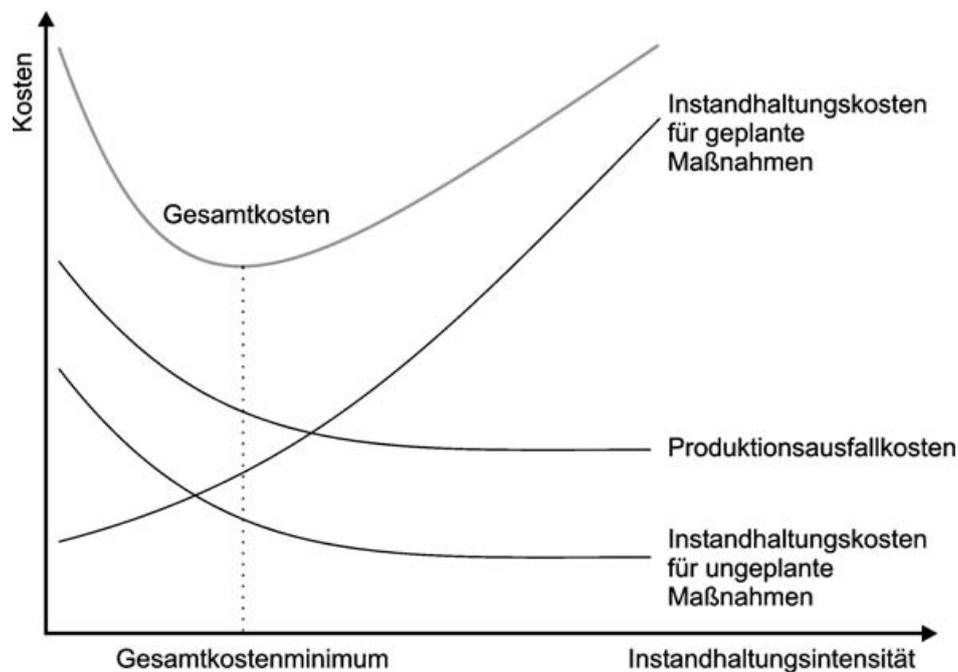


Abbildung 2.4: Zusammenhang zwischen Instandhaltungsintensität und Kosten²¹

²⁰ Vgl. Biedermann, 2008, S.13

²¹ Palm, 1981, S.258

2.2.2 Lebenszyklus

In diesem Unterkapitel wird der Lebenszyklus vom Primärprodukt und deren Ersatzteile betrachtet. In Abbildung 2.5 sind die Absatzkurven der beiden dargestellt. Nach der Produkteinführung verzeichnet die Absatzkurve des Primärprodukts einen steilen Anstieg. In der Konsolidierungsphase nimmt der Anstieg der Absatzkurve des Primärproduktes ab. Darauf folgt die Degenerationsphase, in der der Absatz des Primärproduktes abnimmt bis schließlich die Produktion eingestellt wird. Der Bedarfsverlauf der Ersatzteile richtet sich primär an der Anzahl an Primärprodukten, welche sich im Betrieb beim Kunden befinden. Das bedeutet, dass es erst zu einem späteren Zeitpunkt das Maximum des Ersatzteilbedarfes auftritt.

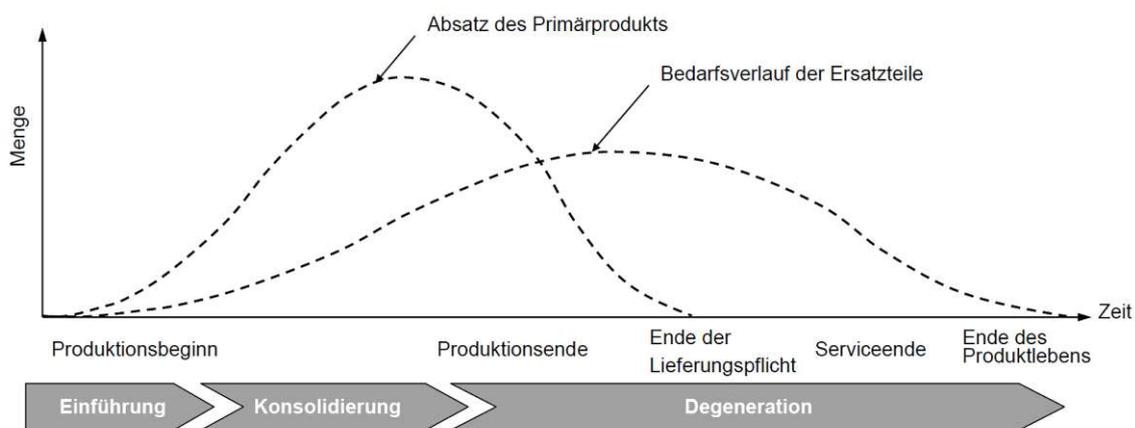


Abbildung 2.5: Lebenszyklus von Primärprodukt und Ersatzteil²²

Der Bedarf an Ersatzteilen kann auch noch Jahre nach dem Produktionsende des Primärproduktes bestehen. In vielen Fällen hängt dies auch mit einer gesetzlichen oder vertraglichen Verpflichtung gegenüber dem Kunden zusammen, was dazu führt, dass die Ersatzteilversorgung noch lange nach Produktionsende des Primärproduktes aufrecht zu erhalten ist. Darin steckt jedoch auch großes Potenzial, da dieser Umstand den Zeitraum für mögliche Absätze deutlich verlängert.²³

2.3 Ersatzteillogistik

Die Ersatzteillogistik, als Teildisziplin der Logistik, ist oft mit den Bereichen der Instandhaltung und der After Sales Logistik verbunden.²⁴ Eine zuverlässige Ersatzteilversorgung ist besonders in Bereichen des Maschinen- und Anlagenbaus sehr wichtig. Fehlende Ersatzteile verursachen Umsatzausfälle, Vertragsstrafen oder sogar den Verlust des Kunden.²⁵

²² Schuh et al., 2013, S.175 in Anlehnung an Baune, Westphal, 2006, S.254

²³ Vgl. Baumbach, Stampfl, 2002, S.5

²⁴ Vgl. Schuh et al., 2013, S.165

²⁵ Vgl. Wannewetsch, 2014, S.373f

Die Ersatzteillogistik dient dazu, notwendige Ersatzteile bereitzustellen, um die ursprüngliche Funktionsfähigkeit eines defekten Primärprodukts wiederherzustellen. Das beinhaltet neben der operativen Ersatzteilbereitstellung auch die Organisation und Verwaltung der Distributionsstrukturen.²⁶ Die Aufgaben der Ersatzteillogistik sind nach Schuh et al. wie folgt zusammengefasst:

- „Das richtige Ersatzteil,
- in der richtigen Menge,
- zur richtigen Zeit,
- am richtigen Ort und
- bei optimalen Beständen“

sicherzustellen.²⁷

Das Problem des Ersatzteilmanagements ist im Grunde ein Kostenproblem. Einerseits sind die Bestände möglichst gering zu halten, andererseits wird ein hoher Servicegrad gefordert. Die Ersatzteilverfügbarkeit beeinflusst die Verfügbarkeit einer Anlage und somit auch die Gesamtanlageneffizienz. Spricht man wie in der eben angeführten Definition von *optimalen Beständen*, bedeutet das für den jeweiligen Anwendungsfall die optimale Balance zwischen geringen Beständen sowie hoher Verfügbarkeit von Ersatzteilen zu finden.²⁸ Eine Klassifizierung von Ersatzteilen hilft für die optimale Wahl der geeigneten Bevorratungsstrategie, um Bestandskosten niedrig zu halten und das erforderliche Maß an Verfügbarkeit zu gewährleisten.²⁹

Die Ersatzteillogistik kann aus den Perspektiven des Zulieferers, des Herstellers und des Kunden betrachtet werden. Die Aufgabe der Ersatzteilbevorratung kann sowohl Aufgabe des Herstellers als auch des Kunden sein. In vielen Fällen werden beide Beteiligten funktionsrelevante Ersatzteile bevorraten. Darüber hinaus kann auch der Zulieferer des Anlagenherstellers direkt den Kunden des Anlagenherstellers mit Ersatzteilen versorgen.³⁰ Die eben beschriebenen Perspektiven sind in Abbildung 2.6 dargestellt.

²⁶ Vgl. Schuh et al., 2013, S.167

²⁷ Ebd., S.169f

²⁸ Strunz, 2012, S.570

²⁹ Vgl. Schuh et al., 2013, S.170

³⁰ Vgl. ebd., S.167f

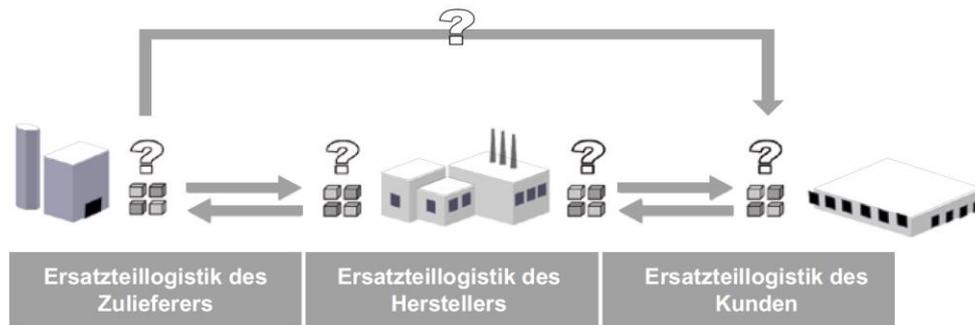


Abbildung 2.6: Perspektiven der Ersatzteillogistik³¹

Es folgt an dieser Stelle eine Darstellung einer ausgewählten Ausfallverteilung, welche häufig bei Maschinenelementen auftritt. In Abbildung 2.7 ist der zeitliche Verlauf dieser komplexen Ausfallverteilung dargestellt. Diese wird auch als Badewannenkurve bezeichnet. Auf der Abszisse ist die Lebensdauer eines Bauteils aufgetragen, während auf der Ordinate die Ausfallrate $\lambda(t)$ zu finden ist.

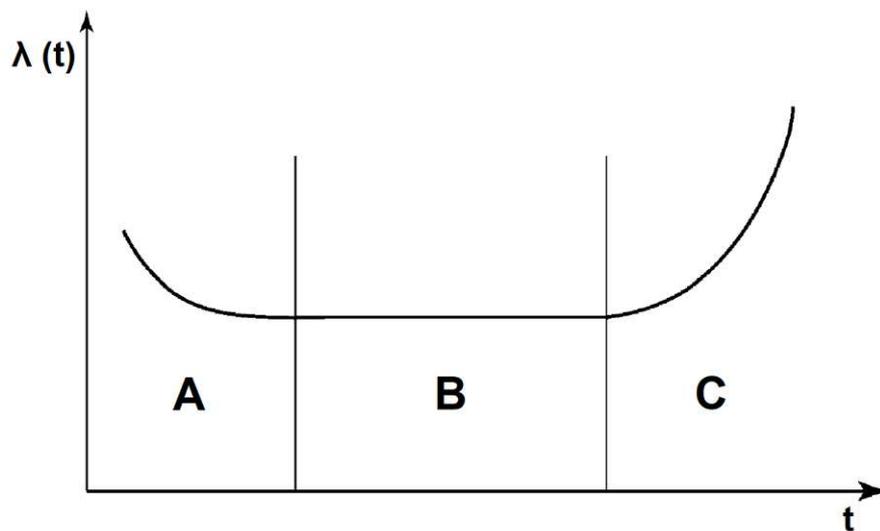


Abbildung 2.7: Ausfallrate einer komplexen Ausfallverteilung: Badewannenkurve³²

Die Lebensdauer eines Produktes wird in drei Phasen unterteilt. Die erste Phase (A) ist durch eine sinkende Ausfallrate gekennzeichnet. Hier treten vor allem Kinderkrankheiten der Produkte auf.³³ Die darauffolgende Phase (B) ist durch eine konstante Ausfallrate charakterisiert. Hier treten überwiegend Zufallsausfälle auf.³⁴ In der letzten Phase (C) treiben alters- und verschleißbedingte Ausfälle die Ausfallrate in die Höhe. Dadurch steigt die Ausfallrate immer weiter an.³⁵

³¹ Schuh et al., 2013, S.168

³² Biedermann, 2008, S.18

³³ Vgl. ebd.

³⁴ Vgl. Schuh et al., 2013, S.173

³⁵ Vgl. Biedermann, 2008, S.19

2.4 Nachfragemodelle

Ein breites Produktspektrum sowie eine hohe Anzahl an verschiedenen Produktvarianten bringt große Unterschiede in der Nachfrage an Teilen mit sich. Die Auswahl von Prognoseverfahren kann in Abhängigkeit der Nachfrage verschieden sein. Mit Näherungsverfahren kann in vielen Fällen eine Funktion bzw. ein geeignetes Modell ermittelt werden. Abbildung 2.8 zeigt die üblichen Nachfragemodelle.

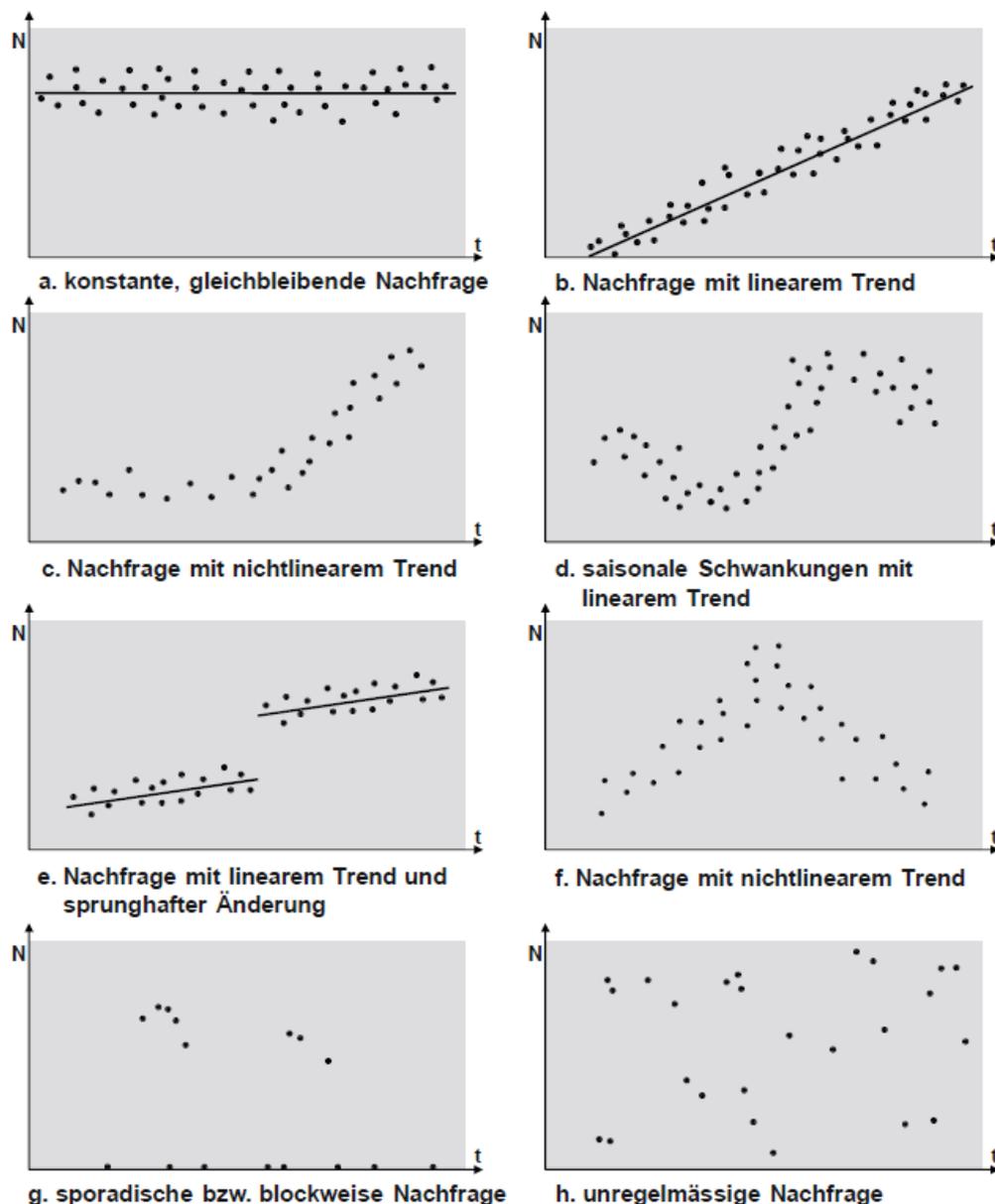


Abbildung 2.8: übliche Nachfragemodelle³⁶

Für die Erstellung von Prognosen ist es in Unternehmen selbstverständlich wünschenswert, wenn Teile eine konstante bzw. linear steigende Nachfrage aufweisen. Vorhersagen sind bis auf überschaubare Schwankungen vergleichsweise einfach zu

³⁶ Schönsleben, 2011, S. 474

erstellen. Leider trifft das in vielen Fällen nur auf eine beschränkte Anzahl an Produkten zu. In den weiteren Kapiteln dieser Arbeit wird der Fokus in erster Linie auf die Optimierung von Ersatzteilen gelegt, welche eine unregelmäßige Nachfrage aufweisen.

2.5 Statistische Kenngrößen

In diesem Unterkapitel werden Kennzahlen und Methoden beschrieben, welche im Praxisteil zur Bewertung und Verarbeitung von gegebenen Daten herangezogen werden.

In der Literatur gibt es eine Vielzahl an Kennwerten, um Variationen und Abweichungen zu ermitteln. Für die Bewertung von Fehlern wurde in dieser Arbeit aufgrund einer besseren Übersicht eine beschränkte Auswahl herangezogen.

2.5.1 Notation

In dieser Arbeit wird zur Darstellung der Berechnungsmethoden die folgende Notation der Variablen verwendet.

a, b, c	Parameter zur Approximierung einer Geraden
A_t	Startwert
α, β, γ	Parameter zur Glättung
b_t	Zuwachs
\hat{b}_t	Prognosewert des Zuwachses
ε_t	Irreguläre Komponente
G_i	Parameter zur Gewichtung
g_t	Glatte Komponente
\hat{g}_t	Prognosewert der glatten Komponente
l	Periodenlänge
LT	Lead Time (Lieferzeit)
n	Anzahl von Elementen oder Perioden
m_t	Niveau
\hat{m}_t	Prognosewert des Niveaus

$MAPE$	Mean absolute percentage error (mittlerer absoluter prozentualer Fehler)
MQF	Mittlerer quadratischer Fehler
Q	Funktion, Fehlerquadratsumme
\hat{r}_t	Saisonaler Index
s	Standardabweichung
s_t	Saisonale Komponente
\hat{s}_t	Prognosewert der saisonalen Komponente
σ	Standardabweichung
t	Zeitpunkt
T	Zeitperiode
VK	Variationskoeffizient
y_i, y_t	Bedarf bzw. Zeitreihenwert in Periode i bzw. t
\bar{y}, \bar{y}_t	Mittelwert
$\bar{y}_t(2.0)$	Mittelwert für die Ermittlung der exponentiellen Glättung 2.Ordnung
\hat{y}_t	Prognosewert
$\hat{y}_t(1.0), \hat{y}_t(2.0)$	Prognosewert aus der exponentiellen Glättung 1. Ordnung bzw. 2. Ordnung
z	Wert der Verteilungsfunktion der Standardnormalverteilung

2.5.2 Variationskoeffizient³⁷

Der Variationskoeffizient (VK) ist eine statistische Kenngröße, um die Streuung unabhängig von der Kenngröße festzustellen. Die Streuung, ausgedrückt durch die Standardabweichung ist oft von der Größe des Merkmals abhängig. Daher ist es sinnvoll, eine relativierte Kenngröße wie den VK heranzuziehen. Die folgenden Formeln zeigen die Ermittlung des arithmetischen Mittelwertes der Merkmale \bar{y} , die Standardabweichung σ und den VK . y_t beschreibt die Größe des Merkmals zum Zeitpunkt t . n entspricht der Anzahl der Perioden, für die \bar{y} , σ und VK berechnet wird.

³⁷ Buttler, 2010, S.153ff

$$\bar{y} = \frac{\sum_{t=1}^n y_t}{n} \quad (2.1)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (y_t - \bar{y})^2} \quad (2.2)^{38}$$

$$VK = \frac{\sigma}{\bar{y}} \quad (2.3)$$

Wie aus Kalkulation (2.1), (2.2) und (2.3) zu entnehmen ist, wird der Variationskoeffizient ohne die Prognosedaten errechnet. Darüber hinaus ist der Bedarf an Ersatzteilen oft durch saisonalen Schwankungen geprägt. Der VK berücksichtigt nicht den Prognosefehler sowie die saisonalen Schwankungen. Aus diesem Grund eignet sich diese Kennzahl als Maß für die Gleichmäßigkeit der Nachfrage an Teilen.

2.5.3 Mittlerer absoluter prozentualer Fehler

Der mittlere absolute prozentuale Fehler beschreibt den mittleren Fehler der Prognose. Die Abkürzung *MAPE* bezieht sich auf die englische Bezeichnung „*mean absolute percentage error*“. In Formel (2.4) ist zu sehen, dass der Bedarf und die Prognose in die Berechnung einfließen. y_t beschreibt wieder den Wert des Merkmals zum Zeitpunkt t . \hat{y}_t beschreibt die Prognose zum Zeitpunkt t . n entspricht der Anzahl der Perioden.

$$MAPE = \frac{1}{n} \cdot \sum_{t=1}^n \left| \frac{y_t - \hat{y}_t}{y_t} \right| \quad (2.4)$$

2.5.4 Methode der kleinsten Quadrate³⁹

Die Methode der kleinsten Quadrate (auch *OLS* – *ordinary least squares* genannt⁴⁰) findet in vielen Bereichen Anwendung. Gleichung (2.5) beschreibt die zu minimierende Funktion Q . a und b sind die Parameter, welche bei der Minimierung der Funktion zu bestimmen sind.

$$Q = \sum_{t=1}^n (y_t - (a + b \cdot t))^2 \rightarrow \min \quad (2.5)$$

³⁸ Buttler, 2010, S.149

³⁹ Vgl. Krengel, 2005, S.167f

⁴⁰ Vgl. Vogel, 2015, S.43

Um ein Minimum der Funktion zu finden, sind die partiellen Ableitungen nach a und b zu ermitteln und Null zu setzen.

$$\sum_{t=1}^n (y_t - a - b \cdot t) = 0 \quad \text{und} \quad \sum_{t=1}^n t \cdot (y_t - a - b \cdot t) = 0 \quad (2.6)$$

Durch das Lösen der beiden Gleichungen in (2.6) können nun die beiden Parameter a und b ermittelt werden.

Zur Beurteilung der Güte einer Prognose kann der mittlere quadratische Fehler (*MQF*) herangezogen werden. Die Ermittlung ist der Formel (2.7) zu entnehmen.

$$MQF = \frac{\sum_{t=1}^n (y_t - \hat{y}_t)^2}{n} \quad (2.7)$$

Diese Methode wird in dieser Arbeit mehrere Male herangezogen. Sie wird zur Bestimmung der Koeffizienten bei den Regressionsanalysen verwendet, ebenso wie zur Bewertung der Prognosemethoden bei der Zeitreihenanalyse.

2.6 Künstliche neuronale Netze

Künstliche neuronale Netze (*KNN*) werden dazu verwendet, um verschiedenste Aufgaben des Menschen auf Maschinen zu übertragen. Sie sind als Teilgebiet der künstlichen Intelligenz (engl. *artificial intelligence*) zu sehen. Diese können z.B. zur Bilderkennung, zur Bildverarbeitung oder zur Klassifizierung eingesetzt werden, um nur einen kurzen Auszug aus den vielfältigen Anwendungsfällen zu nennen. *KNN* bilden das Funktionsprinzip des menschlichen Gehirns nach.⁴¹

Grundlage dafür ist das Schema einer logischen Funktion, wie in Abbildung 2.9 dargestellt. Auf der linken Seite befinden sich die Eingänge, die in der nachgelagerten Funktion verarbeitet werden. Daraus wird ein Wert für den Ausgang generiert.



Abbildung 2.9: Schema einer Vorhersage⁴²

⁴¹ Vgl. Traeger et.al., 2003, S.1

⁴² Eigene Darstellung, in Anlehnung an Rashid, 2017, S.3

Ein neuronales Netz muss zu Beginn immer mit bekannten Daten trainiert werden. D.h. es sind anfangs einige Durchläufe des Netzes notwendig. Bei der Verarbeitung der Eingänge fließen Faktoren, auch als Gewichtsfunktionen bezeichnet, in die Berechnung ein, welche zu Beginn der Lernphase beliebig gewichtet sind. Der erste Durchlauf liefert eine Ausgabe auf der rechten Seite, woraufhin der ausgegebene Wert mit dem tatsächlichen Wert verglichen wird. Die Differenz ergibt den Fehler, der genutzt wird, um die Gewichtsfunktionen im Verarbeitungsprozess anzupassen. Dieser Vorgang wird solange wiederholt, bis der Fehler zwischen ausgegebenem Wert und tatsächlichem Wert ausreichend gering ist. Nach diesem Vorgang sind die Gewichtsfunktionen richtig angepasst, die Lernphase ist somit abgeschlossen.

Zunächst werden zum besseren Verständnis der Aufbau und die Wirkungsweisen von vernetzten Neuronen erläutert.

In Abbildung 2.10 ist beispielhaft der Aufbau eines einzigen Neurons zu sehen. Das Neuron kann über die Dendriten Signale empfangen. Diese werden zusammengeführt und über das Axon weiter zu den Terminalen geleitet.⁴³

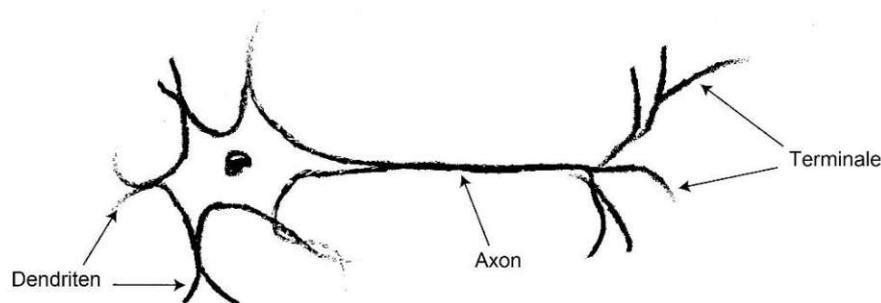


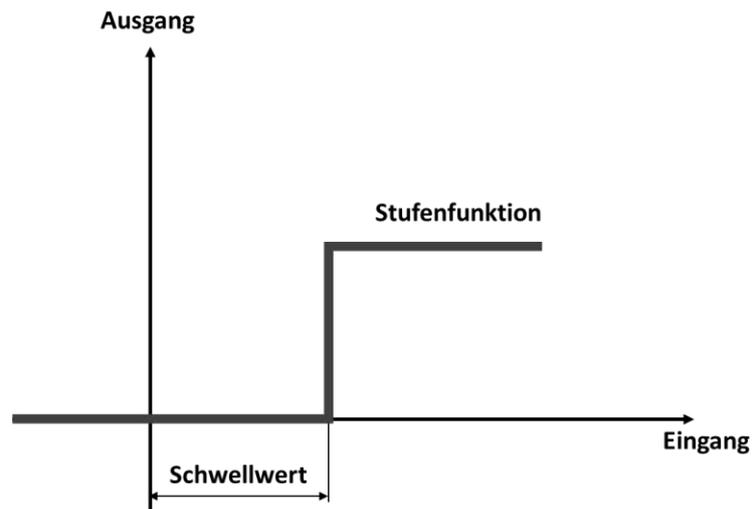
Abbildung 2.10: Aufbau eines Neurons⁴⁴

Die Weitergabe der Signale erfolgt allerdings nicht anhand linearer Funktionen. Der Zusammenhang zwischen Ein- und Ausgang kann besser als Stufenfunktion dargestellt werden (siehe Abbildung 2.11). Bei Überschreiten eines definierten Schwellwertes nimmt der Ausgang einen definierten konstanten Wert an.⁴⁵

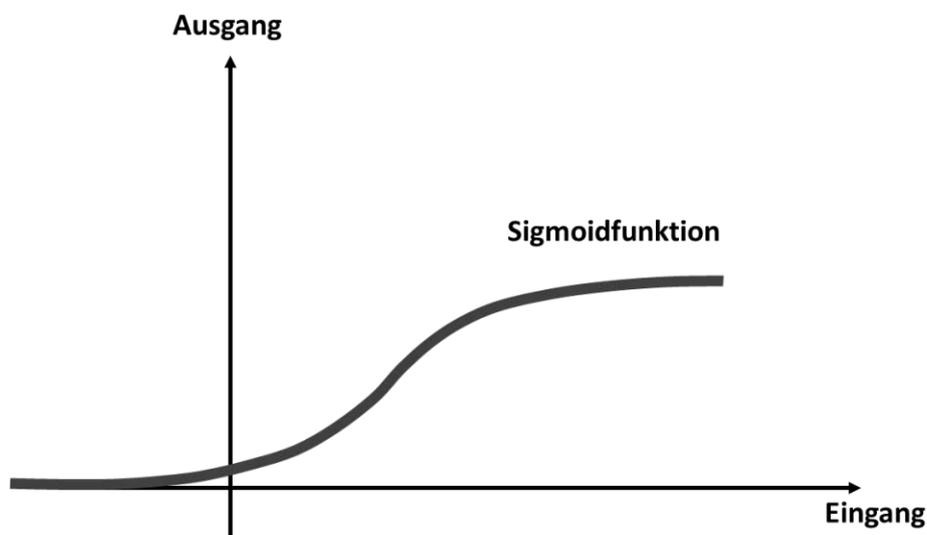
⁴³ Vgl. Rashid, 2017, S.30

⁴⁴ Ebd.

⁴⁵ Vgl. ebd., S.32ff

Abbildung 2.11: Stufenfunktion⁴⁶

In der Natur treten üblicherweise keine sprunghaften Zusammenhänge auf. Aus diesem Grund bildet ein s-förmiger Verlauf die Realität besser nach.⁴⁷ Dafür eignet sich die Sigmoidfunktion, welche in Abbildung 2.12 dargestellt ist. Diese Funktion steigt nicht schlagartig von 0 auf 1, die Änderung des Ausgangswertes erfolgt über einen sehr breiten Wertebereich des Einganges.

Abbildung 2.12: Sigmoidfunktion⁴⁸

Ein KNN besteht aus vielen miteinander verknüpften Neuronen. In Abbildung 2.13 sind die verknüpften Neuronen dargestellt. Die Neuronen stehen dabei in Wechselwirkung

⁴⁶ Eigene Darstellung, in Anlehnung an Rashid, 2017, S.33

⁴⁷ Vgl. Rashid, 2017, S.34

⁴⁸ Eigene Darstellung, in Anlehnung an Rashid, 2017, S.34

zueinander. Das bedeutet, dass der Ausgang der vorgelagerten Neuronen als Eingang der nachgelagerten Neuronen fungiert.

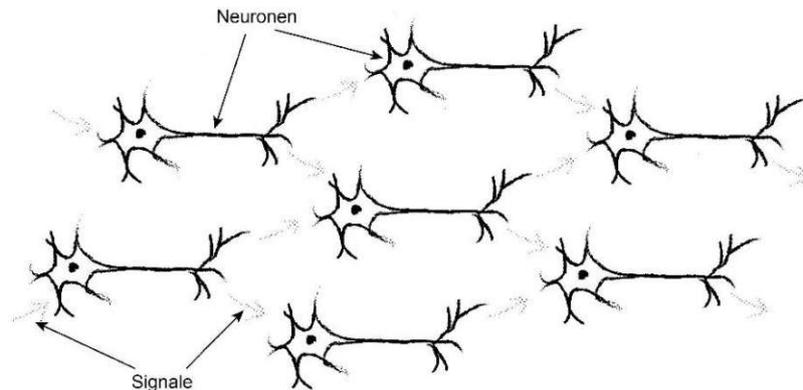


Abbildung 2.13: Verbundene Neuronen⁴⁹

Das Modell aus Abbildung 2.13 soll nun in einer anschaulicheren Darstellung gezeigt werden.

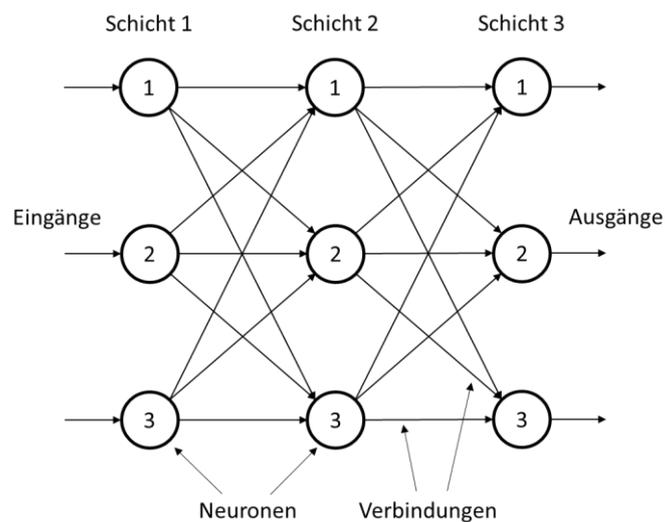


Abbildung 2.14: mehrschichtiges Modell eines *KNN*⁵⁰

In Abbildung 2.14 ist ein mehrschichtiges *KNN* zu sehen. Die erste Schicht beschreibt die Eingänge, die letzte die Ausgänge. Alle weiteren Schichten dazwischen werden als versteckte Schichten bezeichnet. Die Kreise stellen die Neuronen dar, die Verbindungspfeile zeigen die Wechselwirkungen zueinander.

Die Wechselwirkung der Neuronen zueinander ist nicht konstant. Gewichtsfunktionen $w_{i,j}$ sind notwendig, um die Funktionsweise des *KNN* zu ermöglichen. Abbildung 2.15 zeigt das *KNN* mit den Gewichtsfunktionen. Wie bereits beschrieben muss das *KNN*

⁴⁹ Rashid, 2017, S.36

⁵⁰ Eigene Darstellung, in Anlehnung an Rashid, 2017, S.36

zu Beginn trainiert werden. Dazu werden die Gewichtsfunktionen $w_{i,j}$ mit einem Anfangswert beispielsweise zwischen 0 und 1 versehen. Bei der Anpassung der Gewichte wird der Fehler anteilig den Gewichten rückgerechnet. Aus diesem Grund ist es wichtig, dass die Gewichte verschieden sind. Daher werden für die anfänglichen Gewichte Zufallszahlen verwendet.

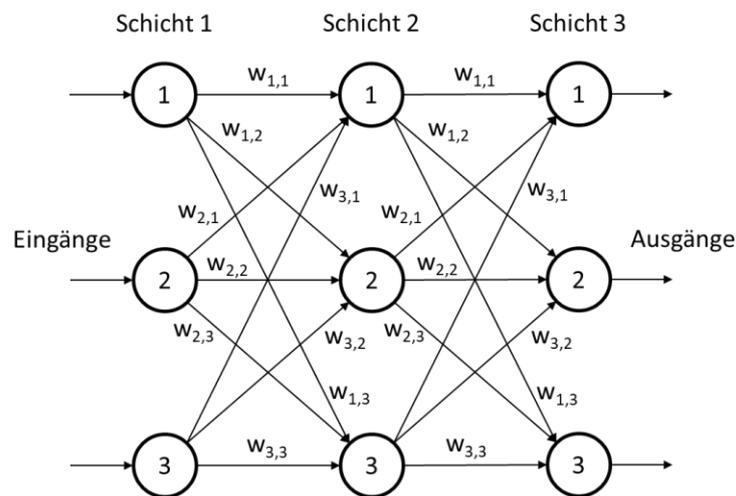


Abbildung 2.15: mehrschichtiges Modell eines KNN mit Gewichtsfunktionen⁵¹

KNN ermitteln, wie soeben beschrieben, näherungsweise. Zur Ermittlung der Ausgänge wird keine analytische Methode verwendet. Bei jedem Durchlauf werden die Gewichtsfunktionen angepasst. Die Lernphase ist beendet, wenn der Fehler ausreichend klein ist.

2.7 Stückliste

Stücklisten spielen bei der Erzeugung von Produkten, welche aus mehreren Komponenten bestehen, eine wesentliche Rolle. Insbesondere bei komplexen Produkten ist die EDV basierte Verwaltung nicht mehr weg zu denken. REFA – Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisationen definiert den Begriff Stückliste wie folgt:

*„Die Stückliste ist ein für den jeweiligen Zweck vollständiges, formal aufgebautes Verzeichnis für einen Gegenstand, dass alle zugehörigen Gegenstände unter der Angabe von Bezeichnung (Benennung, Sachnummer), Menge und Einheit enthält.“*⁵²

⁵¹ Eigene Darstellung, in Anlehnung an Rashid, 2017, S.37

⁵² REFA, 1985, S.400

Es stehen verschiedene Darstellungsmöglichkeiten von Stücklisten zur Verfügung. Je nach Anwendungsfall kann die Wahl einer alternativen Stückliste sinnvoll sein. In der DIN 199 (2002)⁵³ werden die folgenden Stücklisten unterschieden:

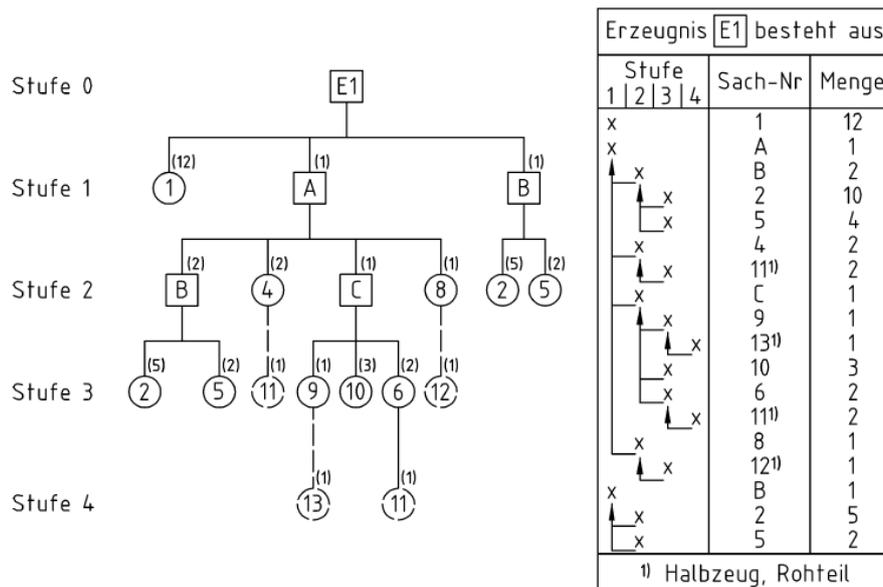
- Baukasten-Stückliste
- Fertigungs-Stückliste
- Grund-Stückliste
- Haupt-Stückliste
- Kalkulations-Stückliste
- Konstruktions-Stückliste
- Mengenübersichts-Stückliste
- Plus-Minus-Stückliste
- Struktur-Stückliste
- Varianten-Stückliste

Aufgrund der hohen Anzahl an Stücklisten werden nur die in dieser Arbeit weiter relevante Struktur-Stückliste und Mengenübersichts-Stückliste beschrieben.

2.7.1 Struktur-Stückliste

Die Strukturstückliste gliedert den Aufbau des Erzeugnisses in einzelne Erzeugnisstufen. Diese Form der Stückliste gibt eine sehr gute Übersicht, aus welchen Komponenten und Unterbaugruppen das Produkt besteht bzw. wie sich das Gesamtprodukt zusammensetzt. Wird eine Unterbaugruppe mehrfach verbaut, so ist die Anzahl der Komponenten mit der Anzahl der betroffenen Unterbaugruppe zu multiplizieren, um auf die Gesamtanzahl für die Baugruppe zu gelangen.

⁵³ Deutsches Institut für Normung, 2002, S.8



Zeichenerklärung

- Gruppe, Erzeugnis
- Einzelteil
- Halbzeug
- Mengenangabe auf der Stückliste

Abbildung 2.16: Struktur-Stückliste⁵⁴

2.7.2 Mengenübersichts-Stückliste

In der Mengenübersichts-Stückliste wird jedes verbaute Teil nur einmal angeführt. Die Stückliste ist somit nicht in verschiedene Schichten unterteilt. Jede Komponente wird mit der Gesamtmenge versehen, wie oft es im Erzeugnis in Summe vorkommt.⁵⁵

Die Mengenübersichtsstückliste findet in dieser Arbeit in etwas abgewandelter Form Anwendung. Die Stückliste wird nicht für den gesamten Motor erstellt. Es werden lediglich für jeden Motor und jede Wartung die Anzahl der benötigten Ersatzteile aufgelistet. Das Ergebnis bildet die Grundlage für die Bestimmung des Ersatzteilbedarfes. Die Umsetzung ist im Praxisteil zu finden.

⁵⁴ Deutsches Institut für Normung, 2002, S.9

⁵⁵ Vgl. ebd., S.13

2.8 Pareto-Analyse

In sehr vielen Fällen in der Natur, sowie in gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Bereichen, ist der Umstand gegeben, dass eine kleine Anzahl der Ursachen einen großen Anteil an der Wirkung ergibt. Dieses Prinzip ist nach dem Italiener Vilfredo Pareto benannt und wird auch als 80/20-Regel bezeichnet. Das bedeutet, dass 80% der Wirkung auf 20% der Ursachen zurückzuführen sind und umgekehrt. Ziel der Pareto-Analyse ist es, mit beschränktem Einsatz von Ressourcen, das maximale Potenzial an Verbesserungen auszuschöpfen.⁵⁶

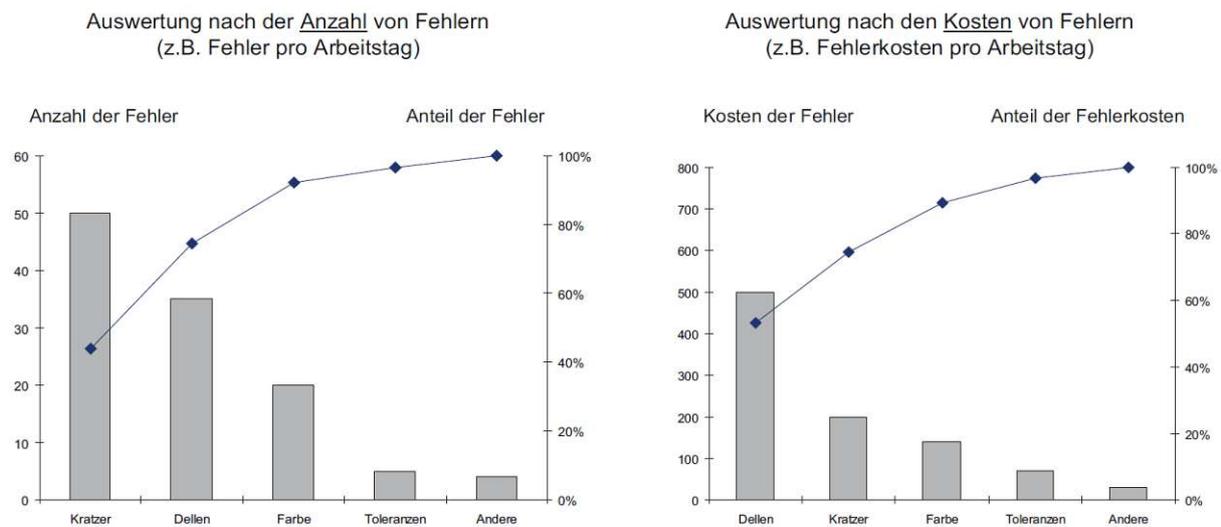


Abbildung 2.17: Pareto-Analyse⁵⁷

Abbildung 2.17 zeigt ein Beispiel für die Anwendung der Pareto-Analyse, nämlich die Fehler in der Produktion eines Automobilherstellers. In der linken Abbildung sind die Anzahl und der kumulierte Anteil der Anzahl der Fehler aufgetragen. Im rechten Diagramm hingegen sind die Kosten und der kumulierte Anteil der Fehlerkosten zu finden. Es ist zu sehen, dass, gemessen an der Anzahl der Fehler, „Kratzer“ die häufigste Fehlerursache darstellen. Gemessen an den Kosten sind Dellen der größte Einflussfaktor. Es zeigt sich, dass eine Pareto-Analyse anhand verschiedener Kenngrößen erstellt werden kann. Wichtig dabei ist, zu wissen, welches Ziel verfolgt wird bzw. welche Kenngröße optimiert werden soll.

Wappis beschreibt, dass „die Identifikation von Bauteilen, die Identifikation von Fehlern, die Identifikation von Problempunkten an Prozessen, sowie die Identifikation von Einflüssen an Prozessen“ typische Anwendungsbeispiele der Pareto-Analyse sind.⁵⁸

⁵⁶ Vgl. Wappis, 2016, S.97f

⁵⁷ Ebd., S.97

⁵⁸ Ebd., S.98

Die Erkenntnisse der Pareto-Analyse liegen der ABC-Analyse zu Grunde. Diese findet in vielen Bereichen der Wirtschaftswissenschaften Anwendung. In dieser Arbeit wird die ABC-Analyse zur Feststellung der Fokusgruppe an bedeutenden Ersatzteilen verwendet.

Nachdem Definitionen, Grundzüge des After Sales Managements, sowie weitere relevante theoretische Grundlagen betrachtet wurden, folgt nun die grundlegende Betrachtung von Zeitreihen.

3 Zeitreihenanalyse

Im folgenden Abschnitt werden Verfahren der Zeitreihenanalyse vorgestellt, welche zum Teil in weiterer Folge Anwendung in dieser Arbeit finden. Diese stellen ein grundlegendes Werkzeug zur Erstellung von Prognosen dar. Eine Zeitreihe ist im Allgemeinen eine zeitlich geordnete Folge von Daten. Die Daten können beispielsweise aus Beobachtungen und Messungen hervorgehen.⁵⁹ Zeitreihen sind in dieser Arbeit in zwei Anwendungsfällen von hoher Bedeutung: Zum einen dienen sie zur Annäherung der dynamischen Betriebsdaten von Motoren, um Wartungsereignisse zeitlich möglichst genau im Voraus zu bestimmen. Zum anderen liegt der Bedarf an Ersatzteilen ebenfalls in Form einer Zeitreihe vor. In diesem Fall sind auf der Ordinate die Anzahl an Ersatzteilen aufgetragen. Ein Beispiel dafür ist in Abbildung 3.1 zu sehen.

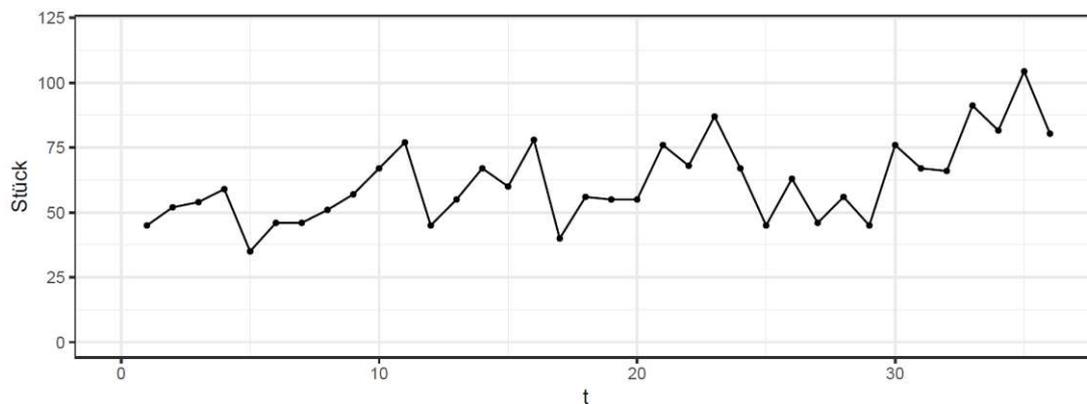


Abbildung 3.1: Beispiel für eine Zeitreihe⁶⁰

Zunächst werden die einzelnen Komponenten einer Zeitreihe erläutert. Die in diesem Kapitel verwendete Notation ist bereits im Unterkapitel 2.5.1 beschrieben.

⁵⁹ Vgl. Hedderich, Sachs, 2016, S.492

⁶⁰ Eigene Darstellung

3.1 Zerlegung von Zeitreihen

Um eine Zeitreihe besser beschreiben zu können, ist es zweckmäßig, diese in die folgenden Komponenten zu zerlegen:

- Trend Komponente
- Saisonale Komponente
- Zyklische Komponente
- Irreguläre Komponente

Die Zeitreihe ist somit eine Funktion dieser Komponenten. Bei Betrachtungen von realen Beobachtungen kann die Trendkomponente und die zyklische Komponente zu einer *glatten Komponente* zusammengefasst werden. Das vereinfacht die Zerlegung der Zeitreihe.

Die einzelnen Komponenten können einen additiven oder multiplikativen Zusammenhang aufweisen. Die Zerlegung der Zeitreihe kann in Folge dessen entweder nach den additiven (3.1) oder multiplikativen (3.2) Komponenten erfolgen.⁶¹

$$y_t = g_t + s_t + \varepsilon_t \quad (3.1)$$

$$y_t = g_t \cdot s_t \cdot \varepsilon_t \quad (3.2)$$

Für die weitere Beschreibung wird aufgrund der besseren Übersicht nur das additive Komponentenmodell (3.1) herangezogen. In den folgenden Unterkapiteln erfolgt die nähere Betrachtung zur Zerlegung der Zeitreihe.

3.1.1 Bestimmung der glatten Komponente

Im ersten Schritt der Zerlegung der Zeitreihe ist der Trend zu bestimmen. Das kann anhand von Methoden zur Annäherung wie beispielsweise

- linearem Trend,
- polynomialem Trend,
- exponentiellem Trend,
- gleitendem Durchschnitt, sowie durch
- exponentielles Glätten

erfolgen.

⁶¹ Vgl. Vogel, 2015, S.41f

Es werden im folgenden Abschnitt der lineare Trend, der gleitende Durchschnitt und das exponentielle Glätten zur Bestimmung der glatten Komponente beschrieben. Aufgrund der vorhandenen Zeitreihendaten sind im Praxisteil nur diese Methoden relevant.

Linearer Trend

Unter Verwendung des additiven Modells wird die glatte Komponente anhand einer Geraden (3.3) approximiert.

$$g_t = a + b \cdot t \quad (3.3)$$

Die Anpassung der Geraden erfolgt anhand der Methode der kleinsten Quadrate. Dazu wird die Funktion (3.4) minimiert.

$$Q = \sum_{t=1}^n (y_t - (a + b \cdot t))^2 \rightarrow \min \quad (3.4)$$

Gleitender Durchschnitt

Bei der Methode des gleitenden Durchschnitts wird der Mittelwert aus n -Perioden vor und nach t ermittelt.

$$\bar{y}_t = \frac{1}{2n+1} \cdot (y_{t-n} + \dots + y_{t-1} + y_t + y_{t+1} + \dots + y_{t+n}) \quad (3.5)$$

Bei Ermittlung des gleitenden Durchschnitts für Perioden gerader Anzahl (wie z.B. bei Monatsdaten) ist der zentrierte gleitende Durchschnitt heranzuziehen. Dabei werden die erste und letzte Periode mit dem Faktor 0,5 multipliziert- siehe (3.6).⁶²

$$y_t = \frac{1}{2n} \cdot (0,5 \cdot y_{t-n} + \dots + y_{t-1} + y_t + y_{t+1} + \dots + 0,5 \cdot y_{t+n}) \quad (3.6)$$

Exponentielle Glättung 1.Ordnung⁶³

Der Prognosewert $\hat{y}_{t+1(1.0)}$ für die exponentielle Glättung 1. Ordnung errechnet sich wie folgt:

$$\hat{y}_{t+1(1.0)} = \alpha \cdot y_t + \alpha \cdot (1 - \alpha)^1 \cdot y_{t-1} + \alpha \cdot (1 - \alpha)^2 \cdot y_{t-2} + \dots \quad (3.7)$$

⁶² Fahrmeier et al., 2016, S.516

⁶³ Vgl. Schönsleben, 2011, S480ff

Die Gleichung kann noch weiter vereinfacht werden:

$$\hat{y}_{t+1(1.0)} = \alpha \cdot y_t + (1 - \alpha) \cdot \hat{y}_{t(1.0)} \quad (3.8)$$

Der Glättungsfaktor α darf Werte im Bereich $0 < \alpha < 1$ annehmen. Die Glättungsfaktoren verhalten sich bei der Mittelwertberechnung exponentiell fallend. Die Gleichung (3.9) zeigt die Berechnung des geglätteten Mittelwertes in anderen Variablen angeschrieben. Der Prognosewert für die folgende Periode $\hat{y}_{t+1(1.0)}$ errechnet sich additiv aus dem Prognosewert der aktuellen Periode \hat{y}_t und dem Glättungsfaktor multipliziert mit der Abweichung der aktuellen Periode.

$$\hat{y}_{t+1(1.0)} = \hat{y}_{t(1.0)} + \alpha \cdot (y_t - \hat{y}_{t(1.0)}) \quad (3.9)$$

Nachdem die glatte Komponente anhand einer gewählten Methode ermittelt wurde, kann die betrachtete Zeitreihe bereits trendbereinigt werden. Im nächsten Schritt erfolgt die Bestimmung der saisonalen Komponente.

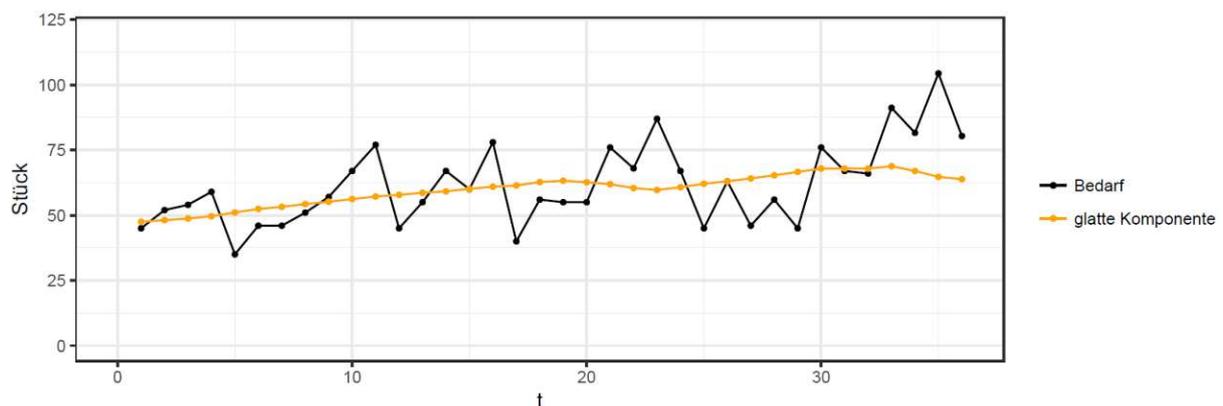


Abbildung 3.2: Beispiel für eine Zeitreihe mit glatter Komponente⁶⁴

Abbildung 3.2 zeigt als Beispiel eine Zeitreihe mit der bereits ermittelten glatten Komponente. Diese wurde anhand der Methode des zentrierten gleitenden Durchschnitts ermittelt.

3.1.2 Bestimmung der saisonalen Komponente

Für die Ermittlung der saisonalen Komponente sind die saisonalen Indizes erforderlich. Die Periodenlänge l ist bei monatlicher Teilung mit $l = 12$, für die Anzahl der Monate/Jahr definiert. Der Index wird für jedes Element ($t = 1, 2, \dots, l$) eines gesamten Intervalls berechnet. Das bedeutet beispielsweise für jedes Quartal oder für jeden Monat

⁶⁴ Eigene Darstellung

eines Jahres. \hat{r}_t in Gleichung (3.10) entspricht der Zeitreihe abzüglich der approximierten glatten Komponente \hat{g}_t .⁶⁵

$$\hat{r}_t = y_t - \hat{g}_t \quad (3.10)$$

Die Berechnung der saisonalen Indizes beschreibt Gleichung (3.11). n beschreibt die Anzahl der Intervalle, des Zeitraums. In dem betrachteten Anwendungsfall entspricht das der Anzahl der Jahre.

$$s_t = \frac{1}{n} \cdot (\hat{r}_t + \hat{r}_{t+l} + \dots + \hat{r}_{t+(n-1)l}) \quad (3.11)$$

In Abbildung 3.3 sind die saisonalen Indizes für die betrachtete Zeitreihe dargestellt. Es ist zu sehen, dass sich die Werte im jährlichen Zyklus ($l = 12$) wiederholen.

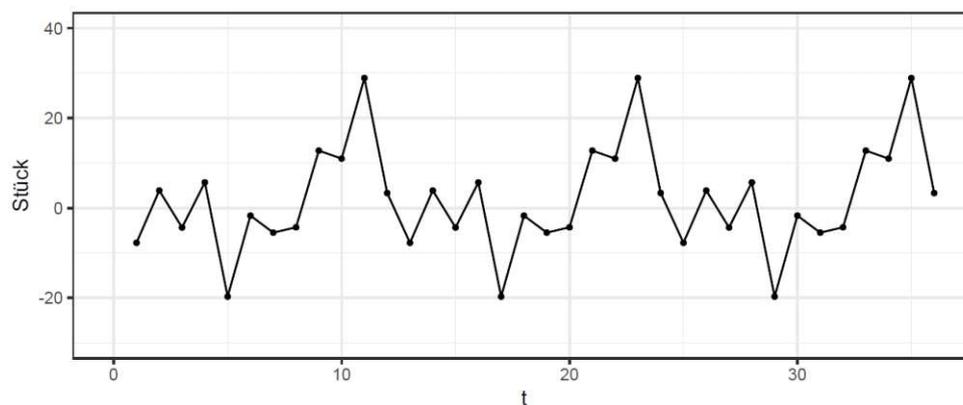


Abbildung 3.3: Darstellung der saisonalen Komponente⁶⁶

3.1.3 Bestimmung der irregulären Komponente

Die irreguläre Komponente berechnet sich bei additiver Zerlegung somit wie in der folgenden Formel dargestellt:

$$\varepsilon_t = y_t - g_t - s_t \quad (3.12)$$

In der Literatur wird die irreguläre Komponente auch oft als Rest oder Residuum bezeichnet.⁶⁷ Besondere Ausreißer und Schwankungen in der Zeitreihe, die nicht saisonalem oder trendbedingtem Einfluss unterliegen, kommen in der irregulären Komponente zum Vorschein. In Abbildung 3.4 ist die irreguläre Komponente der betrachteten Zeitreihe dargestellt. Es ist zu sehen, dass keine Regelmäßigkeiten zu erkennen sind.

⁶⁵ Vgl. Vogel, 2015, S.52f

⁶⁶ Eigene Darstellung

⁶⁷ Vgl. Vogel, 2015, S.59f

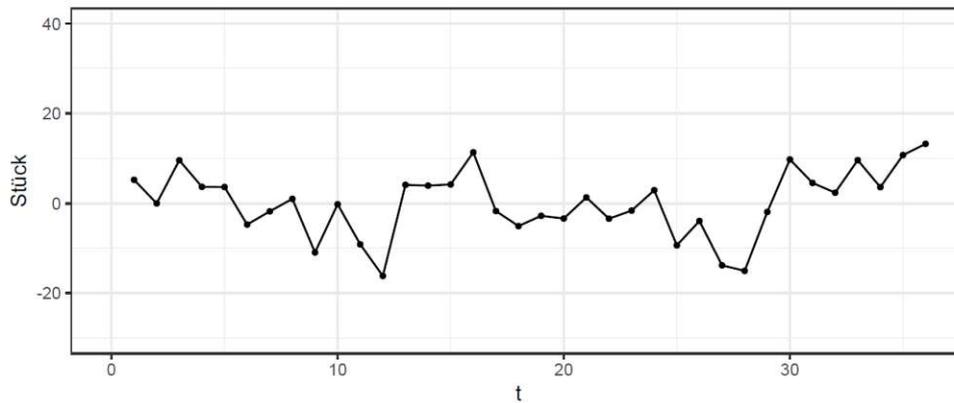


Abbildung 3.4: Darstellung der irregulären Komponente⁶⁸

Anhand der irregulären Komponente kann eine Residuen-Analyse hinsichtlich der Normalverteilung durchgeführt werden. Da es für das Ergebnis dieser Arbeit nicht von Bedeutung ist, wird an dieser Stelle darauf verzichtet.

In der Literatur steht eine sehr große Anzahl an Prognoseverfahren für Zeitreihen zur Verfügung. Aufgrund der Vielzahl der Verfahren wird in dieser Arbeit nur auf eine Auswahl der gängigsten Prognoseverfahren eingegangen. In dem folgenden Unterkapitel wird eine Auswahl an Berechnungsmethoden beschrieben. Diese finden sowohl in Kapitel 4 bei der Beschreibung von Methoden zur Bedarfsermittlung, als auch im Praxisteil Anwendung.

3.2 Vorhersage einer Zeitreihe nach Holt-Winters

Ein bekanntes Verfahren zur Prognose von Zeitreihen ist das Holt-Winters-Verfahren. Bei der Vorhersage wird der Trend und die Saisonalität der gegebenen Daten berücksichtigt. Die glatte Komponente aus dem bereits beschriebenen Kapitel zur Zerlegung der Zeitreihe wird bei diesem Verfahren nochmals, wie in Formel (3.13) dargestellt, in die Komponenten Niveau und Zuwachs zerlegt.⁶⁹

$$g_t = m_{t-1} + b_t \quad (3.13)$$

Aufgrund der besseren Übersichtlichkeit wird das folgende Verfahren ausschließlich mit additiven Komponenten betrachtet. Die Zeitreihe zeigt sich somit nach der additiven Zerlegung in dieser Form:⁷⁰

$$y_t = m_{t-1} + b_t + s_t + \varepsilon_t \quad (3.14)$$

⁶⁸ Eigene Darstellung

⁶⁹ Vogel, 2015, S.72

⁷⁰ Ebd.

Der Zuwachs b_t ist wie folgt definiert:

$$b_t = m_t - m_{t-1} \quad (3.15)$$

Die drei Komponenten Niveau m_t , Zuwachs b_t und Saisonalität s_t werden mit den Glättungsfaktoren α , β und γ exponentiell geglättet.

Zur Ermittlung der Startwerte werden die folgenden Gleichungen herangezogen:⁷¹

$$\hat{m}_l = \frac{1}{l} \cdot \sum_{i=1}^l y_i \quad (3.16)$$

$$\hat{b}_l = \frac{1}{l^2} \cdot \sum_{i=1}^l (y_{i+l} - y_i) \quad (3.17)$$

$$\hat{s}_t = y_t - \hat{m}_l \quad (3.18)$$

Die Startwerte für die saisonale Komponente \hat{s}_t werden für die gesamte erste Periode ermittelt ($t = 1, \dots, l$).

Die weiteren Prognosewerte ($t = l + 1, \dots, n$) der einzelnen Komponenten werden wie folgt ermittelt:⁷²

$$\hat{m}_t = \alpha \cdot (y_t - \hat{s}_{t-l}) + (1 - \alpha) \cdot (\hat{m}_{t-1} + \hat{b}_{t-1}) \quad (3.19)$$

$$\hat{b}_t = \beta \cdot (\hat{m}_t - \hat{m}_{t-1}) + (1 - \beta) \cdot \hat{b}_{t-1} \quad (3.20)$$

$$\hat{s}_t = \gamma \cdot (y_t - \hat{m}_t) + (1 - \gamma) \cdot \hat{s}_{t-l} \quad (3.21)$$

Die Prognosewerte für die gesamte Zeitreihe errechnen sich wie folgt:⁷³

$$\hat{y}_{n+t} = \hat{m}_n + t \cdot \hat{b}_n + \hat{s}_{n+t-l} \quad (3.22)$$

In Abbildung 3.5 ist Beispiel einer Zeitreihe mit Prognose mit dem Holt-Winters-Verfahren dargestellt. Als Glättungsparameter wurden $\alpha = 0,1$, $\beta = 0,1$ und $\gamma = 0,5$ gewählt. Die Glättungsparameter α und β wurden relativ klein gewählt, da die glatte Komponente annähernd einer Gerade ähnelt. Ein hoher Glättungsparameter γ berücksichtigt die jüngeren Daten stärker als jene, die weiter zurückliegen.

⁷¹ Vogel, 2015, S.73

⁷² Ebd.

⁷³ Ebd.

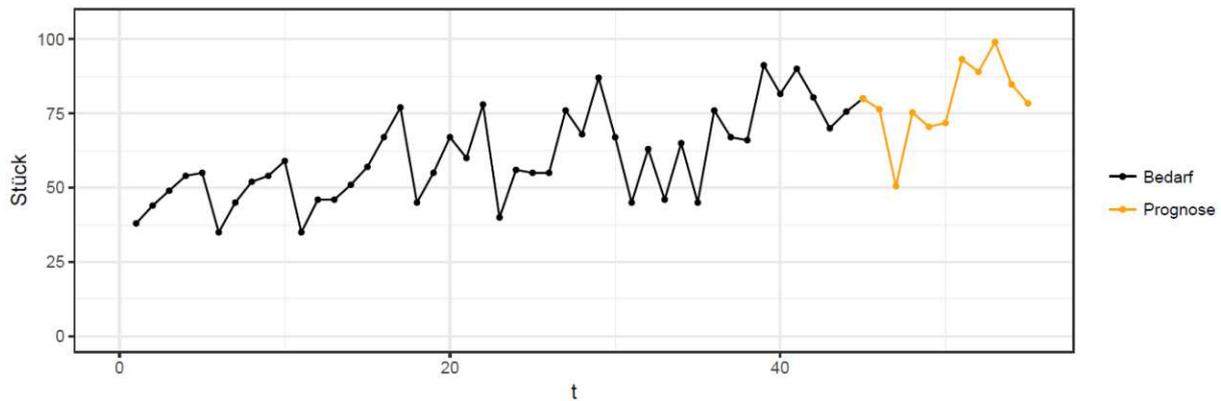


Abbildung 3.5: Vorhersage einer Zeitreihe mit dem Holt-Winters-Verfahren⁷⁴

3.3 Gleitender Mittelwert

Die Methode des gleitenden Mittelwerts wird vor allem bei Bedarfsprognosen mit gleichbleibenden Bedarfen, sowie allgemein zur Prognose von Zeitreihen herangezogen.⁷⁵

Für die Ermittlung des gleitenden Mittelwertes werden n Perioden mit bekannten Bedarfsdaten y_i betrachtet. Wie Gleichung (3.23) zeigt, errechnet sich der Prognosewert \hat{y}_{t+1} aus dem arithmetischen Mittelwert der vergangenen n Perioden. Bei der Ermittlung des nächsten Prognosewertes verschiebt sich das betrachtete Intervall um eine Periode. Die Anzahl der betrachteten Perioden n bleibt konstant.⁷⁶

$$\hat{y}_{t+1} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=t+1-n}^t y_i \quad (3.23)$$

In Abbildung 3.6 ist das Ergebnis der Methode des gleitenden Mittelwerts visualisiert. In diesem Beispiel werden die Mittelwerte der vergangenen $n = 4$ Perioden gebildet.

⁷⁴ Eigene Darstellung

⁷⁵ Vgl. Schönsleben, 2011, S.477

⁷⁶ Ebd., S.477ff

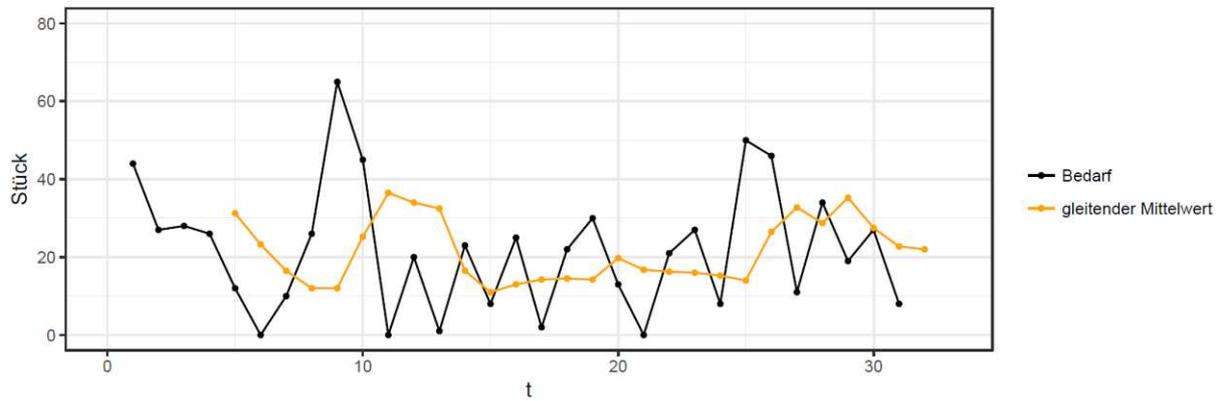


Abbildung 3.6: Darstellung des gleitenden Mittelwerts⁷⁷

Gewichteter gleitender Mittelwert

Bei der Methode des gewichteten gleitenden Mittelwertes, werden die einzelnen Nachfragewerte mit Gewichte G_i multipliziert. Die jüngsten Daten werden üblicherweise mit dem höchsten Faktor gewichtet. Gleichung (3.24) zeigt die Ermittlung des gewichteten gleitenden Mittelwertes.⁷⁸

$$\bar{y}_{t+1} = \frac{y_t \cdot G_n + y_{t-1} \cdot G_{n-1} + \dots + y_{t+1-n} \cdot G_1}{\sum_{i=1}^n G_i} \tag{3.24}$$

Das Verfahren eignet sich nur bei annähernd gleichbleibenden Bedarfen, da bei trendförmigem Verhalten der Prognosewert y_{t+1} meist zu niedrig ist bzw. zeitlich hinterherhinkt. In Abbildung 3.7 ist das Ergebnis dieser Methode dargestellt.

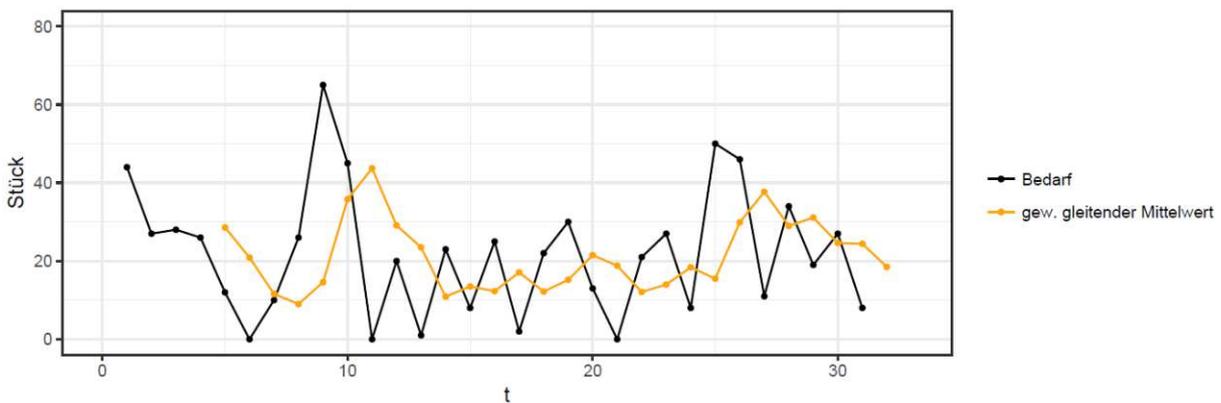


Abbildung 3.7: Darstellung des gewichteten gleitenden Mittelwerts⁷⁹

⁷⁷ Eigene Darstellung

⁷⁸ Vgl. Hartmann, 2002, S.322f

⁷⁹ Eigene Darstellung

3.4 Exponentielle Glättung

Bei der exponentiellen Glättung kann zwischen zwei Verfahren unterschieden werden. Die Verfahren werden als exponentielle Glättung 1. Ordnung und 2. Ordnung bezeichnet.

Exponentielle Glättung 1.Ordnung⁸⁰

Im Zuge der Ermittlung der glatten Komponente wurde die exponentielle Glättung bereits erläutert. Der Prognosewert $\hat{y}_{t+1(1.0)}$ sei in Gleichung (3.25) nochmals angeführt:

$$\hat{y}_{t+1(1.0)} = \hat{y}_{t(1.0)} + \alpha \cdot (y_t - \hat{y}_{t(1.0)}) \quad (3.25)$$

Die folgende Abbildung zeigt das Ergebnis der geglätteten Zeitreihe. Um die Bedeutung des Glättungsparameters α zu veranschaulichen, wird die geglättete Zeitreihe mit $\alpha = 0,3$ und $\alpha = 0,8$ in Abbildung 3.8 dargestellt.

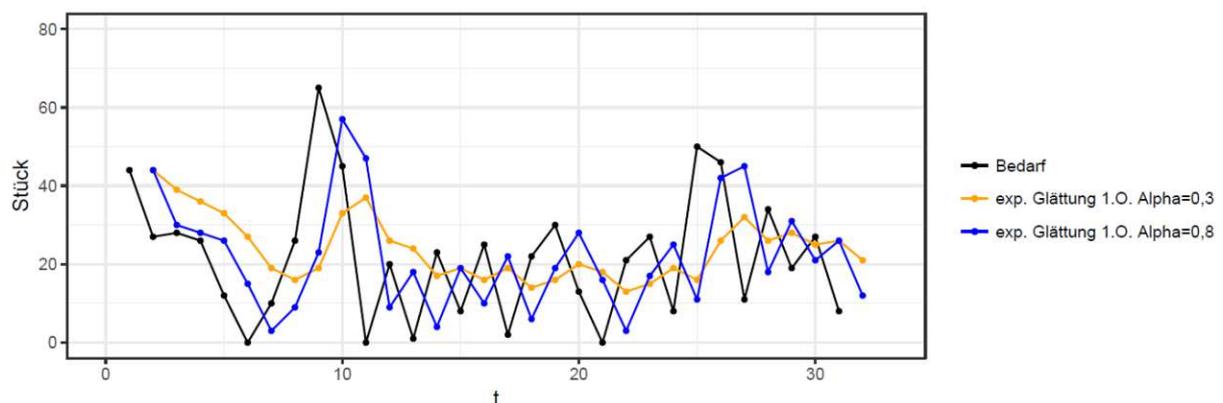


Abbildung 3.8: Darstellung der Methode des exponentiellen Glättens 1. Ordnung⁸¹

Wie zu sehen ist, reagiert die Funktion mit hohem Glättungsparameter schnell auf Schwankungen.

Exponentielle Glättung 2.Ordnung⁸²

Die exponentielle Glättung 2. Ordnung baut auf die exponentielle Glättung 1. Ordnung auf. Für den ersten Berechnungsschritt ist der Prognosewert $\hat{y}_{t(1.0)}$ der exponentiellen Glättung 1. Ordnung erforderlich.

$$\bar{y}_{t(2.0)} = \alpha \cdot \hat{y}_{t(1.0)} + (1 - \alpha) \cdot \bar{y}_{t-1(2.0)} \quad (3.26)$$

⁸⁰ Vgl. Schönsleben, 2011, S480ff

⁸¹ Eigene Darstellung

⁸² Vgl. Schönsleben, 2011, S486ff

Weiters erfolgt die Ermittlung der Steigung anhand der beiden Mittelwerte.

$$b_t = \frac{\hat{y}_{t(1.0)} - \bar{y}_{t(2.0)}}{\frac{1-\alpha}{\alpha}} = \frac{\alpha}{1-\alpha} \cdot (\hat{y}_{t(1.0)} - \bar{y}_{t(2.0)}) \quad (3.27)$$

Als Nächstes wird der Startwert A_t der Vorhersage bestimmt.

$$A_t = \bar{y}_{t(2.0)} + 2 \cdot (\hat{y}_{t(1.0)} - \bar{y}_{t(2.0)}) = 2 \cdot \hat{y}_{t(1.0)} - \bar{y}_{t(2.0)} \quad (3.28)$$

Der Prognosewert $\hat{y}_{t+1(2.0)}$ errechnet sich anhand Gleichung (3.29).

$$\hat{y}_{t+1(2.0)} = A_t + b_t \quad (3.29)$$

In der folgenden Abbildung ist wieder das Ergebnis der geglätteten Zeitreihe mit den Glättungsparametern $\alpha = 0,3$ und $\alpha = 0,8$ dargestellt. Es ist zu sehen, dass ein hoher Glättungsfaktor sowohl hohe Spitzen als auch Perioden ohne Bedarf in der geglätteten Zeitreihe zur Folge hat.

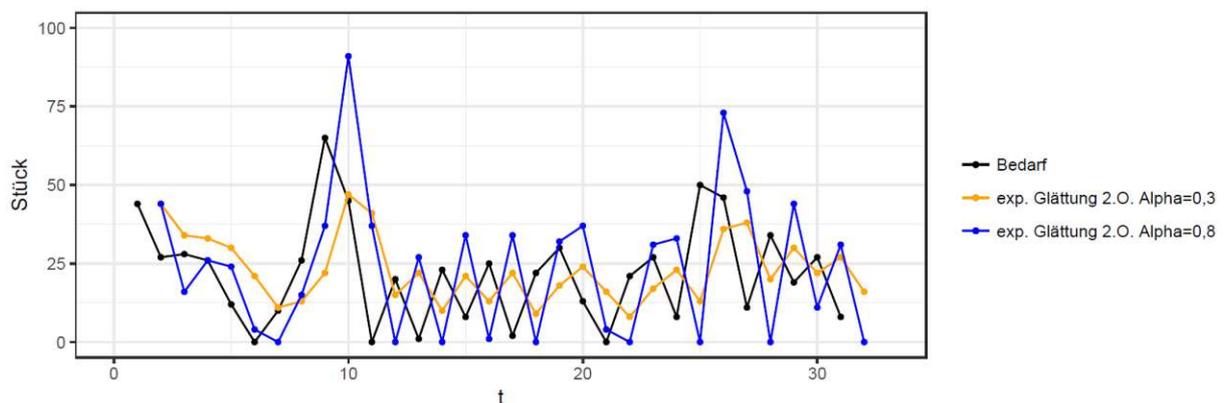


Abbildung 3.9: Darstellung der Methode des exponentiellen Glättens 2. Ordnung⁸³

Bei Prognosen über mehrere Perioden können aufgrund der Extrapolation sehr hohe bzw. sehr niedrige Werte prognostiziert werden, welche in vielen Fällen offensichtlich nicht plausibel sind. Das Verfahren der exponentiellen Glättung sollte aufgrund dessen zur Prognose nur für einen sehr kurzen Horizont angewandt werden.⁸⁴

3.5 Regressionsanalyse

Die Regressionsanalyse stellt eines der wichtigsten Werkzeuge zur Analyse von Zeitreihen dar. In dieser Arbeit wird aufgrund der Charakteristik der untersuchten Daten

⁸³ Eigene Darstellung

⁸⁴ Vgl. Vogel, 2015, S.70

die lineare Regression betrachtet. Diese verwendet eine lineare Funktion, um eine Datenmenge zu approximieren.

Schönsleben definiert die lineare Regression wie folgt: „Das Vorhersageverfahren der linearen Regressionsrechnung oder linearen Regression wird häufig auch als Trendrechnung bezeichnet. Sie geht von der Annahme aus, dass die Nachfragewerte in einer bestimmten Funktion der Zeit auftreten, zum Beispiel linear.“⁸⁵

Das Regressionsmodell kann anhand einer linearen Funktion wie folgt dargestellt werden:

$$y_t = a + b \cdot t \quad (3.30)$$

Dabei stellen a und b die zu definierenden Parameter dar, t ist die Zeitkomponente auf der Abszisse und y_t ist der Funktionswert in Abhängigkeit der Zeit t .

Gleichung (3.30) beschreibt die approximierte Funktion, Gleichung (3.31) die zu approximierende. ε_t ist der Fehler, um den die Funktion von den tatsächlichen Werten abweicht.

$$y_t = a + b \cdot t + \varepsilon_t \quad (3.31)$$

Die lineare Regression eignet sich vor allem für Zeitreihen mit linearem Trend. Eine lineare Annäherung stellt oft schon eine sehr gute Näherung der Zeitreihe dar.

In Gleichung (3.32) ist der Ansatz für die multiple lineare Regression angeführt.

$$y_t = a + b \cdot t + c \cdot t^2 + \varepsilon_t \quad (3.32)$$

a , b und c sind die unbekanntenen, zu bestimmenden Parameter. Im Falle einer annähernd linearen Funktion ist $c \approx 0$.

Zur Findung der notwendigen Parameter wird die Methode der kleinsten Quadrate angewandt.

3.6 Naive Prognose

Die naive Prognose stellt die einfachste Form der Prognose dar. Anwendung findet dieses Verfahren in manchen Fällen zur Findung der Startwerte oder auch wenn keine weiteren Informationen verfügbar sind. Die naive Prognose unterscheidet zwischen zwei verschiedenen Fällen:

⁸⁵ Schönsleben, 2011, S.484

Fall 1: Hier wird der tatsächliche Wert der vergangenen Periode als Prognosewert der aktuellen Periode herangezogen – siehe (3.33). Diese Prognose wird auch als *No-Change-Niveau-Prognose* bezeichnet.⁸⁶

$$\hat{y}_{t+j} = y_t; \quad j = 1, 2, \dots \quad (3.33)^{87}$$

Fall 2: Der tatsächliche Wert der vergangenen Periode, wird mit der Änderung (Gradient) aus den letzten beiden Perioden multipliziert – siehe (3.34). Diese Prognose wird auch als *No-Change-Raten-Prognose* bezeichnet.⁸⁸

$$\hat{y}_{t+j} = y_t \cdot \left(\frac{y_t}{y_{t-1}} \right)^j; \quad j = 1, 2, \dots \quad (3.34)^{89}$$

Die soeben erläuterten grundlegenden Verfahren der Zeitreihenanalyse finden auch bei Bedarfsermittlungsverfahren Anwendung. Im folgenden Kapitel werden diese genauer betrachtet.

⁸⁶ Vgl. Rinne, 2008, S.159

⁸⁷ Ebd.

⁸⁸ Vgl. ebd.

⁸⁹ Ebd.

4 Methoden zur Bedarfsermittlung

Die Ermittlung des zukünftigen Bedarfes an Ressourcen nimmt eine wesentliche Bedeutung im Supply Chain Management ein. Die Qualität der Vorhersage beeinflusst die Verfügbarkeit sowie den Bestand an Materialien enorm. Es stehen verschiedene Methoden zur Bedarfsermittlung zur Verfügung. Die Wahl des geeigneten Verfahrens richtet sich unter anderem nach dem Nachfragemodell, welche im Unterkapitel 2.4. erläutert sind.

Die Methoden zur Bedarfsermittlung können nach verschiedenen Kriterien eingeteilt werden. Pawellek und Schönsleben unterscheiden zwischen vergangenheits- und zukunfts-basierten Prognoseverfahren.^{90,91} Makridakis et al. sowie Vogel unterteilen die Prognoseverfahren in qualitative und quantitative Verfahren.^{92,93} In dieser Arbeit werden die Bedarfsermittlungsmethoden, in Anlehnung an Hartmann, in deterministische und stochastische Bedarfsermittlung sowie subjektive Schätzung unterteilt.⁹⁴ Die Einteilung ist in der folgenden Abbildung zu sehen.

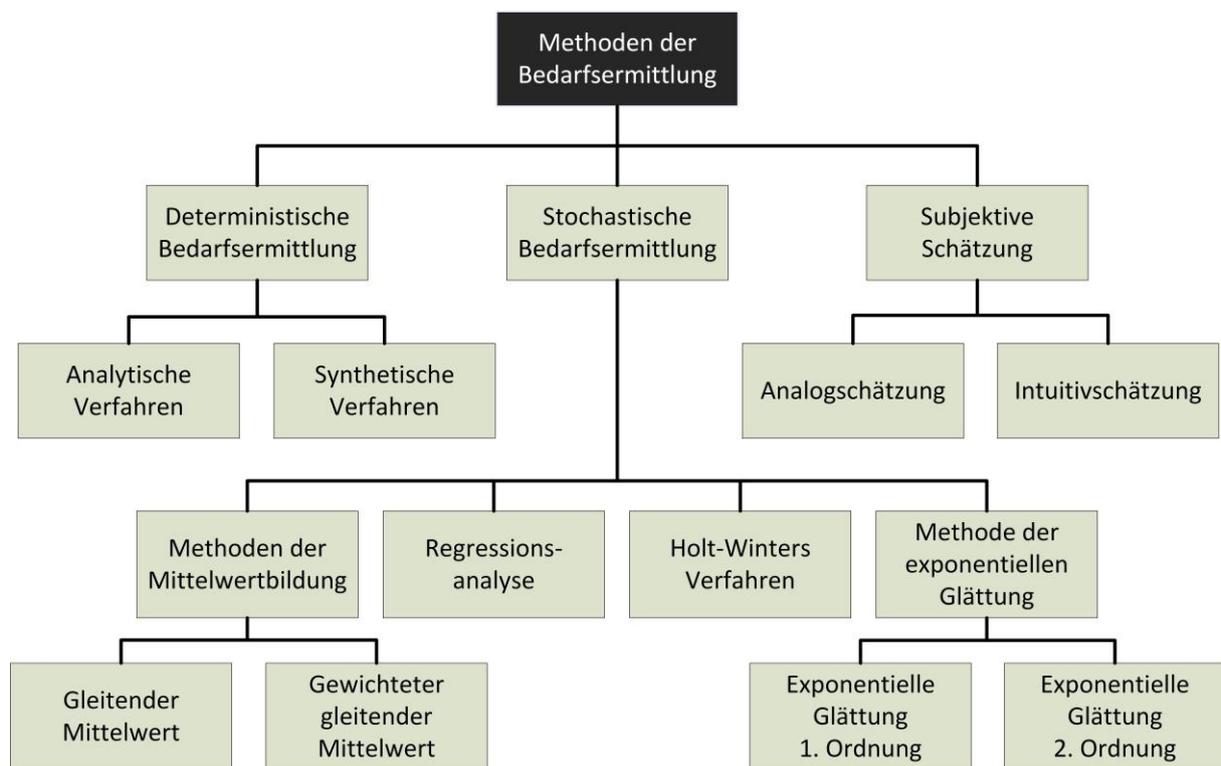


Abbildung 4.1: Methoden der Bedarfsermittlung⁹⁵

⁹⁰ Pawellek, 2016, S.357ff

⁹¹ Schönsleben, 2011, S.471ff

⁹² Makridakis et al., 1998, S.8f

⁹³ Vogel, 2015, S.11ff

⁹⁴ Hartmann, 2002, S.284

⁹⁵ Eigene Abbildung, in Anlehnung an Hartmann, 2002, S.284

Die Methoden der Bedarfsermittlung werden in den folgenden Unterkapiteln näher beschrieben. Methoden der stochastischen Bedarfsermittlung werden in diesem Kapitel nur mehr allgemein betrachtet, da diese bereits in Kapitel 3 im Zuge der Zeitreihenanalyse detaillierter beschrieben wurden.

4.1 Deterministische Bedarfsermittlung

Deterministische Bedarfsermittlungsmethoden leiten den Bedarf anhand des tatsächlichen Materialbedarfes an Ersatzteilen durch den bekannten Bedarf des Primärproduktes ab. Diese Methode ist theoretisch nur bei Auftragsfertigung möglich, allerdings wird in der Praxis der prognostizierte Bedarf an Primärteilen als deterministisch ermittelter Wert angenommen⁹⁶. Die Grundlage für die deterministische Bedarfsermittlung bildet die Stückliste. Im Allgemeinen werden hier hohe Ansprüche an die Datenqualität gestellt. Diese Ermittlung kann entweder anhand des analytischen oder anhand des synthetischen Verfahrens erfolgen.

4.1.1 Analytische Verfahren

Beim analytischen Bedarfsermittlungsverfahren dient der Primärbedarf an Fertigerzeugnissen als Grundlage. Nach der Auflösung der Stücklisten der Primärprodukte kann der Bedarf der Einzelteile ermittelt werden.⁹⁷ Dabei ist beispielsweise die Anwendung einer Mengenübersichts-Stückliste, wie bereits angeführt, möglich.

4.1.2 Synthetische Verfahren

Bei der synthetischen Bedarfsermittlung wird festgestellt, wie oft eine Komponente in einem Erzeugnis verwendet wird. Der tatsächliche prognostizierte Bedarf errechnet sich aus diesem Wert mit der zu produzierenden Menge des Erzeugnisses.⁹⁸

4.2 Stochastische Bedarfsermittlung

Stochastische Bedarfsermittlungsmethoden eignen sich vor allem dann, wenn eine detaillierte Planung des Bedarfes nicht wirtschaftlich ist.⁹⁹ Das kann anhand des *MAPE* festgestellt werden. Mertens setzt die Grenze bei einem *MAPE* von 50%.¹⁰⁰ Stochastische Methoden basieren auf den Vergangenheitsdaten der Bedarfe. Das ist besonders dann ein Problem, wenn noch keine Daten der vorangegangenen Perioden zur Verfügung stehen.

⁹⁶ Vgl. Hartmann, 2002, S.285

⁹⁷ Vgl. ebd., S.297

⁹⁸ Vgl. ebd., S.304f

⁹⁹ Vgl. Biedermann, 2008, S.36

¹⁰⁰ Vgl. Mertens, 1973, S. 94

4.2.1 Methoden der Mittelwertbildung

Die Methoden der Mittelwertbildung orientieren sich an den vorhergehenden Perioden und bilden einen geglätteten Wert für die folgende Periode. Die Werte können mit gleichen oder verschiedenen Gewichten in die Berechnung einfließen. Dieses Verfahren wurde bereits in Kapitel 3 genauer beschrieben.

4.2.2 Methoden der exponentiellen Glättung

Die exponentielle Glättung 1. Ordnung eignet sich für gleichbleibende Bedarfe. Die exponentielle Glättung 2. Ordnung eignet sich für Bedarfe mit trendförmigem Verhalten. Dieses Verfahren wurde ebenso bereits in Kapitel 3 detaillierter ausgeführt.

4.2.3 Regressionsanalyse

Die Regressionsanalyse kann auch zur Bedarfsprognose herangezogen werden. Dabei werden die Vergangenheitsdaten mit Hilfe einer Regressionsgeraden (4.1) approximiert. a und b stellen die zu definierenden Parameter dar.

$$y_t = a + b \cdot t \quad (4.1)$$

Im Detail wurde die Regressionsanalyse bereits im Zuge der Zeitreihenanalyse in Kapitel 3 beschrieben.

4.2.4 Holt-Winters Verfahren

Das Holt-Winters-Verfahren ist ein sehr bekanntes Verfahren zur Prognose von Zeitreihen. Dabei werden der Trend und die Saisonalität der gegebenen Daten für die Prognose verwendet. Dieses Verfahren kann auch für die Bedarfsprognose herangezogen werden und wurde bereits im Zuge der Zeitreihenanalyse näher beschrieben.

4.3 Subjektive Schätzung¹⁰¹

Subjektive Schätzung bedeutet, dass die Prognose auf Vergleiche, Erfahrungswerte sowie Intuition und nicht auf Daten beruht. Die subjektive Schätzung als primäre Bedarfsermittlungsmethode sollte nur bei den folgenden Erzeugnissen eingesetzt werden:

- Erzeugnisse mit geringem Wert
- wenn eine deterministische oder stochastische Bedarfsermittlung nicht sinnvoll oder möglich ist

¹⁰¹ Vgl. Hartmann, 2002, S.335f

Diese Methode tritt meist in Kombination mit den weiteren Bedarfsermittlungsverfahren auf. Das hat auch durchaus seine Berechtigung. Es ist sinnvoll, die Ergebnisse der deterministischen und stochastischen Bedarfsermittlung stets auf Plausibilität zu überprüfen. In diesem Fall können die Erfahrungswerte der Planer und Disponenten eine wichtige Rolle spielen. Im Allgemeinen kann zwischen der Analogschätzung und der Intuitivschätzung unterschieden werden.

4.3.1 Analogschätzung

Bei der Analogschätzung werden Bedarfs- und Prognosedaten von anderen Erzeugnissen auf das Betrachtete übertragen. Wird ein Ersatzteil aufgrund von Neuentwicklungen oder konstruktiven Verbesserungen durch einen optimierten ersetzt, so kann die Prognose der Nachfrage des ersetzten Ersatzteils auf das verbesserte Ersatzteil analog übernommen werden. Die Ersatzteile ähneln sich üblicherweise in ihrer Funktion.

4.3.2 Intuitivschätzung

Bei der Intuitivschätzung erfolgt die Erstellung der Prognose rein intuitiv. Es werden keine weiteren Informationen herangezogen. Als Beispiele kann die Delphi-Methode genannt werden. Die Delphi-Methode findet in erster Linie Anwendung, wenn kaum zuverlässige Informationen zur Verfügung stehen.¹⁰² Dazu werden anonyme Expertenmeinungen eingeholt. Darauf folgen mehrere Iterationen der Befragung. Nach jeder Runde erhalten alle Experten die Ergebnisse, wie z.B. Mittelwert und Streuung, der vorhergehenden Befragung. Die Teilnehmer können anhand der Ergebnisse die eigene Meinung überdenken und erneut eine Schätzung abgeben.¹⁰³

Es hat sich gezeigt, dass die einzelnen Bedarfsermittlungsverfahren nicht isoliert zu betrachten sind. Eine Kombination aus mehreren Verfahren kann z.B. zur Plausibilitätsprüfung durchaus sinnvoll sein.

¹⁰² Vgl. Hedderich, Sachs, 2016, S.313

¹⁰³ Vgl. Schönsleben, 2011, S.496

5 Klassifizierung von Ersatzteilen

Aus einer großen Vielfalt an Produktvarianten, sowie oft auch durch historisch geprägte Produktportfolios, resultiert eine scheinbar unüberschaubare Anzahl an bereitzustellenden Ersatzteilen. Um eine gezielte und strukturierte Optimierung bzw. einen optimalen Ressourceneinsatz zu ermöglichen, ist eine zweckmäßige Klassifizierung von Ersatzteilen notwendig.

Voraussetzung dafür ist eine korrekte sowie standardisierte Dokumentation der technischen Daten eines Ersatzteils. Anhand deren Merkmale erfolgt die Zuordnung zu einer Ersatzteilkategorie, wie zum Beispiel: Normteile, Wellen, Generatoren, etc.¹⁰⁴ In diesem Kapitel werden verschiedene Möglichkeiten aufgezeigt, nach welchen Kriterien eine Unterteilung erfolgen kann. Folgende Möglichkeiten werden dabei betrachtet:

- Klassifizierung von Ersatzteilen nach ihrer Herkunft
- Ersatzteilspezifische Klassifizierungsmethoden
- Sonstige Klassifizierungsansätze

5.1 Klassifizierung nach der Herkunft

Bei der Unterscheidung der Ersatzteile nach der Herkunft unterscheidet Baumbach im ersten Schritt zwischen Original-, Fremd-, Recycling- und Gebrauchtersatzteile. Die weiteren Unterteilungen nach Baumbach sind in Abbildung 5.1 ersichtlich.¹⁰⁵

Ersatzteile	Bezeichnung		Herkunft
	Original(ersatz)teile	Eigen(fertigungs)teile	PrimärproduktHersteller
Zulieferteile		Teilelieferanten Lizenznehmer	
Fremd(ersatz)teile	Identteile	Nachbauer	
	Nachbauteile		
Recyclingteile	Austauschteile/ Aufarbeitungsteile	PrimärproduktHersteller	
		Freie Wiederaufarbeiter und Instandsetzer freie Serviceanbieter	
Gebraucht(ersatz)teile	Reparaturteile	Anlagenverwerter	
	Altteile		

Abbildung 5.1: Klassifizierung von Ersatzteilen nach ihrer Herkunft¹⁰⁶

¹⁰⁴ Strunz, 2012, S.585

¹⁰⁵ Schuh et al., 2013, S.176

¹⁰⁶ Eigene Darstellung nach Baumbach, 1998, S.128, in Anlehnung an Hug, 1986, S.25, Vgl. auch Engelhardt, Günter, 1981, S.183, Schuppert, 1994, S.53, Müller, 1995, S.127

Bei Verwendung von Fremdersatzteilen, Recyclingteilen oder Gebrauchersatzteilen ist anzumerken, dass diese unter Umständen nicht den Qualitätsstandards von Originalersatzteilen entsprechen. Originalersatzteile werden aufgrund der gewonnenen Felderfahrung des Primärprodukts laufend verbessert. Maßnahmen können beispielsweise die Optimierung der Geometrie oder auch Werkstoffänderungen sein. Alle weiteren Gruppen von Ersatzteilen unterliegen nicht dem Qualitätssicherungssystem des Primärproduktherstellers und erreichen somit unter Umständen nicht die gestellten Qualitätsanforderungen.

5.2 Ersatzteilspezifische Klassifizierungsmethoden

In der Materialwirtschaft können auch ersatzteilspezifische Klassifizierungsmethoden von Bedeutung sein. Die Erstellung der Kategorien ist beispielsweise mit ABC- und XYZ-Analysen möglich. Dabei können verschiedene Größen wie Absatzwert, Produktpreis oder Lagerwert für die ABC-Analyse herangezogen werden. Für die XYZ-Analyse stehen ebenso mehrere Klassifizierungsfaktoren zur Auswahl. Als Beispiele sind der Prognosefehler oder der Variationskoeffizient des Ersatzteilbedarfes zu erwähnen.

Primäres Ziel dieser Analysen ist der optimale Einsatz von Ressourcen. Auf Kategorien mit Ersatzteilen mit hoher Bedeutung soll besonderes Augenmerk gelegt werden. Ersatzteilgruppen mit weniger wichtigen Ersatzteilen sollen hingegen mit minimierten Bearbeitungsaufwand abgearbeitet werden.

5.2.1 ABC-Klassifizierung

Diese Analyse stellt eine Möglichkeit dar, um Ersatzteile zu klassifizieren. Die ABC-Klassifizierung basiert auf dem Pareto-Prinzip, das bereits im Unterkapitel 2.8 beschrieben wurde. Die A-Teile charakterisieren den kleinsten Teil der Gesamtmenge, welche einen überwiegenden Teil der Wirkung erzeugen. Die C-Teile sind durch hohen Anteil an der Gesamtmenge, jedoch durch geringen Anteil der Wirkung charakterisiert. Die B-Teile haben mittleren Einfluss auf die Gesamtwirkung. Die angegebenen Grenzwerte der Klassen bilden nur einen Richtwert und sind in Tabelle 5.1 dargestellt. Diese sind je nach Anwendungsfall zu definieren.¹⁰⁷

Kategorie	Anteil der Wirkung
A	70-80%
B	10-15%
C	5-10%

Tabelle 5.1: ABC-Klassifizierung¹⁰⁸

¹⁰⁷ Vgl. Biedermann, 2008 S.83

¹⁰⁸ Vgl. ebd.

In Abbildung 5.2 ist eine Pareto-Kurve zu sehen. In diesem Beispiel wird der erzielte Umsatz mit dem relativen Anteil der Teile verglichen. Die A-Teile bilden den Großteil des Gesamtumsatzes bei geringem Anteil der Gesamtmenge an Artikel oder Lieferanten. Aus den B-Teilen resultieren weitere ca. 10-15% des Umsatzes, während die C-Klasse den Rest ergibt.

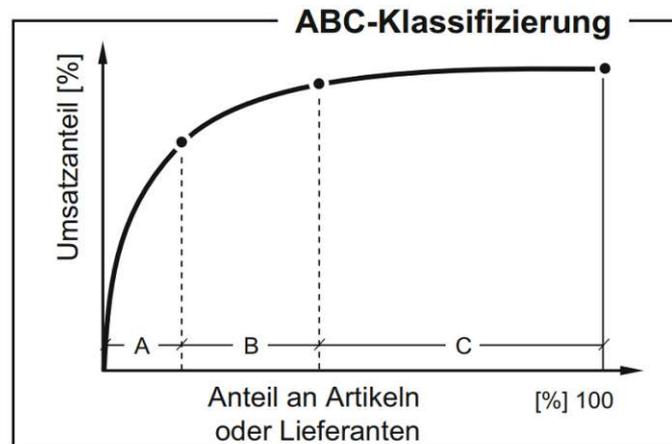


Abbildung 5.2: ABC-Klassifizierung¹⁰⁹

Durch die Klassifizierung der Bauteile anhand der ABC-Analyse können gezielte Optimierungsmaßnahmen eingeleitet werden. Da die A-Teile den größten Anteil am Gesamtwert haben, wird diesen Teilen das größte Potenzial zugeschrieben. Die ABC-Klassifizierung kann anhand verschiedener Größen durchgeführt werden. Üblich sind Größen wie Umsatz, Lagerwert, Fehlerkosten etc.

5.2.2 XYZ-Klassifizierung

Besonders bei Ersatzteilen mit langen Lieferzeiten ist die Prognostizierbarkeit von hoher Bedeutung. Die XYZ-Klassifizierung unterteilt die Gesamtteilmenge nach der Prognostizierbarkeit.

Kategorie	Vorhersagegenauigkeit
X	Hoch
Y	Mittel
Z	Niedrig

Tabelle 5.2: XYZ-Klassifizierung

Die Spezifizierung der Kategorien ist Tabelle 5.2 zu entnehmen.¹¹⁰ In Abbildung 5.3 ist eine typische XYZ-Klassifizierung dargestellt. Der Bedarf der X-Teile streut weniger

¹⁰⁹ Nyhuis, Wiendahl, 2012, S.268

¹¹⁰ Vgl. ebd., S.267

als der der Z-Teile. Daher ist üblicherweise die Vorhersagbarkeit der X-Teile deutlich höher.

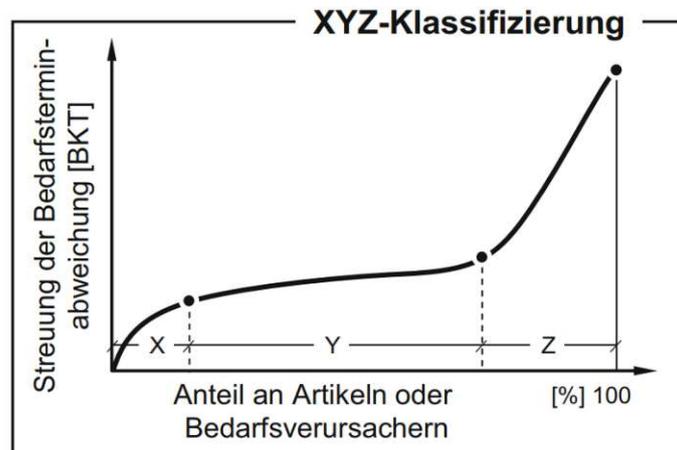


Abbildung 5.3: XYZ-Klassifizierung¹¹¹

5.3 Sonstige Klassifizierungsansätze

Schuh et al. (in Anlehnung an Meyer) beschreiben weitere Klassifizierungsansätze, die über die bereits beschriebenen Klassifizierungsansätze hinausgehen. Diese werden nun folgend angeführt.¹¹²

5.3.1 Klassifizierung mittels Lebenszyklus

Bei der Klassifizierung mittels Lebenszyklus wird die ABC-/XYZ-Analyse um eine dritte Achse ergänzt, die in die Phasen Einführung, Konsolidierung und Degeneration geteilt ist.¹¹³

5.3.2 Klassifizierung mittels Ausfallfolgekosten des Primärprodukts

Besonders bei ungeplanten Wartungsarbeiten ist die Ersatzteillogistik besonders gefordert. In Abhängigkeit des Einsatzgebietes des Primärprodukts entstehen verschieden hohe Ausfallfolgekosten, besonders bei funktions- und sicherheitsrelevanten Ersatzteilen. Bei dieser Methode werden die Ausfallfolgekosten des Primärproduktes zur Klassifizierung der Ersatzteile herangezogen.¹¹⁴

¹¹¹ Nyhuis, Wiendahl, 2012, S.267

¹¹² Schuh et al., 2013, S.180 in Anlehnung an Meyer, 1996

¹¹³ Vgl. Schuh et al., 2013, S.180

¹¹⁴ Vgl. ebd.

5.3.3 Klassifizierung mittels logistisch relevanter Merkmale

Eine weitere Klassifizierung der Ersatzteile kann mittels logistisch relevanter Ersatzteile erfolgen. Die Einteilung kann beispielsweise anhand der Stückkosten oder anhand der geometrischen Maße, wie Größe, Form oder Gewicht, erfolgen.¹¹⁵ Bei Steuerungselementen kann es auch vorkommen, dass Hardwarekomponenten vor der Auslieferung mit der benötigten Software ausgestattet werden müssen bzw. die Komponenten dem Anwendungsfall entsprechend korrekt zu programmieren sind.

5.3.4 Klassifizierung mittels Beschaffungsbedingungen

Auch die Wiederbeschaffungszeit sowie weitere Bestellbedingungen können eine wesentliche Rolle in der Ersatzteillogistik spielen. Daher können auch diese Beschaffungsbedingungen zur Ersatzteilklassifizierung herangezogen werden.¹¹⁶

5.3.5 Klassifizierung mittels Ersetzbarkeit

Bei Ersatzteilen ähnlicher Funktion bzw. baugleicher Art eines alternativen Herstellers kann es sinnvoll sein, universelle Vorprodukte auf Lager zu legen. Daraus wird mit entsprechender Nachbearbeitung das gewünschte Ersatzteil gefertigt. Die Einteilung der Ersatzteile erfolgt hier nach der Ersetzbarkeit.¹¹⁷

Die hohe Anzahl an Klassifizierungsansätze von Ersatzteilen zeigt die Vielfalt der Möglichkeiten auf. In Abhängigkeit der verschiedenen Ersatzteile eines Unternehmens bzw. deren Firmenphilosophie, kann eine geeignete Klassifizierung gewählt werden.

¹¹⁵ Vgl. Schuh et al., 2013, S.181

¹¹⁶ Vgl. ebd.

¹¹⁷ Vgl. ebd.

6 Prozessanalyse und Swimlane-Diagramm

Die IST-Analyse eines bestehenden Prognoseprozesses sowie die Entwicklung eines SOLL-Prozesses bilden einen wesentlichen Teil dieser Arbeit. Für die Darstellung der Prozesse werden Datenflussdiagramme (*Swimlane*) verwendet, welche unter anderem in diesem Kapitel beschrieben werden.

6.1 Allgemeines

Ein Prozessbegriff selbst ist in der *DIN EN ISO 9000:2015* wie folgt definiert:

„Satz zusammenhängender oder sich gegenseitig beeinflussender Tätigkeiten, der Eingaben zum Erzielen eines vorgesehenen Ergebnisses verwendet.“¹¹⁸

Gemäß dieser Definition ist ein Prozess durch Eingaben, einer Verarbeitung und einer daraus resultierenden Ausgabe charakterisiert. Hauptprozesse, wie z.B. der Beschaffungsprozess kann in Teilprozesse unterteilt werden, wie in Abbildung 6.1 dargestellt.

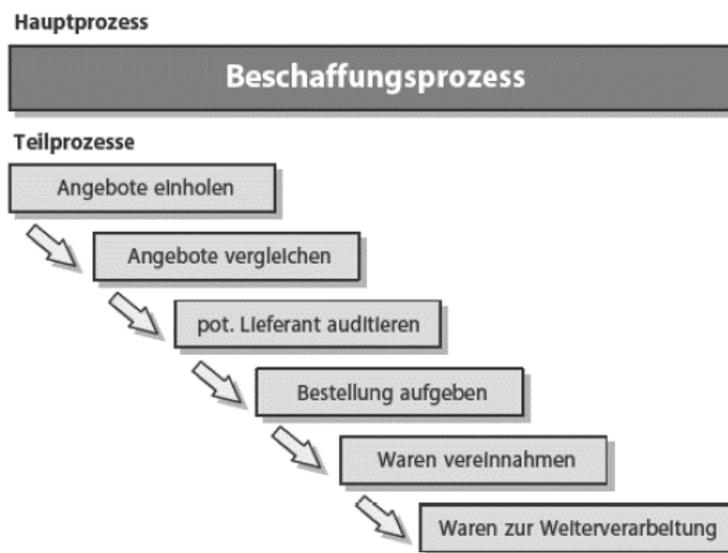


Abbildung 6.1: Darstellung von Haupt- und Teilprozessen¹¹⁹

Aus diesem Zusammenhang ergibt sich, dass jedem Haupt- und Teilprozess die Rollen des Kunden, des Verarbeiters sowie des Lieferanten zukommen. In Abbildung 6.2 ist ein schematisches Prozessmodell dargestellt. Darin ist zu sehen, dass der Prozessgedanke weit über die Unternehmensgrenzen hinausgeht. Symbolisch sind auch einige Teilprozesse eines betrachteten Unternehmens angeführt. Die Kundenanforderungen spannen einen weiten Bogen vom externen Kunden bis hin zum externen Lie-

¹¹⁸ Deutsches Institut für Normung, 2015, S.33

¹¹⁹ Fürmann, Dammasch, 2008, S.10

feranten des Unternehmens. Die internen Qualitätsanforderungen haben für die internen Prozesse eine wesentliche Bedeutung. Die Kundenanforderungen der externen Kunden spielen dabei eine große Rolle.¹²⁰

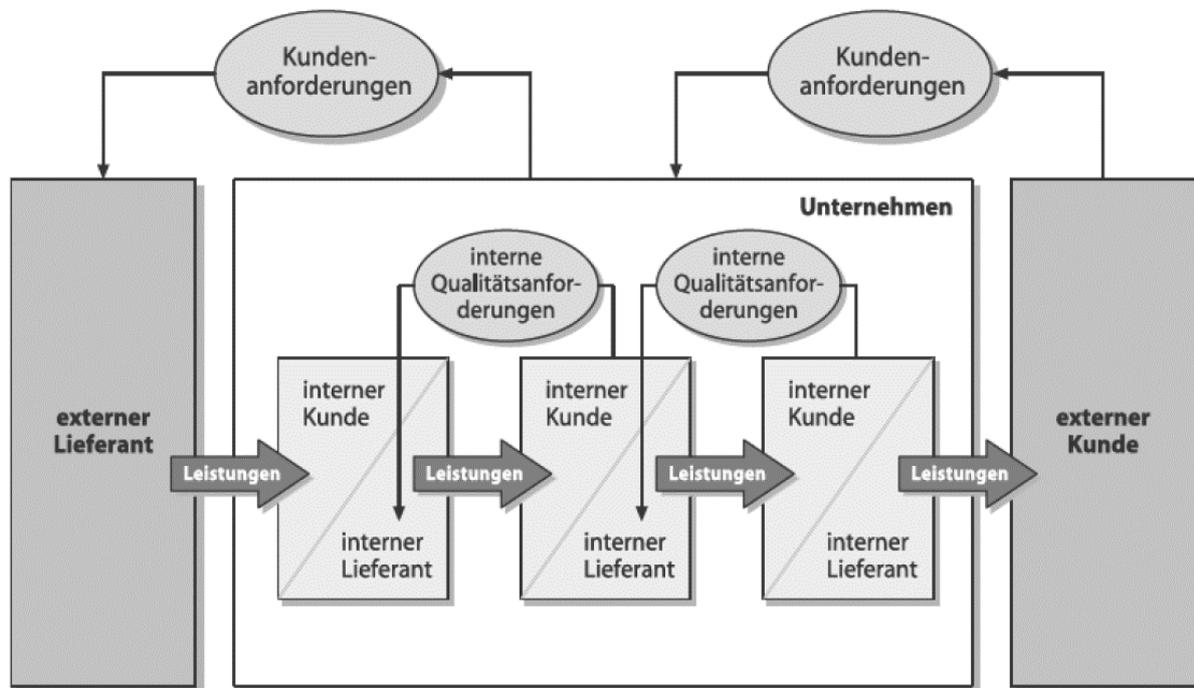


Abbildung 6.2: Prozessmodell¹²¹

Ein wichtiger Bestandteil des Prozessmanagements ist die Beschreibung von Prozessen. Bevor mit der Visualisierung begonnen werden kann, sind die Kunden zu identifizieren. Jeder Prozess in einem Unternehmen besitzt mindestens einen Kunden. Das können nachgelagerte interne Prozesse oder externe Kunden sein. Neben den Kunden ist auch das gewünschte Ergebnis des Prozesses zu definieren. Danach kann der Prozess unter Verwendung von Flussdiagrammen visualisiert werden.¹²²

¹²⁰ Vgl. Füermann, Dammasch, 2008, S.10ff

¹²¹ Ebd., S.11

¹²² Vgl. ebd., S.38ff

6.2 SIPOC Prozessdarstellung

Eine weitere Möglichkeit zur Beschreibung eines Prozesses ist das SIPOC-Modell. Es zeigt den Prozess in einer sehr oberflächlichen und überblicksartigen Darstellung. Die einzelnen Komponenten des Modells, welches in Abbildung 6.3 dargestellt sind, lauten unter Berücksichtigung der korrekten Betrachtungsrichtung wie folgt: ¹²³

- **Kunde (Customer):** Der Kunde erhält die Ausgaben des Prozesses und kann sowohl interner Kunde im Unternehmen als auch ein externes Unternehmen sein.
- **Ausgaben (Outputs):** Ausgaben sind alle Leistungen, die aus dem Prozess ausgehen und an den Kunden geleistet werden.
- **Prozess (Process):** Der Prozess stellt die Folge von Aktivitäten dar, um aus den Eingaben die Ausgaben zu generieren. Dabei ist es besonders wichtig, den Prozess exakt der Realität entsprechend darzustellen.
- **Eingaben (Inputs):** Eingaben sind alle Ressourcen, die in den Prozess eingebracht werden.
- **Lieferant (Supplier):** Der Lieferant liefert die Eingaben in den Prozess und kann ebenso wie der Kunde sowohl intern als auch extern sein. ¹²⁴

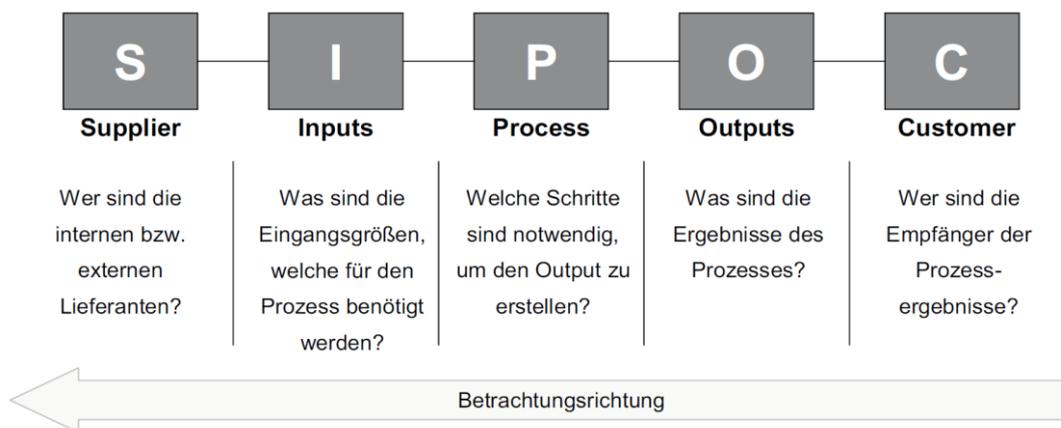


Abbildung 6.3: SIPOC Prozessdarstellung¹²⁵

¹²³ Vgl. Wappis, Jung, 2016, S.76

¹²⁴ Vgl. ebd., S.76f

¹²⁵ ebd., S.76

6.3 Visualisierung

Flussdiagramme bilden eine einfache Möglichkeit, um komplexe Prozesse in Unternehmen darzustellen. Es ist nicht sinnvoll, ein gesamtes Unternehmen als einen einzigen Prozess zu betrachten und diesen in einem Flussdiagramm darzustellen. Hier ist die Gliederung in Haupt- und Teilprozesse von großer Bedeutung. Wenn erforderlich, können Teilprozesse wieder in mehrere weiter untergeordnete Teilprozesse unterteilt werden.

Abbildung 6.4 zeigt die nach *DIN 66001* genormten Symbole zur Erstellung von Flussdiagrammen. Im Praxisteil werden diese zur Darstellung des IST- und SOLL-Prozesses verwendet.

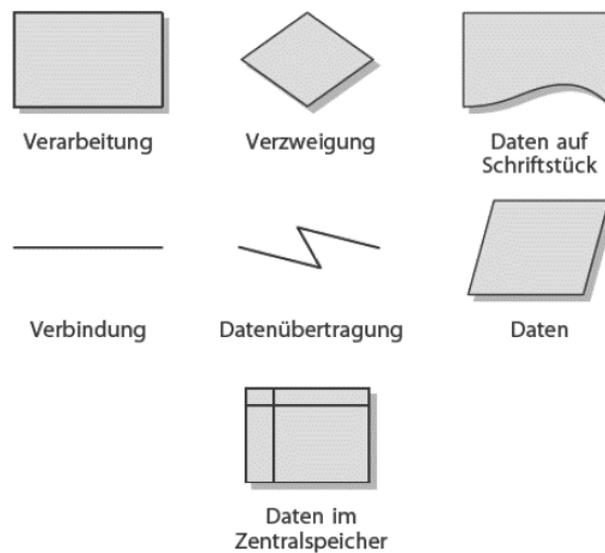


Abbildung 6.4: Symbole nach DIN 66001¹²⁶

Abbildung 6.5 zeigt ein Beispiel für ein Flussdiagramm eines Testprozesses für Zulieferteile.

¹²⁶ Fűrermann, Dammasch, 2008, S.42 nach DIN 66001

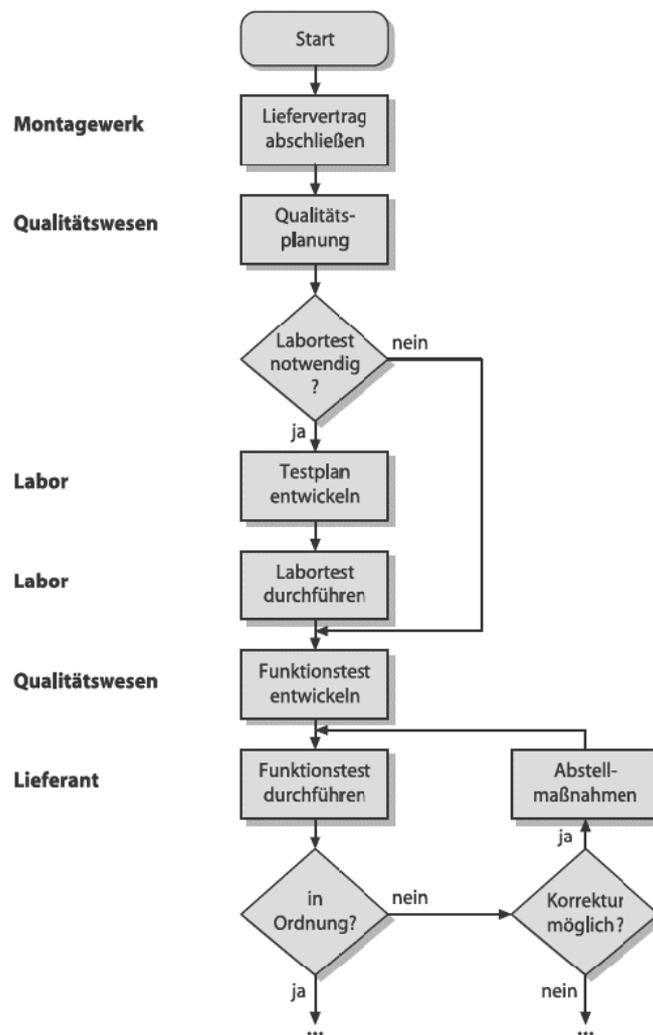


Abbildung 6.5: Flussdiagramm für abteilungsübergreifende Prozesse¹²⁷

Zum Abschluss des Prozesses sind die Lieferanten und die benötigten Eingaben in den Prozess zu definieren. Die Qualität der Ausgabe eines Prozesses ist im starken Maße von seinen Eingaben abhängig. Sie bilden die Grundlage für die Leistungserstellung.¹²⁸

Die Analyse und Visualisierung von Prozessen dient dem besseren Verständnis und stellt den Prozess in einer strukturierten und übersichtlichen Form dar. Die in diesem Kapitel gezeigte Prozessdarstellung findet im folgenden Praxisteil Anwendung.

¹²⁷ Fűrermann, Dammasch, 2008, S.43

¹²⁸ Vgl. ebd., S.45f

7 Einleitung Praxisteil

Dieses Kapitel bildet die Überleitung zum Kern dieser Arbeit, dem Praxisteil. Zuerst erfolgt eine Vorstellung des Konzerns *General Electric* bzw. des Tochterunternehmens *GE Jenbacher GmbH & Co OG* sowie deren Produktprogramm. Weiters werden für den Praxisteil relevante Begriffe beschrieben und Restriktionen angeführt.

In Kapitel 8 wird der bestehende Prozess zur Bedarfsermittlung erläutert. In Kapitel 9 erfolgt die Definition der Fokusgruppe, worauf in Kapitel 10 der neuartige Prognoseprozess für die definierte Teilegruppe beschrieben wird. In Kapitel 11 erfolgt die Validierung des Prognoseprozesses. Den Abschluss des Praxisteils bildet Kapitel 12. Hier wird der Maßnahmenplan dargestellt, der die weitere Vorgangsweise definiert.

7.1 Unternehmensvorstellung – General Electric und GE Jenbacher GmbH & Co OG

General Electric (*GE*) ist ein Mischkonzern mit Sitz in Boston, Massachusetts, USA. Der Konzern beschäftigt weltweit rund 300.000 Mitarbeiter und erwirtschaftete 2017 einen Umsatz von mehr als 122 Mrd. US-Dollar.¹²⁹ Das Unternehmen wurde 1892 von Thomas Edison gegründet. Der Schwerpunkt lag zu Beginn auf dem Gebiet der Elektrizität und Elektrotechnik. Die bekannteste Erfindung von Thomas Edison ist die Glühbirne.¹³⁰

Zum Zeitpunkt der Verfassung, ist *GE* in folgende Geschäftsbereiche gegliedert:

- *Power*
- *Renewable Energy*
- *Oil & Gas*
- *Aviation*
- *Transportation*
- *Health Care*
- *Appliances & Lightning*

GE Jenbacher GmbH & Co OG (nachfolgend *Jenbacher Gasmotoren* genannt) ist einer der führenden Hersteller von Gasmotoren und ist dem Geschäftsbereich *GE Power* zugeordnet. Das Unternehmen beschäftigt mehr als 1.500 Mitarbeiter in der Zentrale in Jenbach in Tirol.

Abbildung 7.1 zeigt die Anwendungsgebiete der Motoren, welche ausschließlich in der Zentrale in Jenbach produziert werden. Wie in der Abbildung zu sehen ist, können die

¹²⁹ GE, Annual Report 2017

¹³⁰ GE, Unternehmenspräsentation 2016

Motoren mit verschiedensten Gasarten betrieben werden. Sie dienen der Versorgung mit elektrischem Strom und Wärmeenergie.

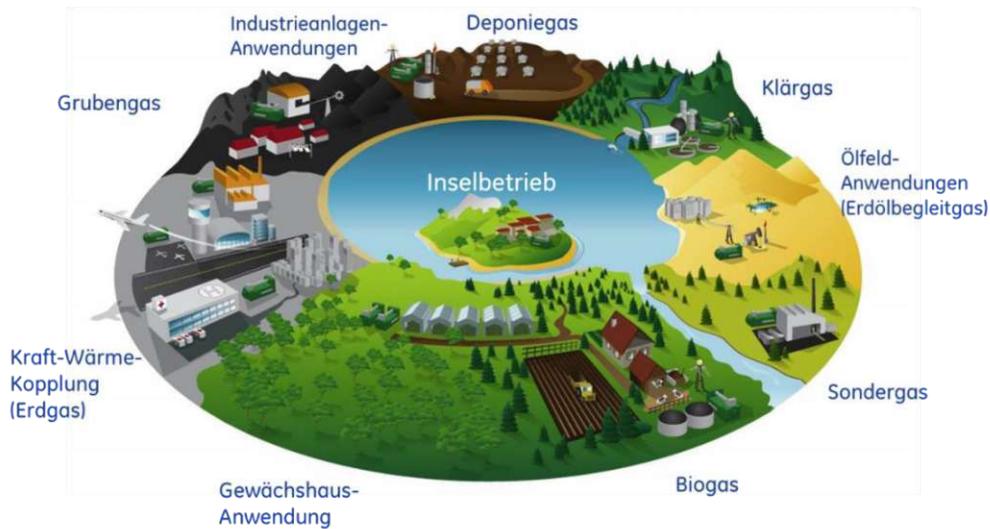


Abbildung 7.1: Anwendungsgebiete der Motoren¹³¹

In Abbildung 7.2 ist ein Überblick über das Produktportfolio zu sehen. In Abhängigkeit der Baureihe werden Motoren mit 8, 12, 16, 20 oder 24 Zylinder hergestellt. In der Abbildung sind weiters technische Daten und allgemeine Informationen zu den Baureihen ersichtlich.



Jenbacher* Baureihe 2

- Elektrische Leistung:
 - 249 - 330 kW (50 Hz)
 - 335 kW (60 Hz)
- V8 Zylinder; 1.500/min (50 Hz)/1.800/min (60 Hz)
- Gelieferte Motoren: ~1.100
- 1976 eingeführt



Jenbacher* Baureihe 3

- Elektrische Leistung:
 - 526 - 1.067 kW (50 Hz)
 - 633 - 1.062 kW (60 Hz)
- V12, V16 und V20 Zylinder; 1.500/min (50 Hz)/1.800/min (60 Hz)
- Gelieferte Motoren: ~8.500
- Produkteinführung: 1988



Jenbacher* Baureihe 4

- Elektrische Leistung:
 - 845 - 1.500 kW (50 Hz)
 - 850 - 1.426 kW (60 Hz)
- V12, V16 & V20 Zylinder; 1.500/min (50 Hz)/1.800/min (60 Hz)
- Gelieferte Motoren: ~4.000
- 2002 eingeführt



Jenbacher* Baureihe 6

- Elektrische Leistung:
 - 1.795 - 4.498 kW (50 Hz)
 - 1.795 - 4.498 kW (60 Hz)
- V12, V16, V20 & V24 Zylinder; 1.500/min (50 Hz, 60 Hz mit Getriebe)
- Gelieferte Motoren: ~4.500
- Erstinstallation: 1989



Jenbacher* Baureihe 9

- Elektrische Leistung:
 - 9,350 - 10.380 kW (50 Hz)
 - 9,35 MWe (60 Hz)
- V20 Zylinder; 1.000/900/min (50/60Hz)
- Elektrischer Wirkungsgrad/ Gesamtwirkungsgrad:
 - (50 Hz): 49,1/>90 %
 - (60 Hz): 49,9/>90 %
- Produkteinführung: 2013

*Warenzeichen der General Electric Company
© 2018 General Electric Company - All rights reserved

Abbildung 7.2: Produktportfolio Jenbacher Gasmotoren¹³²

7.2 Begriffe und Definitionen

Im Praxisteil werden Begriffe verwendet, welche zum Teil unternehmensspezifisches Wissen voraussetzen. In diesem Unterkapitel werden Begriffe und Definitionen beschrieben, die für das weitere Verständnis im Praxisteil notwendig sind.

7.2.1 Stückliste (Bill of Material)

Die Stückliste bildet die Grundlage für die Erstellung von Ersatzteilpaketen. Bei *Jenbacher Gasmotoren* wird in diesem Zusammenhang zwischen den folgenden Stücklisten unterschieden:

- *Engineering Bill of Material (EBOM)*
- *Manufacturing Bill of Material (MBOM)*
- *Service Bill of Material (SBOM)*.

Die *EBOM* beschreibt die Stückliste des Motors im Zustand nach Ende der Entwicklung, die *MBOM* nach vollständigem Zusammenbau des Motors. Die *SBOM* hingegen definiert die Stückliste in der aktuellen Konfiguration des Motors im Einsatz beim Kunden. Für die Erstellung von Ersatzteilpaketen und die daraus resultierende Prognose von Ersatzteilen ist ausschließlich die *SBOM* von Bedeutung.

¹³² GE interne Abbildung

7.2.2 Wartungsanweisung

In Wartungsanweisungen sind alle Tätigkeiten festgehalten, um den entsprechenden Wartungsschritt vollständig auszuführen.

7.2.3 Wartungsplan

Die Wartungspläne bei *Jenbacher Gasmotoren* geben an, welche Wartungsanweisungen in welchen Intervallen durchzuführen sind.

7.2.4 Wartungsfall/Event

Als Wartungsfall oder Event wird der Zeitpunkt bezeichnet, an dem Wartungstätigkeiten erforderlich sind. Events treten in definierten Wartungsintervallen auf, wie beispielsweise das 2000 Stunden Event.

7.2.5 Installed Base

Die *Installed Base (IB)* ist eine Auflistung aller von *Jenbacher Gasmotoren* verkauften Anlagen, welche weltweit im Betrieb sind. Darin sind neben der Motorkonfiguration auch weitere wichtige Informationen zu den Anlagen enthalten. Um einen besseren Überblick zu erhalten, sei an dieser Stelle ein Auszug der enthaltenen Informationen aufgelistet:

- Anlagennummer
- Motornummer
- Motortyp
- Kundennummer
- Standort
- Wartungsintervall
- Zeitpunkt der Inbetriebnahme
- Betriebsstunden
- Zeitpunkt der letzten Betriebsstundenablesung
- etc.

7.2.6 MyPlant

*MyPlant*¹³³ ist eine Software zur Anlagenverwaltung, welche bei *Jenbacher Gasmotoren* verwendet wird, um eine Vielzahl von Daten der Anlagen im Betrieb zu überwachen. *MyPlant* wird verwendet, um bekannte Motordaten weiter verarbeiten zu können.

¹³³ Ein Markenzeichen der General Electric Company.

7.2.7 Enterprise Ressource Planning-System

ERP-Systeme (*Enterprise Ressource Planning*) unterstützen betriebswirtschaftliche Aufgaben in vielen verschiedenen Bereichen eines Unternehmens. Allgemein wird darunter eine „integrierte betriebswirtschaftliche Standardsoftware“ verstanden.¹³⁴

Jenbacher Gasmotoren verwendet als ERP-System derzeit Oracle E-Business Suite (i.F. Oracle).

7.2.8 Service Package Configurator

Der *Service Package Configurator (SPC)* ist ein Werkzeug zur Erstellung von Ersatzteilpaketen sowie zur Identifikation von Ersatzteilen, welches bei Jenbacher Gasmotoren Anwendung findet. Dieser erstellt für geplante Events der Gasmotoren die erforderlichen Wartungspakete, welche aufgrund der Vorgaben in den Wartungsanweisungen durchzuführen sind. Die notwendigen Informationen darüber, welche Teile im Motor verbaut sind, werden vom SPC der Struktur-Stückliste der Motoren entnommen. Aufgrund der großen Anzahl der Produktvarianten im laufenden Betrieb, können die Ersatzteilkpakete selbst bei scheinbar ähnlichen Motoren voneinander abweichen. Durch dieses Werkzeug ist es möglich, die Menge der benötigten Ersatzteile auf Teillebene zu generieren.

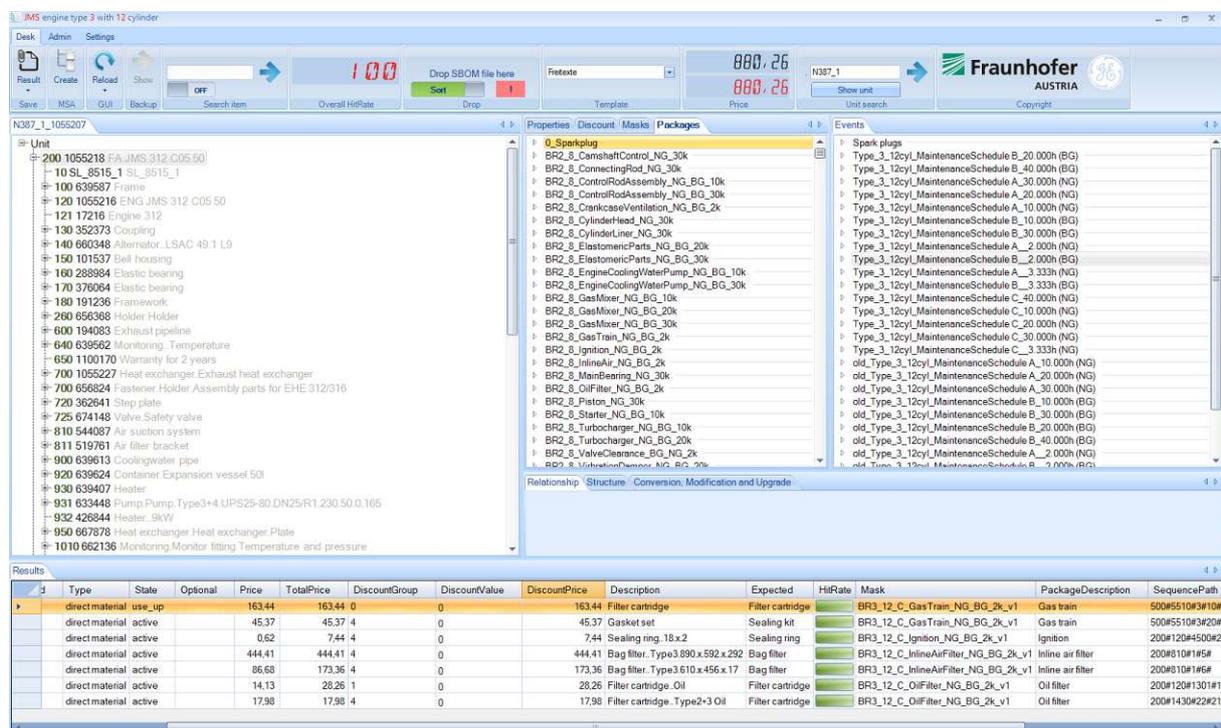


Abbildung 7.3: Benutzeroberfläche Service Package Configurator¹³⁵

¹³⁴ Vgl. Hesseler, Görtz, 2008, S.1

¹³⁵ GE interne Abbildung

Der SPC wurde von *Fraunhofer Austria Research GmbH* (FhA) in Zusammenarbeit mit *Jenbacher Gasmotoren* entwickelt. Für die nähere Beschreibung des SPC ist an dieser Stelle auf die vorhergehende Arbeit von Schmidhofer zu verweisen.¹³⁶

7.2.9 After Sales Service bei GE Jenbacher GmbH & Co OG

Jenbacher Gasmotoren bietet den Kunden zu jedem verkauften Motor eine Vielzahl an zusätzlichen Serviceleistungen an. Abbildung 7.4 zeigt eine Übersicht dieser. Die Leistungen sind modulartig aufgebaut. Jeder Kunde kann in Abhängigkeit seiner Möglichkeiten und Wünsche ein individuelles Serviceangebot wählen.



Abbildung 7.4: After Sales Service von *Jenbacher Gasmotoren*¹³⁷

In dieser Arbeit sind die CSA-Verträge (*Contractual Service Agreement* – vertragliche Servicevereinbarung) und die MSA-Verträge (*Material Stream Agreement* - Materialflussvereinbarung) von besonderer Bedeutung. CSA-Verträge bieten dem Kunden ein vollumfassendes Serviceangebot. Der Kunde zahlt pauschal für die produzierte Energie des Gasmotors. Alle für den Betrieb notwendigen Instandhaltungstätigkeiten werden vom Betreiber übernommen. Kunden mit MSA-Verträgen werden üblicherweise ausschließlich mit den Ersatzteilen für die geplante Wartung der Motoren versorgt.

Alle Leistungen wie beispielsweise Ferndiagnose, Fernwartung, Lieferung von Ersatzteilen und viele mehr, können den Bedürfnissen des Kunden entsprechend in Anspruch genommen werden.

¹³⁶ Schmidhofer, 2016

¹³⁷ GE interne Quelle

7.3 Restriktionen

Wie bereits erwähnt resultiert aus der stark kundenorientierten und individuellen Anpassung der Motorkonfiguration eine große Variantenvielfalt. Ebenso groß ist das daraus resultierende Spektrum an Ersatzteilen. Um eine zielgerichtete Prognose des Bedarfes an Ersatzteilen zu ermöglichen, ist eine Reduktion der betrachteten Ersatzteile erforderlich. Aus diesem Grund wird in Kapitel 9 eine Fokusgruppe definiert. Anhand dieser Auswahl an Ersatzteilen wird das neu entwickelte Prognoseverfahren angewandt und bewertet.

8 IST-Analyse

Wie in der Einleitung erwähnt, lässt der steigende Wettbewerbsdruck dem After Sales Service Geschäft aufgrund der höheren Rendite immer mehr Bedeutung zukommen. Unterstützt durch die Leitgedanken des Lean-Managements, Bestände zu reduzieren und Überproduktion zu vermeiden, ist die Beschaffungskette von Ersatzteilen näher zu betrachten. Hohe Lagerbestände und fehlende Teile bei Reparaturen resultieren oft aus Fehlprognosen von Ersatzteilen. An dieser Stelle ist anzumerken, dass hohe Lagerbestände in vielen Fällen auch aus dem Bestreben der hohen Teileverfügbarkeit resultiert. Besonders bei Ersatzteilen mit sporadischen Bedarf wird diese Spannungsbeziehung deutlich.

Dieses Kapitel gibt einen Überblick über den bestehenden Prognosevorgang bei *Jenbacher Gasmotoren*. Im Unterkapitel 8.3 sind neben einem Flussdiagramm des aktuellen Prognose-Prozesses Erläuterungen zur aktuellen Klassifizierung zu finden.

Weiters werden in diesem Kapitel verschiedene Analysen durchgeführt und die Herkunft der Daten sowie Einschränkungen näher beschrieben. Zum Schluss werden die Ergebnisse der Analysen diskutiert und bewertet. Aus den Ergebnissen wird eine Kategorisierung der Ersatzteile vorgenommen, anhand derer die Priorisierung der weiteren Optimierungsmaßnahmen abgeleitet werden.

8.1 Einführung

Die Ersatzteilprognosen werden im Beispielfall *Jenbacher Gasmotoren* prinzipiell einmal jährlich erstellt. Dieser Vorgang nimmt rund 12 Wochen Arbeitszeit in Anspruch. Im Laufe des Jahres werden, in Abhängigkeit der Relevanz eines Ersatzteiles, die neu gewonnenen Informationen gesammelt und die Prognose erneut kalkuliert.¹³⁸ Bei Teilen mit besonders hoher Kapitalbindung kann es vorkommen, dass die Prognose sogar mehrmals monatlich geändert wird.

Im laufenden Tagesgeschäft werden immer wieder Prognosen für Teile angefragt. Bei kostenintensiven Ersatzteilen (z.B. Turbolader, Nockenwelle etc.) kann es im Fall aufwendiger Informationsbeschaffung vorkommen, dass eine Prognose mehrere Tage in Anspruch nimmt.

In den folgenden Unterkapiteln werden die aktuelle Teileklassifizierung sowie der derzeit bestehende Prognoseprozess näher beschrieben.

¹³⁸ Relevanz im Sinne von hoher Kapitalbindung bzw. hohen Ausfallfolgekosten

8.2 Klassifizierungen der Ersatzteile

Die Ersatzteile werden nach verschiedenen Kategorien klassifiziert. Die wichtigsten Klassifizierungen sind die Einteilung in Planer-Gruppen und die *MTO/MTS*-Unterteilung (*make to order / make to stock*).

8.2.1 Planer-Gruppen

In Tabelle 8.1 ist die Benennung der zehn Planer-Gruppen zu sehen. Jede Planer-Gruppe ist einem Mitarbeiter der *Forecasting*-Abteilung zugeordnet. Jeder Mitarbeiter des *Forecasting*-Teams betreut zwischen ein und vier Planer-Gruppen. Wie der Tabelle zu entnehmen ist, gibt es Gruppen, deren Teilezuordnung keinen eindeutigen Kriterien unterliegen.

Gruppe	Beschreibung
P01	geringer Bedarf (nicht eindeutig definiert)
P02	geringer Bedarf (nicht eindeutig definiert)
P03	Zukaufteile
P04	Eigenfertigung
P05	Elektrische Komponenten
P06	Diesel Komponenten
P07	Werkzeuge
P08	Standardteile, KANBAN
P09	Baureihe 9
P10	geringer Bedarf (< 3 Bestellungen /18 Monate)

Tabelle 8.1: Planer-Gruppen

8.2.2 MTO und MTS

Das Kriterium für die Unterscheidung zwischen *MTO*- und *MTS*-Ersatzteil ist die Anzahl der Bestellungen in einer definierten Zeitspanne. Gemäß der firmeninternen Definition gilt Folgendes: Wenn weniger als drei Bestellungen in den letzten 18 Monaten eingegangen sind, so handelt es sich um einen *MTO*-Teil. Dabei ist es irrelevant, welche Stückzahl pro Auftrag bestellt wurde. Ab drei Bestellungen innerhalb des genannten Zeitraums wird das Ersatzteil bevorratet.

8.3 Ersatzteilprognose IST – Prozess

In Abbildung 8.1 ist das Flussdiagramm des aktuellen Prognoseprozesses dargestellt. Auslöser des Prognoseprozesses ist die Notwendigkeit einer Prognose für einen Ersatzteil. Eine solche Anfrage kann aus verschiedenen Gründen erfolgen. Im Normalfall wird die Prognose als Grundlage für die Fertigungsplanung sowie für den Einkauf erstellt. Es ist aber auch möglich, dass Prognosedaten für die Preisverhandlungen von Zukaufteilen notwendig sind.

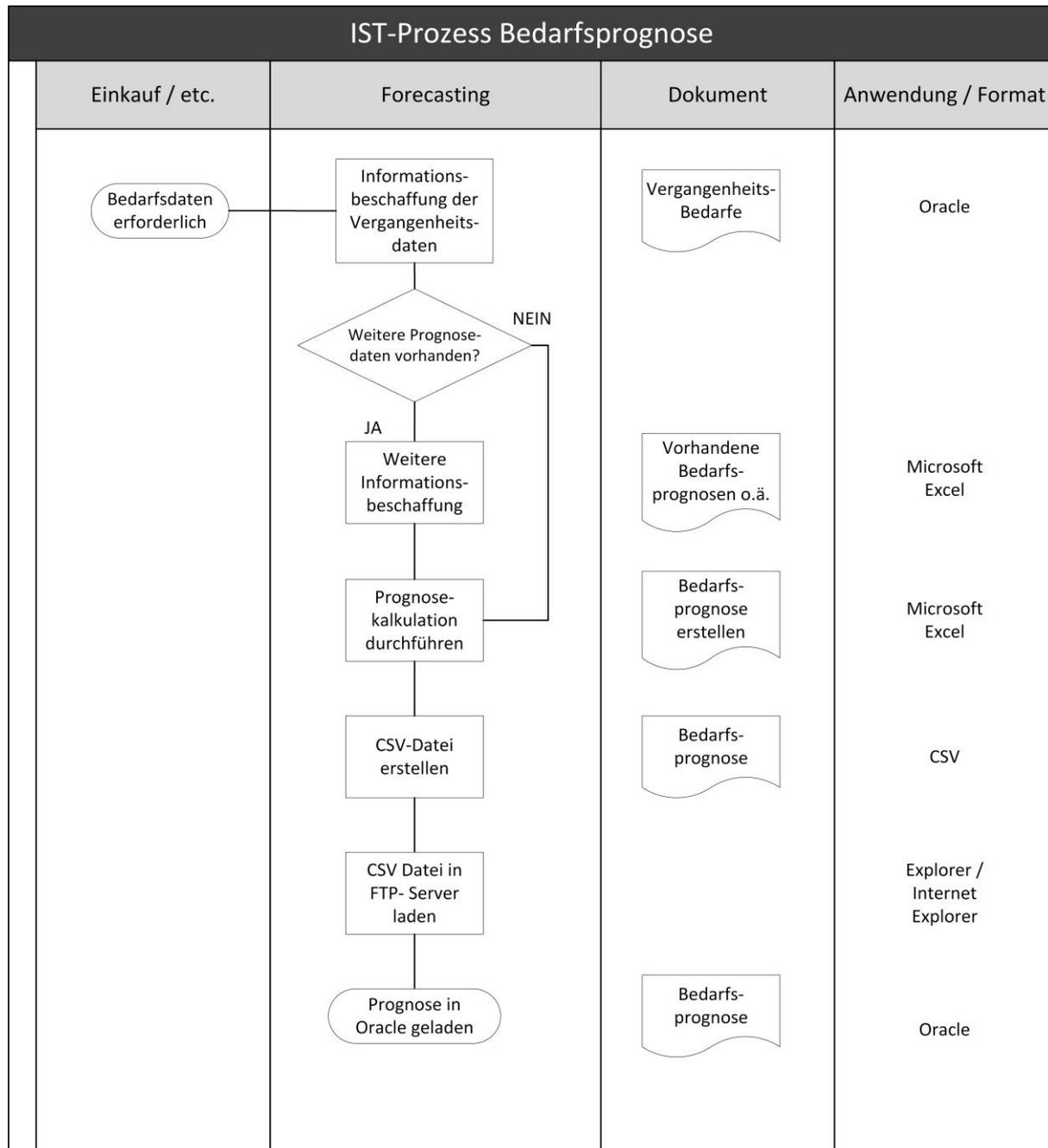


Abbildung 8.1: IST-Prognose Prozess¹³⁹

Im ersten Schritt einer Prognose werden die Bedarfe der letzten Monate herangezogen. Die Vergangenheitsdaten bilden die Grundlage jeder Prognose. In manchen Fällen sind über die Vergangenheitsdaten hinaus weitere Informationen vorhanden, welche im Sinne einer möglichst optimalen Prognose zu Hilfe genommen werden. In der folgenden Auflistung sind die potenziellen Datenquellen zu finden:

- Informationen des *PLM*-Systems (Produktlebenszyklus)
- Prognosen der Entwicklungsabteilung

¹³⁹ Eigene Darstellung

- Prognosen von *CM&Us* (Konvertierungen, Änderungen und Modernisierung)
- Prognosen der Gewährleistungsabteilung
- Bedarfsprognosen von Kunden

Nachdem diese sowohl aus internen als auch aus externen Quellen zur Verfügung stehen, kann die Prognosekalkulation durchgeführt werden.

Die Kalkulation der Prognose erfolgt mit *Microsoft Excel*. Die Strategie und die resultierenden Ergebnisse sind je nach Planer individuell verschieden. Daher kann keine detaillierte und allgemein gültige Kalkulationsstrategie genannt werden. Die Planer berechnen mit Hilfe der zur Verfügung stehenden Funktionen in *Microsoft Exce* die Ersatzteilprognosen. Das Ergebnis wird vom Planer nach seinen Erfahrungswerten und sonstigen zur Verfügung stehenden Informationen entsprechend angepasst. Die Prognose wird als CSV-Datei¹⁴⁰ abgespeichert. Danach wird entweder mit dem Explorer oder dem Internet Explorer der *FTP-Server (file transfer protocol)* aufgerufen, auf den die CSV-Datei hochgeladen wird. Anschließend wird die Prognose in *Oracle* geladen. Mit diesem Schritt ist der Prognoseprozess abgeschlossen.

Nachdem die Prognose für ein Ersatzteil im System hochgeladen ist, wird in regelmäßigen Intervallen der Verlauf der Bedarfe überprüft. Wenn Änderungen der Prognose sowie weitere Prognosen aufgrund der fortgeschrittenen Zeit notwendig sind, beginnt der Prozess von Neuem.

Besonders bei kostenintensiven Teilen, wie beispielsweise Nockenwellen, ist eine Prognose sehr schwierig. Die benötigten Mengen belaufen sich üblicherweise auf wenige Stück pro Jahr. Bedarfe können in vielen Fällen nur in Absprache mit der Gewährleistungsabteilung prognostiziert werden. In wenigen Fällen stehen Prognosen des Ersatzteilbedarfes von Kunden bzw. von Servicepartnern zur Verfügung. Bedarfsprognosen von Kunden sind in den meisten Fällen auch nicht valide genug, um ihnen eine gewichtete Bedeutung bei der Erstellung von Prognosen zukommen zu lassen. Die tatsächlich bestellten Mengen weichen daher in den meisten Fällen stark von den prognostizierten ab.

8.4 Bedarfsanalyse

Für die Klassifizierung der Ersatzteile werden in Kapitel 9 mehrere Analysen durchgeführt. Dadurch wird ein Überblick bzw. eine Entscheidungsgrundlage geschaffen, um eine Fokusgruppe der Ersatzteile zu definieren. Zunächst erfolgt eine Erläuterung der verwendeten Daten. Weiters werden die dokumentierten Zeitpunkte für die Bedarfsermittlung näher beschrieben.

¹⁴⁰ Dateiformat

8.4.1 Daten

Die bei der durchgeführten Analyse verwendeten Daten unterliegen folgenden Einschränkungen:

- Es werden ausschließlich *MTS*-Teile herangezogen.
- Es handelt sich ausschließlich um Teile, welche vom Lager Nürnberg versendet werden.
- Die zeitliche Auswahl der Daten erfolgt anhand des geplanten Lieferdatums.
- Als Bezugszeitraum werden die vergangenen 12 Monate herangezogen. Die Absatzdaten stehen zwar für den Zeitraum von April 2015 bis Dezember 2017 zur Verfügung. Es hat sich jedoch gezeigt, dass dieser Zeitraum zu weit in die Vergangenheit reicht. Teile, welche zu Beginn noch keinen Absatz hatten und erst in der nahen Vergangenheit hohen Bedarf verzeichneten, werden in der ABC-Analyse zu gering bewertet. Ersatzteile aber, welche zu Beginn des gewählten Zeitraumes hohen Absatz hatten, der sich später jedoch einstellte, werden hingegen mit hohem Absatzvolumen bewertet. Aus diesem Grund erfolgt die Fokussierung auf die vergangenen 12 Monate als Bezugszeitraum.

8.4.2 Bedarfsermittlung

Die Bedarfsdaten werden mit den folgenden Zeitangaben dokumentiert:

- Errechneter Bedarfszeitpunkt
- Geplantes Lieferdatum
- Geplanter Ankunftszeitpunkt

In den folgenden Abbildungen sollen die Unterschiede und die Relevanz der richtigen Auswahl des Fälligkeitsdatums für den Bedarf verdeutlicht werden.

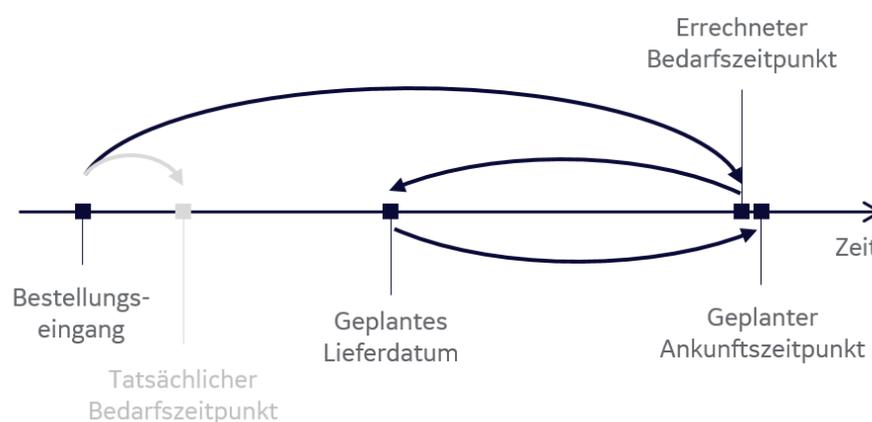


Abbildung 8.2: Dokumentierte Zeitpunkte der Auftragsabwicklung bei Teileverfügbarkeit¹⁴¹

¹⁴¹ Eigene Darstellung

Abbildung 8.2 zeigt den Zeitablauf, wenn Teile im Lager verfügbar sind. In diesem Beispiel wurde angenommen, dass der Kunde die Ersatzteile möglichst nach der Bestellung erhalten möchte. Aus diesem Grund ist in Abbildung 8.2 in grau der tatsächliche Bedarfstermin gekennzeichnet. Bei der Bestellung wird in Abhängigkeit der Bestellart (z.B. *Standard*, *Dringend*, ...) ein Wunschdatum ermittelt. Dieses Datum stellt im System den errechneten Bedarfszeitpunkt dar. Davon ausgehend wird ein geplantes Lieferdatum definiert, welches angibt, wann die Bestellung das Lager verlassen muss, um zur gewünschten Zeit beim Kunden zu sein. Der geplante Ankunftszeitpunkt ist im Falle der Teileverfügbarkeit normalerweise am Tag des errechneten Bedarfszeitpunktes, bzw. ein bis zwei Tage danach.

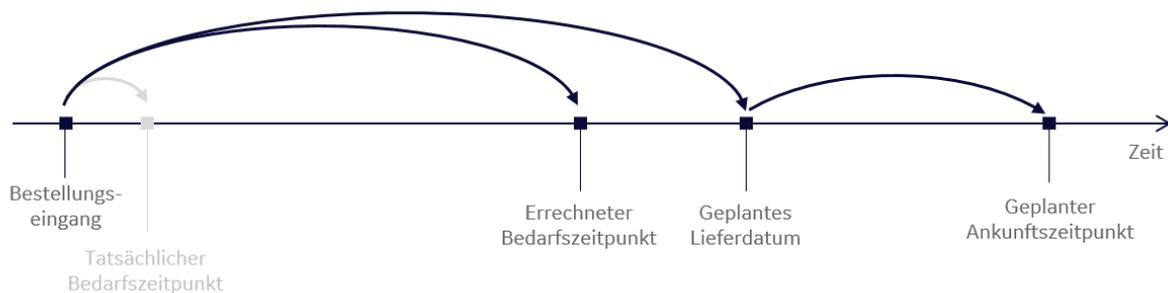


Abbildung 8.3: Dokumentierte Zeitpunkte der Auftragsabwicklung, wenn Teile nicht verfügbar sind¹⁴²

Sind bei Bestellung die gewünschten Ersatzteile nicht verfügbar bzw. nur teilweise verfügbar, so ist der Zeitablauf der dokumentierten Termine in Abbildung 8.3 ersichtlich. Die Ermittlung des errechneten Bedarfszeitpunktes erfolgt analog zum Fall der Teileverfügbarkeit, d.h. der errechnete Bedarfszeitpunkt ist unabhängig von der Teileverfügbarkeit. Das geplante Lieferdatum wird jedoch ausgehend vom Zeitpunkt des Bestellungseinganges in Abhängigkeit der Lieferzeit definiert. Der geplante Ankunftszeitpunkt ergibt sich aus dem geplanten Lieferdatum.

8.5 Sicherheitsbestand

Für auf Lager gelegte Ersatzteile ist die Ermittlung eines Sicherheitsbestandes erforderlich. Bei *Jenbacher Gasmotoren* erfolgt diese anhand des Servicegrades, der für das jeweilige Ersatzteil vorgesehen ist. Dabei finden stochastische Methoden Anwendung. In Abhängigkeit der Stückkosten wird der angestrebte Servicegrad sowie der z-Wert in Tabelle 8.2 definiert. Zur Erklärung des Servicegrades sei folgendes Beispiel angeführt: Ein Servicegrad von 98% bedeutet, dass bei 98 von 100 Aufträgen genug Ersatzteile verfügbar sind. In den verbleibenden zwei Fällen übersteigt der Bedarf die verfügbare Ersatzteilmenge.

¹⁴² Eigene Darstellung

Stückkosten	Servicegrad	z-Wert
< 2 €	98%	2,05
2 € ≤ K < 100 €	95%	1,65
≥ 100 €	90%	1,28

Tabelle 8.2: Servicegrad und z-Wert

Die verwendeten Werte der Verteilungsfunktion der Standardnormalverteilung in Tabelle 8.2 ebenso wie weitere Daten sind im Werk von Hedderich und Sachs zu finden.¹⁴³

Das Ziel liegt darin, mit allen Ersatzteilen einen möglichst hohen Servicegrad zu erreichen. Die Idealvorstellung von Kunden ist verständlicherweise ein Servicegrad von 100%. Das bedeutet, dass zu jedem Zeitpunkt eine unlimitierte Anzahl des benötigten Ersatzteils zur Verfügung steht. In diesem Fall müsste ein unendlich hoher Lagerbestand gehalten werden, was offensichtlich utopisch ist. Neben einem hohen Servicegrad muss auch auf einen niedrigen Lagerbestand Bedacht genommen werden. Dabei ist klar, dass die beiden Ziele unter Anwendung der stochastischen Sicherheitsbestandsermittlung, in Widerspruch zueinanderstehen. Um dieser Tatsache in gewisser Weise entgegenzuwirken, wurde die Unterteilung nach Stückkosten als Kompromisslösung vorgenommen. Teile mit Stückkosten von weniger als zwei Euro weisen einen Servicegrad von 98% auf, während bei Stückkosten unter 100 Euro der Servicegrad mit 95% definiert wird. Bei Teilen, deren Wert 100 Euro übersteigt, beträgt der Servicegrad 90%. Für den Großteil der Ersatzteile kann auf diese Weise ein hoher Servicegrad, bei nur in geringem Ausmaß gesteigertem Lagerwert erreicht werden.

Gleichung (8.1) zeigt die Ermittlung des Sicherheitsbestandes. Der Sicherheitsfaktor folgt aus dem angestrebten Servicegrad. σ beschreibt die Standardabweichung des Bedarfes. LT ist die Lieferzeit des Ersatzteiles in Tagen, während T die Zeitperiode, für die die Standardabweichung berechnet wurde, darstellt. In diesem Anwendungsfall beträgt $T = 20 \frac{\text{Arbeitstage}}{\text{Monat}}$.

$$\text{Sicherheitsbestand} = z \cdot \sigma \cdot \sqrt{\frac{LT}{T}} \quad (8.1)$$

Nach der Erläuterung des bestehenden Prognoseprozesses werden nun im folgenden Unterkapitel die Schwachstellen dieses Prozesses aufgezeigt. Diese sollen als Anhaltspunkte für bevorstehende Optimierungsmaßnahmen dienen.

¹⁴³ Hedderich, Sachs, 2016, S.262

8.6 Optimierungspotenziale

Aufbauend auf den Erkenntnissen der IST-Analyse, werden die Optimierungspotenziale für die folgenden Bereiche zusammengefasst.

Klassifizierung

Die Ersatzteil-Klassifizierung erfolgt derzeit nach Planer-Gruppen. Die Aufteilung dieser Gruppen unterliegt keiner eindeutigen Definition. Besonders bei den Gruppen P01, P02 und P10 besteht akuter Handlungsbedarf. Die durchgeführte ABC-/XYZ- Klassifizierung kann dabei als Hilfestellung dienen.

Bedarfsermittlung

Wie bereits beschrieben wird ein Bedarf am geplanten Lieferdatum fällig. Der Erläuterung im Unterkapitel 8.4 ist zu entnehmen, dass das nicht die tatsächliche Fälligkeit des Bedarfes widerspiegelt. Bei Eingang einer Bestellung wird das geplante Lieferdatum aus dem Bestelltyp und der Dauer des tatsächlichen Versandweges errechnet. Sind die Teile verfügbar, ist die daraus resultierende Abweichung relativ gering. Ist das nicht der Fall, verschiebt sich in Abhängigkeit von der Lieferzeit das geplante Lieferdatum. Das kann unter Umständen eine Verschiebung des Bedarfes um mehrere Monate zur Folge haben. Der Fehler ist in diesem Fall besonders signifikant. Für die Erfassung des tatsächlichen Bedarfes ist die Dokumentation des Zeitpunktes notwendig, an dem der Kunde das Ersatzteil tatsächlich zur Verfügung haben möchte.

Schönsleben sieht das Problem in dem Umstand, dass in der Regel nur die erfüllte Nachfrage gemessen wird. Die tatsächliche Nachfrage, welche auch jene Bestellungen berücksichtigt, die nicht oder nur zum Teil bedient werden konnten, bleibt unbekannt. Die Schwierigkeit an der Messung der tatsächlichen Nachfrage liegt darin, dass nicht sofort bediente Bestellungen in einer späteren Zeitperiode erfüllt werden, wo sie dann als erfüllte Nachfrage aufscheinen. Diese Bestellungen dürften jedoch dort nicht mehr aufscheinen, da sie bereits bei der anfangs getätigten Bestellung Berücksichtigung gefunden haben.¹⁴⁴

Die Ermittlung des tatsächlichen Bedarfszeitpunktes ist mit den vorhandenen Daten nicht möglich. Mangels alternativer Informationsquellen werden für die Analysen die Bedarfsermittlungszeitpunkte von *Jenbacher Gasmotoren* herangezogen.

Prognoseprozess

Der bestehende Prognoseprozess ist in Abbildung 8.1 dargestellt. Es ist ersichtlich, dass beim Durchlauf des Prozesses viele Schnittstellen durchlaufen werden und mehrere Anwendungen notwendig sind. Im Allgemeinen kann der Prozess als zeitintensiv

¹⁴⁴ Schönleben, 2011, S.476

und wenig standardisiert beschrieben werden. Alle Tätigkeiten sind manuell unter Zuhilfenahme geeigneter Methoden, durchzuführen. Neben dem hohen Zeitaufwand stellen Schnittstellen auch eine potenzielle Fehlerquelle dar.

Die Grundlage für jede Prognose bilden die Vergangenheitsdaten des Ersatzteils. Das Ergebnis der XYZ-Analyse zeigt, dass mit dieser Methodik der Bedarf für den Großteil der Ersatzteile schwierig vorherzusagen ist. Die Folge sind Lieferengpässe und hohe Lagerbestände. Durch diese Prognosemethodik können keine für die Zukunft relevanten Informationen herausgefunden werden.

Die Tatsache, dass die aktuelle Prognosestrategie auf Vergangenheitsdaten basiert, ist Ausgangspunkt für die Entwicklung von neuen Prognoseverfahren. Aufgrund der Komplexität von Anlagen ist im Fall von *Jenbacher Gasmotoren* eine Ersatzteilprognose anhand der Vergangenheitsdaten nicht zielführend.

In diesem Kapitel wurde die Notwendigkeit eines verbesserten Prognoseprozesses aufgezeigt. Für die Ersatzteilprognose wird auf mehrere Informationsquellen zurückgegriffen. Das macht den Prognoseprozess zeitintensiv. Darüber hinaus sind, insbesondere bei kapitalintensiven Ersatzteilen, Erfahrungswerte notwendig. Daraus resultieren Einbußen in der Qualität der Prognose, was sich in weiterer Folge auf die Kosten der Ersatzteillogistik niederschlägt.

9 Definition der Fokusgruppe

In diesem Kapitel erfolgt die Auswahl der Ersatzteile, an denen weitere Prognoseverfahren angewandt werden. Ziel der folgenden Analysen ist es, eine Teilegruppe zu eruieren, die hohe Relevanz bzw. besonders hohes Optimierungspotenzial aufweisen. Für die Findung einer Fokusgruppe werden die bereits beschriebenen ABC- und XYZ-Analysen verwendet. Die folgenden Varianten werden in diesem Kapitel ausgewertet:

- ABC (Bedarf)
- ABC (Lagerwert)
- ABC (Bedarf und Lagerwert)
- XYZ (MAPE)
- XYZ (VK)
- ABC (Bedarf) / XYZ (MAPE)
- ABC (Lagerwert) / XYZ (MAPE)

9.1 ABC-Analyse

Zuerst erfolgen ABC-Analysen, sowohl am Bedarf, als auch am Lagerwert gemessen. Im Unterkapitel 9.1.3 werden die beiden ABC-Analysen kombiniert dargestellt.

9.1.1 ABC (Bedarf)

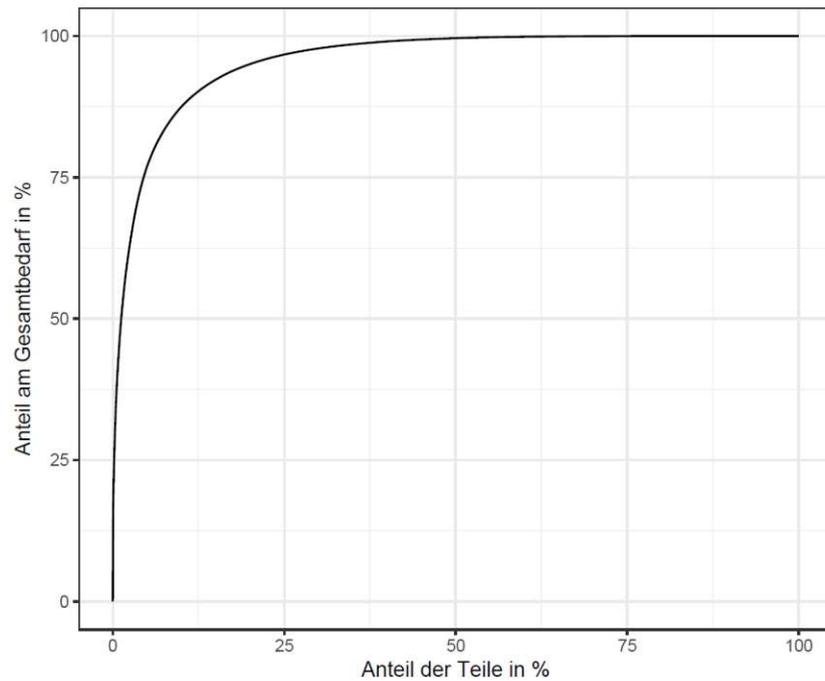
Die ABC-Analyse mit Bedarfsdaten gibt einen guten Einblick darin, dass nur wenige Teile hohen Einfluss auf den Absatzwert haben. Der größere Anteil an Teilen hat als Gegenstück dazu nur einen sehr geringen Anteil am Absatzwert der Ersatzteile.

In Tabelle 9.1 sind die Ergebnisse der ABC-Analyse ersichtlich. In Kategorie A ist zu sehen, dass 6% der Teile, 80% des gesamten Absatzwertes ergeben. Die C-Teile entsprechen nur 5% des gesamten Absatzwertes. In dieser Analyse gibt es über 4000 C-Teile, das entspricht einem Anteil von 80%.

Kategorie	Anteil am Absatzwert	Anteil an der Gesamtanzahl
A	80%	6%
B	15%	14%
C	5%	80%

Tabelle 9.1: ABC (Bedarf)

Die graphische Veranschaulichung der ABC-Analyse des Bedarfes ist in Abbildung 9.1 zu sehen.

Abbildung 9.1: ABC-Analyse Bedarf¹⁴⁵

9.1.2 ABC (Lagerwert)

In Tabelle 9.2 sind die Ergebnisse der ABC-Analyse anhand des Lagerwertes kategorisiert ersichtlich. In Kategorie A ist zu sehen, dass 13% der Teile, 80% des gesamten Lagerwertes ergeben. Die C-Teile entsprechen nur 5% des gesamten Absatzwertes. In dieser Analyse gibt es rund 3000 C-Teile, das entspricht einem Anteil von 65%.

Kategorie	Anteil am Lagerwert	Anteil an der Gesamtanzahl
A	80%	13%
B	15%	22%
C	5%	65%

Tabelle 9.2: ABC (Lagerwert)

Die ABC-Analyse nach dem Lagerwert ausgewertet ist in Abbildung 9.2 zu finden.

¹⁴⁵ Eigene Darstellung

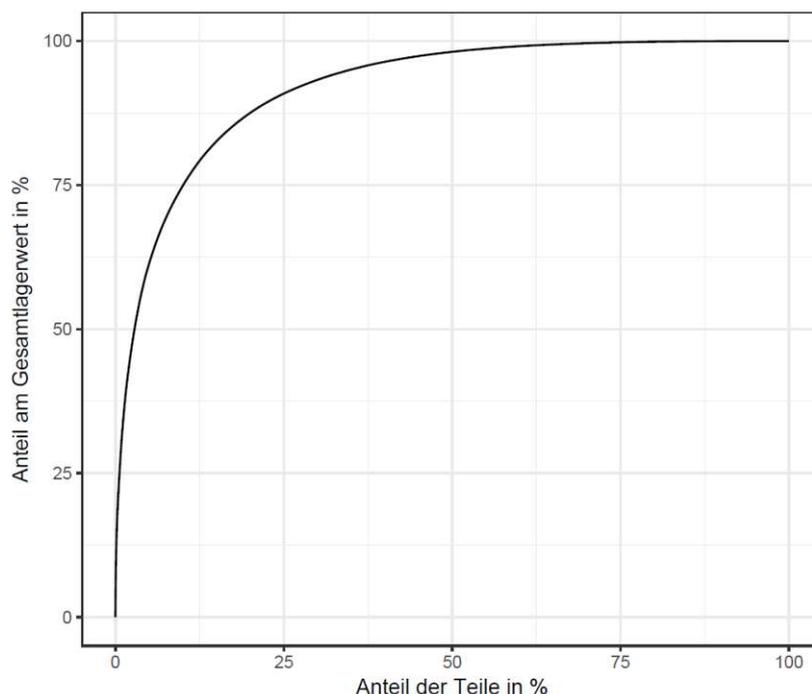


Abbildung 9.2: ABC-Analyse Lagerwert¹⁴⁶

9.1.3 ABC (Bedarf und Lagerwert)

Nachdem in den vorhergehenden Unterkapiteln die ABC-Analysen separat betrachtet wurden, wird nun die ABC-Analyse gemessen am Bedarf gemeinsam mit der ABC-Analyse gemessen am Lagerwert betrachtet.

Tabelle 9.3 zeigt das Ergebnis der kombinierten ABC-Analyse. Wie zu erwarten hat die Klasse AA hohen Anteil am Gesamtwert. 76,7% des Bedarfswertes und 53,5% des Lagerwertes fallen in diese Kategorie. Weiters ist zu erkennen, dass der größte Teil der Kategorie A nach Bedarf auch einen hohen Lagerwert besitzt und somit auch in der Kategorie A nach Lagerwert lokalisiert ist. Diese Tendenz ist auch bei den beiden weiteren Kategorien B und C in etwas abgeschwächter Weise zu erkennen.

¹⁴⁶ Eigene Darstellung

Anzahl der Teile	Anteil Bedarf in %	Bedarf							
		A - 80%		B - 15%		C - 5%		GESAMT	
∅ MAPE in %	Anteil Lagerwert in %								
Lagerwert	A - 80%	264	76,7%	232	6,1%	155	0,47%	651	83,3%
		51,0%	53,5%	108,2%	15,9%	361,9%	10,54%	173,7%	80,0%
	B - 15%	30	2,4%	374	7,4%	687	1,8%	1 091	11,6%
		40,3%	0,6%	62,9%	5,9%	226,7%	8,5%	109,9%	15,0%
	C - 5%	6	0,8%	90	1,6%	3 164	2,7%	3 260	5,1%
		65,0%	0,0%	55,6%	0,3%	190,6%	4,7%	103,7%	5,0%
	GESAMT	300	80,0%	696	15%	4 006	5%	5 002	100%
		52,1%	54,1%	75,5%	22%	259,8%	24%	129,1%	100%

Tabelle 9.3: Ergebnis ABC (Bedarf) – ABC (Lagerwert)

9.2 XYZ-Analyse

Bei Prognoseverfahren ist es von hoher Bedeutung, die Vorhersagegenauigkeit von Ersatzteilbedarfen festzustellen. Zur Findung einer geeigneten Kennzahl wurden die folgenden Kennzahlen betrachtet:

- *VK* (Variationskoeffizient)
- *MAPE* (Mean Absolute Percent Error)

Die Ermittlung der Kennzahlen ist im Unterkapitel 2.5 beschrieben.

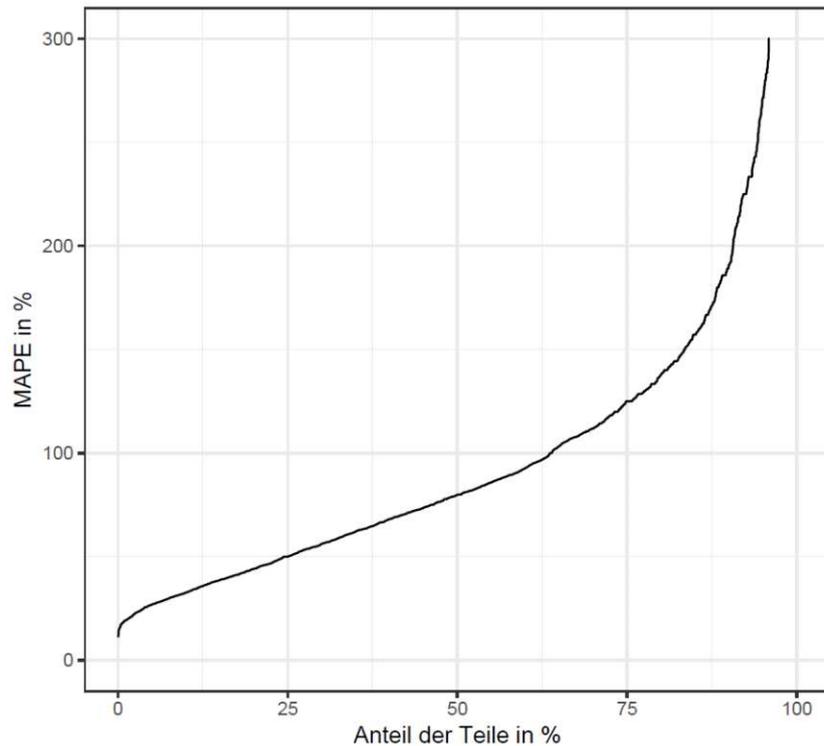
9.2.1 XYZ (MAPE)

In Tabelle 9.4 ist das Ergebnis der XYZ-Analyse mit dem *MAPE* in tabellarischer Form zu sehen. Dieses ist in Abbildung 9.3 graphisch dargestellt.

Kategorie	MAPE	Anteil an der Gesamtanzahl
X	< 20%	0,9%
Y	20% ≤ MAPE < 50%	13,9%
Z	≥ 50%	85,2%

Tabelle 9.4: XYZ (MAPE)

Dabei ist ersichtlich, dass nur ein sehr geringer Anteil der Teile einfach zu prognostizieren ist. Den größten Teil stellt die Kategorie Z mit rund 85% der Teile dar.

Abbildung 9.3: XYZ Analyse MAPE¹⁴⁷

9.2.2 XYZ (VK)

Das Ergebnis der XYZ-Analyse, ausgewertet mit dem VK ist in Tabelle 9.5 zu finden. Abbildung 9.4 zeigt das Ergebnis graphisch dargestellt. Der Bedarf des überwiegenden Teiles der Ersatzteile ist, auch am VK gemessen, sehr schwierig zu prognostizieren.

Kategorie	VK	Anteil an der Gesamtanzahl
X	< 20%	0,7%
Y	20% ≤ VK < 50%	12,7%
Z	≥ 50%	86,6%

Tabelle 9.5: XYZ (VK)

¹⁴⁷ Eigene Darstellung

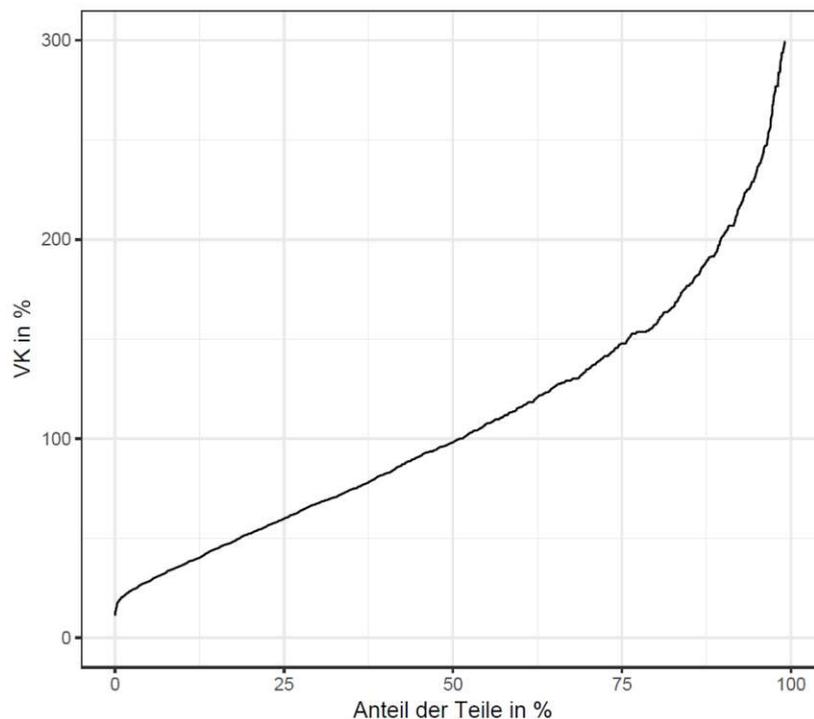


Abbildung 9.4: XYZ-Analyse VK¹⁴⁸

Die soeben dargestellten XYZ-Analysen ausgewertet nach dem *MAPE* und den *VK* zeigen nur geringfügige Unterschiede. Der *MAPE* misst die mittlere Abweichung des vergangenen Bedarfes im Vergleich zur Prognose. Dadurch werden auch bekannte saisonale Einflüsse berücksichtigt. Der *VK* misst lediglich die Gleichmäßigkeit des Bedarfes. Bekannte saisonale Schwankungen werden als Abweichung bewertet. Aus diesem Grund wird ausschließlich der *MAPE* als Maß der Prognostizierbarkeit von Ersatzteilen herangezogen und für die folgenden Analysen verwendet.

9.3 ABC-/XYZ-Analyse

Für die Klassifizierung der Ersatzteile werden die bereits separat betrachteten ABC- und XYZ-Analysen in Kombination verwendet.

9.3.1 ABC (Bedarf) / XYZ (MAPE)

Bei der ABC- (Bedarf) / XYZ (MAPE)- Analyse wird die Klassifizierung mittels des Bedarfes der Vorhersagegenauigkeit gegenübergestellt. Die Analyse teilt die Gesamtmenge an Teilen in neun Kategorien. In Tabelle 9.6 ist das Ergebnis der Analyse dargestellt. In den Spalten „GESAMT“ rechts und unten in der Tabelle sind die summierten Werte für die XYZ- und ABC-Kategorien angegeben. Zur besseren Vergleichbarkeit

¹⁴⁸ Eigene Darstellung

wurde in dieser Auswertung neben dem Bedarfswert auch der Lagerwert jeder Kategorie angegeben.

Die Klasse AY weist mit 49,0% mit Abstand den höchsten Bedarfswert aus. Dieser Bedarf wird mit nur 165 verschiedenen Teilen erreicht.

Für Optimierungen der Vorhersage ist in erster Linie bei den Teilen der Kategorie Z anzusetzen. Hier liegt der Prognosefehler bei 50% oder mehr.

Anzahl der Teile	Anteil Bedarf in %	Bedarf							
∅ MAPE in %	Anteil Lagerwert in %	A - 80%		B - 15%		C - 5%		GESAMT	
MAPE	X < 20%	25	14,4%	10	0,3%	9	0,04%	44	15%
		17,8%	6,7%	18,2%	0,2%	16,6%	0,02%	18%	7%
	Y < 50%	165	49,0%	226	5,5%	305	0,7%	696	55%
		33,0%	25,1%	35,7%	3,6%	37,7%	0,6%	35%	29%
	Z ≥ 50%	110	16,6%	460	9,3%	3 692	4,3%	4 262	30%
		85,8%	22,3%	101,2%	18,3%	219,6%	23,2%	136%	64%
	GESAMT	300	80%	696	15%	4 006	5%	5 002	100%
		46%	54%	52%	22%	91%	24%	63%	100%

Tabelle 9.6: Ergebnis ABC (Bedarf) / XYZ (MAPE)

Da neben dem erzielten Umsatz aufgrund des hohen Bedarfs eines Ersatzteils, auch das gebundene Kapital im Lager eine sehr große Rolle spielt, folgt eine weitere Analyse mit Fokus auf den Lagerwert.

9.3.2 ABC(Lagerwert) / XYZ(MAPE)

Besonders bei Ersatzteilprognosen stellen der Lagerwert und der Vorhersagefehler, aufgrund der wirtschaftlichen Relevanz, aussagekräftige Größen dar. Die Auswertung der ABC- (Lagerwert) / XYZ (MAPE)- Analyse ist in Tabelle 9.7 dargestellt. Es zeigt sich ein eindeutiger Trend. Je höher der Vorhersagefehler, umso höher ist der Lagerwert. Die Klasse AZ ist mit einem Anteil des Lagerwerts von 47,2% besonders hoch. Auch die Klasse AY weist mit 26,1% des Gesamtlagerwertes einen sehr hohen Anteil auf.

Anzahl der Teile	Anteil Bedarf in %	Lagerwert							
		A - 80%		B - 15%		C - 5%		GESAMT	
∅ MAPE in %	Anteil Lagerwert in %								
MAPE	X < 20%	23	13,9%	9	0,4%	12	0,45%	44	14,8%
		17,6%	6,7%	18,3%	0,2%	17,2%	0,03%	17,7%	6,9%
	Y < 50%	176	48,7%	198	5,2%	322	1,3%	696	55,1%
		34,4%	26,1%	35,9%	2,8%	36,8%	0,5%	35,7%	29,4%
	Z ≥ 50%	452	20,6%	884	6,1%	2 926	3,4%	4 262	30,1%
		175,3%	47,2%	191,7%	12,1%	207,8%	4,4%	191,6%	63,7%
	GESAMT	651	83,3%	1 091	12%	3 260	5%	5 002	100%
		75,8%	80,0%	81,9%	15%	87,3%	5%	81,7%	100%

Tabelle 9.7: Ergebnis ABC(Lagerwert) /XYZ(MAPE)

9.4 Zusammenfassung

In den vorhergehenden Unterkapiteln wurden verschiedene Variationen der ABC-Analyse dargestellt. Verschiedene Analysen können von Vorteil sein, wenn man den aktuellen Bestand bzw. die Performance der Prognose aus verschiedenen Perspektiven betrachten möchte.

Das primäre Ziel besteht darin, Ersatzteile mit besonders hohem Optimierungspotenzial zu identifizieren. Die einzelnen Kategorien sollen ermöglichen, eine Priorisierung hinsichtlich der Notwendigkeit zur Optimierung zu erstellen. Wie bereits erläutert, ziehen wir den *MAPE* als Maß für die Prognostizierbarkeit heran. Diese Kennzahl stellt bei der Identifikation von Verbesserungspotenzialen die charakteristische Größe dar. Wie den Ergebnissen der Analysen zu entnehmen ist, spiegelt sich ein hoher *MAPE* in hohen Lagerbeständen wider. Im Sinne einer schlanken Materiallogistik gilt es, diese bei gleichzeitiger Erhaltung der Servicequalität auf ein Minimum zu reduzieren. Aus diesem Grund wird die weitere Klassifizierung anhand der ABC-(Lagerwert)/XYZ-Analyse durchgeführt.

In Tabelle 9.7 ist zu sehen, dass die Klassen AZ und AY von besonders hoher Bedeutung sind. In Summe bilden die beiden Klassen rund 73% des Lagerwertes ab. Dabei befinden sich lediglich 12,6% der Gesamtanzahl der Ersatzteile in diesen Kategorien.

Tabelle 9.8 zeigt eine Auflistung von 15 AZ-Ersatzteilen mit dem höchsten Lageranteil. Der 1. Spalte von rechts ist zu entnehmen, dass diese Teile bereits mehr als 10% des Lagerwertes einnehmen.

Teilenummer	Beschreibung	Anteil am Lagerwert	Lagerwert kumuliert
123001	Kolben	1,85%	1,9%
123002	Kurbelwellenlager	1,43%	3,3%
123003	Filter	0,79%	4,1%
123004	Lagerset	0,75%	4,8%
123005	Kolben	0,69%	5,5%
123006	Kolben	0,66%	6,2%
123007	Ölabscheider	0,61%	6,8%
123008	Kurbelwelle	0,56%	7,3%
123009	Ladeluftkühler	0,51%	7,8%
123010	Filter	0,48%	8,3%
123011	Kolben	0,46%	8,8%
123012	Kurbelwelle	0,46%	9,2%
123013	Zylinderkopf	0,44%	9,7%
123014	Ventil	0,44%	10,1%
123015	Kolben	0,42%	10,6%

Tabelle 9.8: A(Lagerwert) / Z(MAPE)- Teile

Diese Tabelle stellt einen Auszug der Fokusgruppe dar. Diese Ersatzteilgruppe ist durch ein besonders hohes Optimierungspotenzial charakterisiert, da sie einen hohen Lagerwert aufweist.

10 SOLL-Prozess

In diesem Kapitel wird nun der SOLL-Prozess dargestellt, welcher anhand der vorhandenen Bedarfsdaten von *Jenbacher Gasmotoren* evaluiert wird. Um eine Verbesserung des Prognoseprozesses zu ermöglichen, wird ein Konzept herangezogen, bei dem anstatt der vergangenheitsbezogenen Daten, zukunfts-basierte Daten als Grundlage verwendet werden.

10.1 Konzept

Durch die digitale Überwachung und Vernetzung der Motoren stehen für die CSA-Motoren eine Vielzahl von dynamischen Motordaten zur Verfügung. Die Daten werden in Echtzeit erfasst und über die Anwendung *MyPlant* verarbeitet und visualisiert. Die folgende Auflistung stellt nur einen geringen Auszug der erfassten dynamischen Motordaten dar:

- Betriebsstunden
- Starts
- Wirkarbeitszähler
- Blindarbeitszähler
- Leistung Sollwert
- Leistung aktuell
- Raumtemperatur
- Öldruck
- Öltemperatur
- Lagertemperatur Generator
- etc.

Im vorliegenden Konzept sind als dynamische Parameter die Betriebsstunden und die Starts angeführt. Diese Parameter werden für die Prognose von Ersatzteilen verwendet. Dieser Schritt ist als erster Schritt in Richtung zustandsbasierte Instandhaltung zu sehen. Zunächst beschränkt sich die Instandhaltung auf geplante Wartungen, welche ausschließlich durch die Betriebsstunden der Motoren ausgelöst werden.

In Abbildung 10.1 ist das Konzept für das verbesserte Prognoseverfahren zu sehen. Im linken Teil der Abbildung ist der *SPC* ersichtlich. Input liefern die Masken, Packages und Events, sowie die SBOM und die IB-Daten. Diese Daten sind für die Erstellung der Ersatzteillisten für bestimmte Wartungsereignisse erforderlich. Output ist eine Ersatzteilliste, die für ausgewählte Motoren und dem entsprechenden Wartungsereignis mit entsprechender Menge der Ersatzteile erstellt wird. Das Ergebnis des *SPC* bildet die Grundlage für die Ersatzteilprognose.

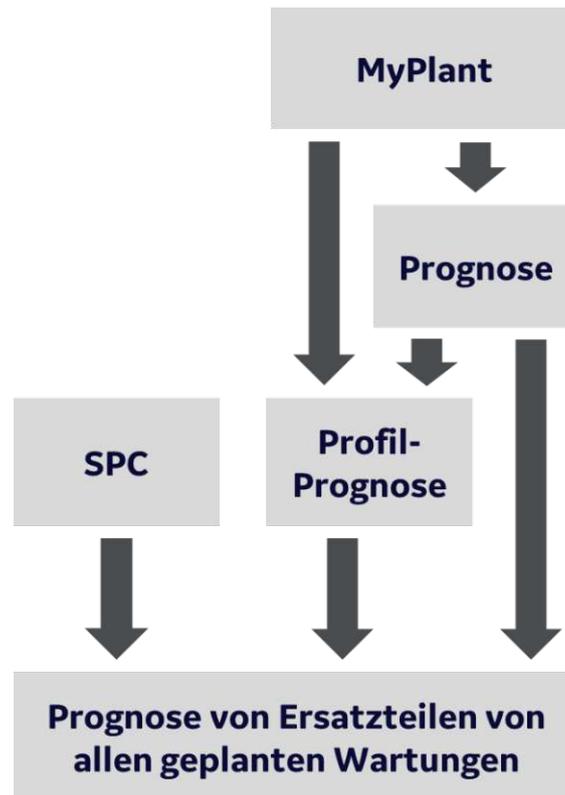


Abbildung 10.1: Konzept des SPC-Prognoseprozesses¹⁴⁹

Der rechte Teil in Abbildung 10.1 zeigt symbolisch die Vorhersage der Betriebsstunden. In *MyPlant* stehen für alle CSA-Motoren die dynamischen Motordaten zur Verfügung. Für diese Motoren ist es möglich, den exakten Verlauf der Betriebsstunden für die Vergangenheit darzustellen. Mittels Regressionsanalyse wird eine Prognose für die Zeitreihe der Betriebsstunden erstellt. Mit den bis hierher erläuterten Schritten kann eine Prognose des Ersatzteilbedarfes für geplante Wartungen für alle CSA-Motoren erstellt werden. Da die Betriebsstunden nur von CSA-Motoren bekannt sind, ist eine Methode zur Betriebsstundenprognose für alle Motoren erforderlich.

Für die Umsetzung dieser Methode werden die statischen Motordaten, wie Motortyp, Standort etc., aus der *IB*-Datenbank benötigt. Diese Daten sind für alle Motoren verfügbar. In der Regel bleiben diese Daten über die gesamte Lebensdauer des Motors unverändert. Zunächst werden die dynamischen Motordaten der CSA-Motoren miteinander verglichen. Etwaige Korrelationen zueinander werden mit deren statischen Motordaten verglichen. In Abhängigkeit des Grades der Korrelation der statischen Daten findet eine Adaptierung der dynamischen Motordaten der CSA-Motoren auf alle weiteren Motoren statt.

¹⁴⁹ Eigene Darstellung

10.2 Optimierter Prognoseprozess

Ziel des SOLL-Prognoseprozesses ist in erster Linie die Verbesserung der Vorhersagegenauigkeit für Ersatzteile. Es spielen jedoch auch die Anzahl der Schnittstellen, sowie der zeitliche Aufwand zur Erstellung der Bedarfsprognose eine Rolle. In Abbildung 10.2 ist der SOLL-Prozess dargestellt. Zu erkennen ist, dass im Vergleich zur bisherigen Vorgangsweise auch im Flussdiagramm die Operationen reduziert wurden. Die Prognose erfolgt vorausschauend und anhand von Daten aus einer Informationsquelle. Selbst bei Ersatzteilen ohne Vergangenheitsdaten ist eine Ersatzteilprognose möglich. Darüber hinaus kann die Erstellung der Prognose für alle Ersatzteile mittels Massenauswertung erfolgen.

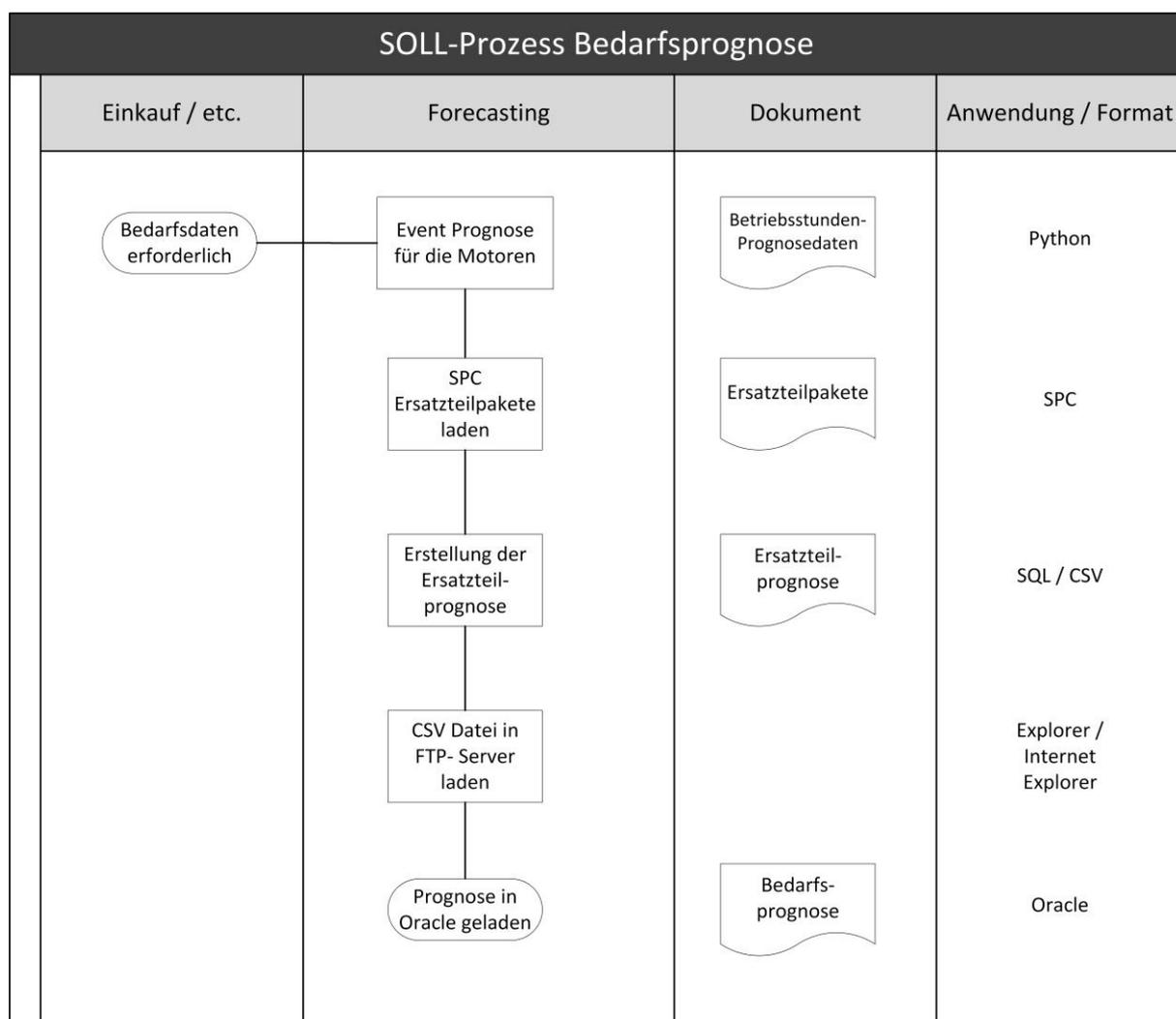


Abbildung 10.2: SOLL-Prognose Prozess¹⁵⁰

¹⁵⁰ Eigene Darstellung

In den folgenden Unterkapiteln werden die wesentlichen Komponenten des SOLL-Prozesses, welche bereits im Konzept (Abbildung 10.1) sowie im Flussdiagramm (Abbildung 10.2) erwähnt wurden, beschrieben.

10.2.1 Service Package Configurator

Wie bereits dargelegt, generiert der *Service Package Configurator (SPC)* die Ersatzteilkonfigurationen für die geplanten Wartungen. Grundlage des Ersatzteilkonfigurationspaketes ist die *SBOM* für den betrachteten Motor. In der *IB*-Datenbank sind entsprechend der Motorkonfiguration die notwendigen Wartungsintervalle festgelegt. Der *SPC* generiert anhand der zur Verfügung stehenden Daten eine Liste von Ersatzteilen für den betrachteten Motor bzw. für das entsprechende Event. Die Ersatzteile sind mit der notwendigen Stückzahl versehen. Dieser Vorgang ist in Abbildung 10.3 veranschaulicht.



Abbildung 10.3: Funktionsschema SPC¹⁵¹

Für die Erstellung einer Prognose von Ersatzteilen sind die Ersatzteilkonfigurationen aller Anlagen im Feld erforderlich. Dazu wird eine Auswertung über alle möglichen Events für alle Motoren im Betrieb erstellt. Das Ergebnis wird in einer umfangreichen Datenbank abgespeichert und in regelmäßigen Intervallen aktualisiert. Die Tabelle in Abbildung 10.3 zeigt symbolisch einen Auszug aus dieser Datenbank.

10.2.2 Schema für die Prognose der Betriebsstunden

Ein weiterer wesentlicher Punkt zur Prognose der Ersatzteile stellt die Ermittlung der Zeitpunkte der geplanten Wartungen dar. Anhand der Betriebsstunden, welche durch *MyPlant* für alle *CSA*-Motoren aufgezeichnet werden, wird eine Prognose erstellt, wann Motoren den jeweiligen Zählerstand erreichen und eine notwendige geplante Wartung durchzuführen ist. Für die Motoren ohne Wartungsvertrag ist eine Betriebsstunden-Profilprognose erforderlich, da diese Daten nicht verfügbar sind. Für die Profilprognose sind neben den *IB*-Daten die Prognosedaten der *CSA*-Motoren notwendig. Die detaillierte Vorgangsweise für diese Motoren wird in Kapitel 10.2.4 beschrieben. In Abbildung 10.4 ist das Schema für die Prognose der Betriebsstunden zu sehen. Die

¹⁵¹ Eigene Darstellung

Tabelle im rechten Teil der Abbildung zeigt schematisch das Ergebnis der Betriebsstundenprognose.

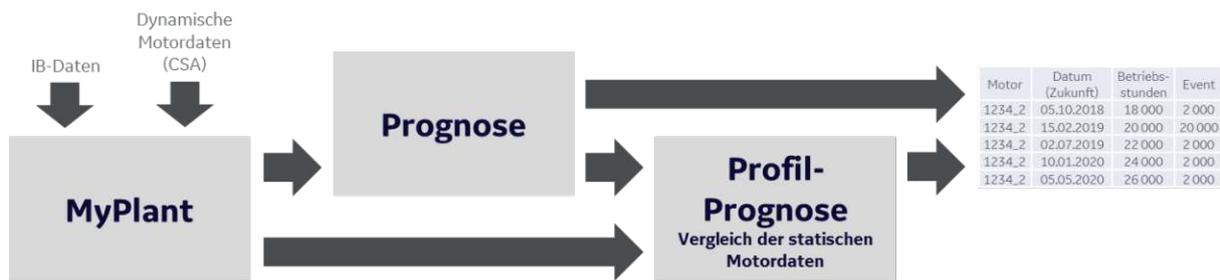


Abbildung 10.4: Funktionsschema Prognose der Betriebsstunden¹⁵²

10.2.3 Prognose der Betriebsstunden der CSA-Motoren

Zunächst wird die Vorgangsweise für die Prognose der Betriebsstunden der CSA-Motoren beschrieben:

Die Zeitreihe der bekannten Daten wird in die zwei Abschnitte Trainingsbereich und Testbereich unterteilt. Für die Zeitreihe des Trainingsbereichs werden verschiedene Verfahren zur Annäherung eingesetzt. Die folgenden Methoden finden in dieser Arbeit Anwendung:

- Lineare Regression über die gesamte Zeitreihe
- Verbindung von Anfangs- und Endpunkt der Zeitreihe
- Monatlich durchschnittliche Betriebsstunden pro Tag

Im Testbereich wird die erstellte Prognose mit den tatsächlichen Betriebsdaten verglichen. Die Auswahl des besten Verfahrens erfolgt mit Hilfe der Methode der kleinsten Quadrate. Nach der Prognose werden je nach Wartungsintervall die Zeitpunkte für die zukünftigen Events ausgewertet.

10.2.4 Profilprognose mittels KNN¹⁵³

Die Profilprognose ist für jene Motoren notwendig, für die keinerlei Informationen zu dem aktuellen Stand der Betriebsstunden bekannt sind. Das betrifft alle Motoren ausgenommen der CSA-Motoren. Um das Profil für diese Motoren zu erhalten, werden die statischen Motordaten mit denen der CSA-Motoren verglichen.

¹⁵² Eigene Darstellung

¹⁵³ Vgl. Riester, Schmidhofer, Vortrag ETT, 2018

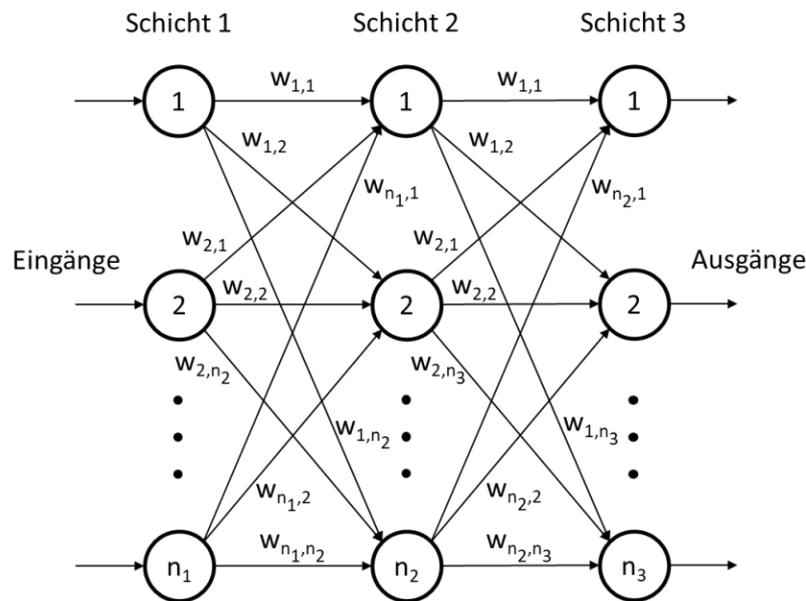


Abbildung 10.5: Schema *KNN* für die Profilprognose¹⁵⁴

Das erfolgt mit Hilfe eines künstlichen neuronalen Netzes. In Abbildung 10.5 ist symbolisch dargestellt das *KNN* zu sehen. Als Eingänge auf der linken Seite werden die *IB*-Daten verwendet. In Summe werden 480 Eingänge (n_1) als Eingangsparameter verwendet. Die Ausgangswerte des *KNN* bilden die durchschnittlichen Betriebsstunden pro Tag, welche für jeden Monat ermittelt werden, sowie die Steigungen der linearen Regression und der Steigung der Verbindungslinie von Anfangs- und Endwert (n_3).¹⁵⁵

Vor dem ersten Durchlauf ist ein Training des *KNN* erforderlich. Das Training erfolgt anhand mehrerer Durchläufe bis das *KNN* ausreichend trainiert ist. Beim ersten Durchlauf sind die Gewichte in den Zwischenschichten zufällig definiert. Im ersten Iterationsschritt werden die ermittelten Ausgangswerte mit den tatsächlichen Steigungswerten pro Monat verglichen. Der dabei entstandene Fehler wird dem Gewicht anteilig rückgerechnet und das Gewicht dem entsprechend angepasst. Es werden so viele Iterationsschritte durchgeführt bis der Ausgang des *KNN* eine ausreichend hohe Genauigkeit aufweist.

Ist das Training des *KNN* abgeschlossen, kann die Prognose der Betriebsstunden für die Motoren erfolgen, deren Betriebsstundenverlauf unbekannt ist. Die durchschnittliche tägliche Änderung der Betriebsstunden für den jeweiligen Monat wird ausgehend vom bekannten Zeitpunkt der Inbetriebnahme addiert. Jeder Motor erhält so aufgrund der Motorkonfiguration bzw. aller weiteren verwendeten *IB*-Daten das individuelle Fahrprofil.

¹⁵⁴ FhA, internes Dokument

¹⁵⁵ Vgl. FhA, internes Dokument

10.3 Ergebnis des SOLL-Prozesses

In diesem Kapitel werden sowohl die Ergebnisse der Betriebsstundenprognosen, als auch die Ersatzteilprognosen des SOLL-Prozesses beschrieben. Zunächst wird das Ergebnis der Zeitreihenprognose für die CSA-Motoren beschrieben. Darauf folgt die Prognose der Betriebsstunden mittels *KNN* für alle Motoren ohne bekannten Betriebsstundenverlauf. Zum Schluss dieses Unterkapitels wird das Ergebnis der Ersatzteilprognose anhand eines Beispiels gezeigt.

10.3.1 Ergebnis der Betriebsstundenprognose für CSA-Motoren

Bei der Betriebsstundenprognose für CSA-Motoren ist der Betriebsstundenverlauf der Motoren bekannt. In Abbildung 10.6 ist das Ergebnis der Prognose zu sehen. Die rote Linie stellt den bekannten Betriebsstundenverlauf des Beispielmotors dar. In blauer Farbe ist die Regressionsgerade dargestellt. Grün gehalten wird der Anfangs- und Endpunkt der Zeitreihe in der Initialisierungsphase. In schwarz ist die Approximation anhand der durchschnittlichen monatlichen Betriebsstunden zu sehen. Die vertikalen Linien in grau zeigen den Anfang und das Ende der Testphase. Da die Prognose der durchschnittlichen monatlichen Mittelwerte den Betriebsstundenverlauf in der Testphase am besten approximiert, wird dessen Prognose nach der Testphase fortgeführt.

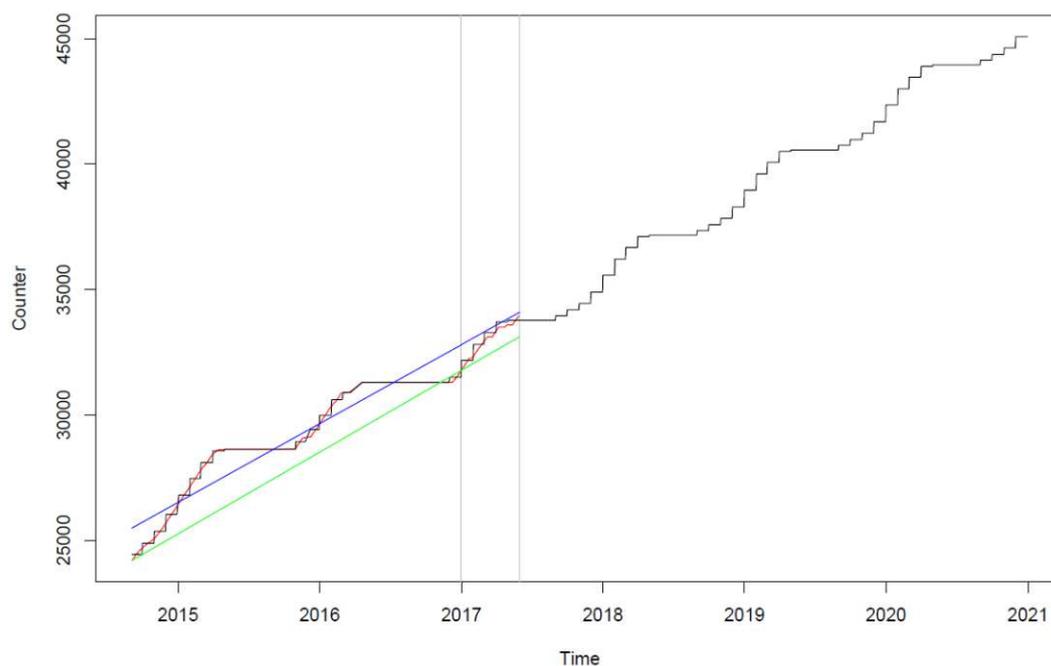


Abbildung 10.6: Betriebsstundenprognose für CSA-Motoren¹⁵⁶

¹⁵⁶ FhA, internes Dokument

10.3.2 Ergebnis der Profilprognose mittels KNN

Die Profilprognose findet bei jenen Motoren Anwendung, für die keine Daten aus dem laufenden Betrieb bekannt sind. Zur besseren Veranschaulichung und Beurteilung wurde die Profilprognose an einem Motor mit bekanntem Betriebsprofil angewandt. Bei der Erstellung der Prognose wurden die bekannten Daten allerdings nicht berücksichtigt. Das Ergebnis der Profilprognose ist in Abbildung 10.7 zu sehen. Die schwarze Linie zeigt das Ergebnis der Betriebsstundenprognose, während die rote Linie als Vergleich den tatsächlichen Betriebsstundenverlauf darstellt.

Das Ergebnis zeigt, dass die Profilprognose sehr gute Resultate erzielt. Im Idealfall sollte das *KNN* den Zeitpunkt der Wartung exakt prognostizieren. Die Prognose des *KNN* liegt tendenziell über den tatsächlichen Betriebsstunden. Das hat zur Folge, dass die Ersatzteile früher als benötigt verfügbar sind. Wird das Ziel verfolgt, maximale Verfügbarkeit von Ersatzteilen zu erreichen, ist das auf jeden Fall besser als fehlende Ersatzteile im Service.

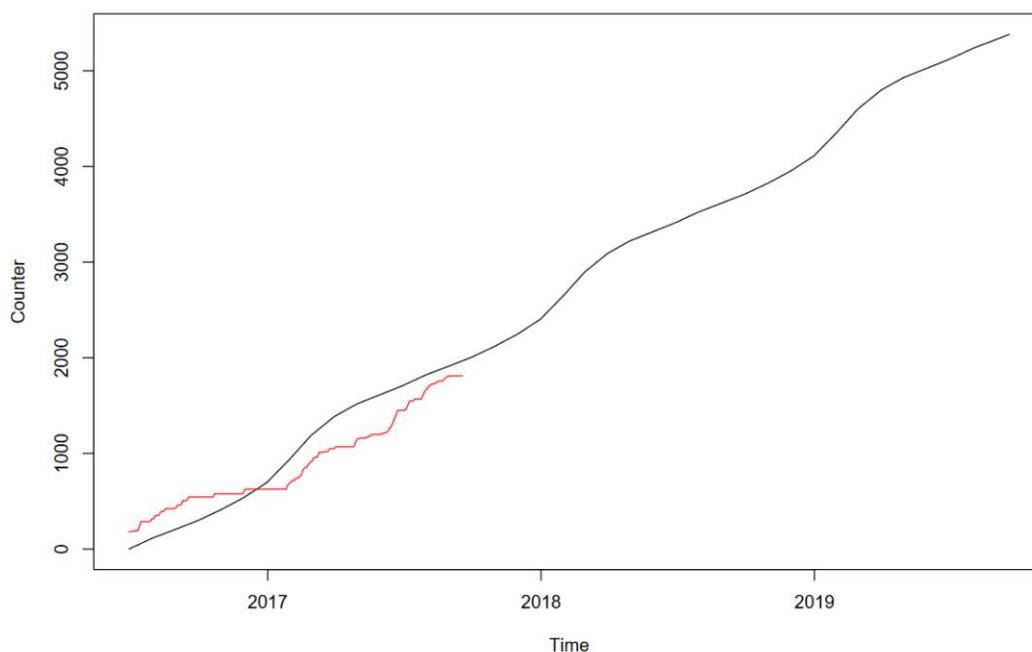


Abbildung 10.7: Prognose der Betriebsstunden für einen Beispielmotor¹⁵⁷

10.3.3 Prognose von Ersatzteilen für alle Motoren

Nachdem die Zeitpunkte der Wartungen für alle Motoren prognostiziert wurden, kann eine Ersatzteilprognose auf Teileebene erstellt werden. Das erfolgt anhand einer SQL-Abfrage (*structured query language*), indem die Prognosedaten der Motoren mit den Ergebnissen der SPC Ersatzteilkapete verknüpft werden.

¹⁵⁷ FhA, internes Dokument

Tabelle 10.1 zeigt einen Auszug der Ersatzteilprognose für einen ausgewählten Ersatzteil. Hier sind die benötigten Teilmengen für die entsprechenden Wartungen aufgelistet.

Teilenummer	Beschreibung	Menge	Datum	Event	Motornummer
987654	Kolben	20	06.01.2017	30.000	123987
987654	Kolben	20	06.01.2017	30.000	234867
987654	Kolben	20	06.01.2017	30.000	123345
987654	Kolben	20	07.01.2017	30.000	567423
987654	Kolben	12	11.01.2017	30.000	123567
987654	Kolben	12	14.01.2017	30.000	123432
987654	Kolben	20	18.01.2017	30.000	432123
987654	Kolben	20	19.01.2017	30.000	653457
987654	Kolben	20	22.01.2017	30.000	345534
987654	Kolben	20	23.01.2017	30.000	987645

Tabelle 10.1: Beispiel für das Ergebnis der Ersatzteilprognose für einen ausgewählten Ersatzteil¹⁵⁸

Festzuhalten ist, dass die Ergebnisse der deterministischen Bedarfsermittlung sehr detailliert sind. Der Bedarf an Ersatzteilen wird für jeden Tag und für jeden Motor separat ausgegeben. Dadurch kann der Bedarf auch einer Region zugeteilt werden, in der das betrachtete Ersatzteil benötigt wird. Somit kann der Bedarf schon im Vorfeld einem Distributionsstandort zugewiesen werden. Der erläuterte Vorteil bringt vielfältige Möglichkeiten, die Ersatzteillogistik erheblich zu verbessern. Der Bedarf an Ersatzteilen kann somit nicht nur in der Menge quantifiziert werden, sondern auch nach den Ort an dem der Bedarf besteht.

10.4 Vergleich des IST- und SOLL-Prozesses

Abbildung 10.8 zeigt den optimierten Bedarfsermittlungsprozess im Vergleich zum IST-Prozess dargestellt. Es ist ersichtlich, dass die Anzahl der Prozessschritte reduziert werden konnte, was die Gefahr von Datenverlust erheblich senkt. Weiters stammen die Prognosedaten beim SOLL-Prozess aus nur einer Quelle. Das führt zu einer Reduktion der Schnittstellen, was wiederum einen Beitrag zur einfacheren Automatisierung des Prozesses leistet.

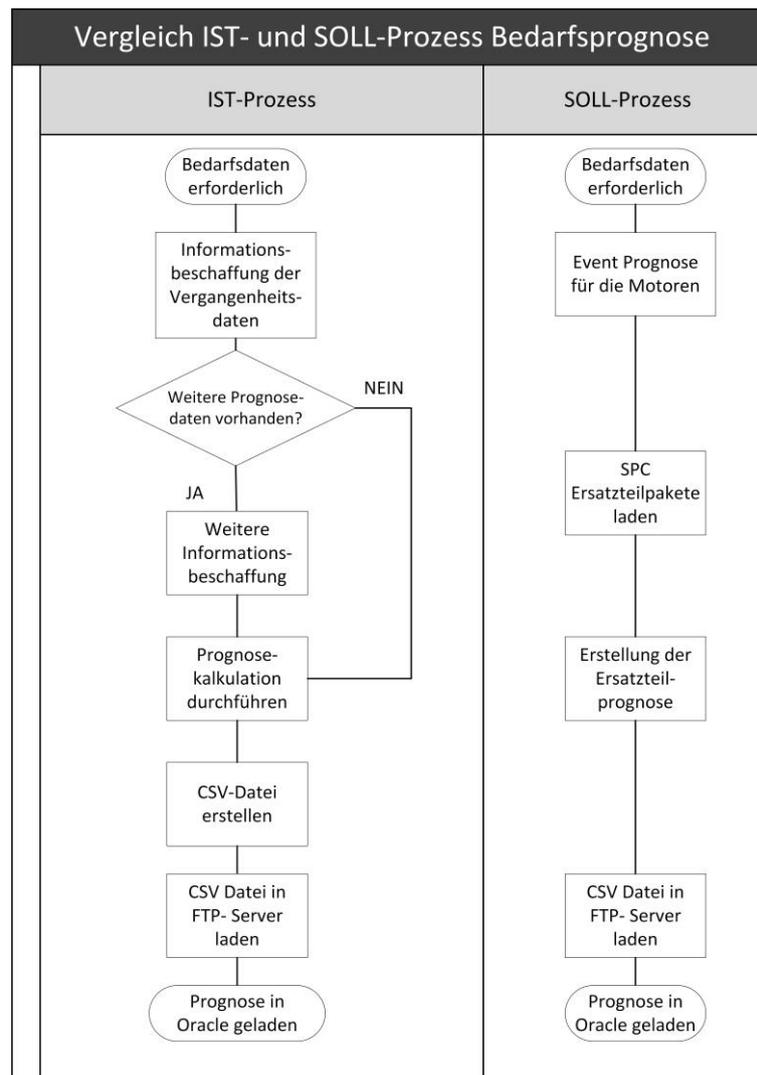


Abbildung 10.8: Vergleich des IST- und SOLL-Prozesses¹⁵⁹

Zur besseren Visualisierung werden die Ergebnisse der Ersatzteilprognose für jeden Monat summiert dargestellt und mit dem aktuellen Prognoseprozess verglichen.

Abbildung 10.9 zeigt das Ergebnis der Prognose des IST- mit dem SOLL-Prognoseprozess im Vergleich. Zu berücksichtigen ist, dass der dargestellte Bedarf nach dem bereits erläuterten geplanten Lieferdatum erfolgt. Die Prognose des *KNN* beschreibt den Bedarf an Ersatzteilen zum Zeitpunkt der Wartung des Gasmotors. Aus diesem Zusammenhang erschließt sich, dass ein Bedarf wenige Monate vor dem prognostizierten Bedarf durch das *KNN* auftreten muss. Das ist in Abbildung 10.9 am hohen Bedarf in $t = 3$ zu sehen. In $t = 5$ und $t = 7$ werden diese Ersatzteile bei der Wartung benötigt.

¹⁵⁹ Eigene Darstellung

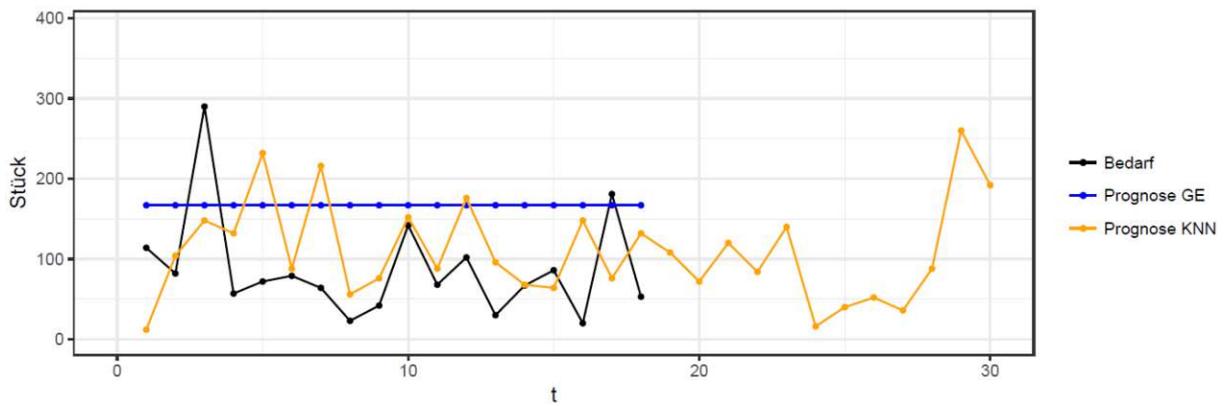


Abbildung 10.9: Prognose des Ersatzteilbedarfes für einen Beispiel-Kolben¹⁶⁰

Der betrachtete Kolben ist einer der AZ-Teile, welche einen besonders hohen Lagerwert aufweisen. Trotz der zeitlichen Verschiebung und weiteren Störgrößen kann der Vorhersagefehler beträchtlich gesenkt werden. Die weitere Erläuterung und Bewertung erfolgt in Kapitel 11.

10.5 Vergleich mit weiteren Prognoseverfahren

In diesem Unterkapitel werden die Ergebnisse einiger gängigen stochastischen Bedarfsermittlungsmethoden beschrieben. Die Methoden wurden bereits im Theorieteil erläutert.

Abbildung 10.10 zeigt die Bedarfsermittlung mit Hilfe des **Holt-Winters-Verfahren**. Es werden dabei der Trend (glatte Komponente) und die Saisonalität der Vergangenheitsdaten berücksichtigt. Die Ergebnisse zeigen, dass dieses Bedarfsermittlungsverfahren durchaus gute Resultate erzielen kann. Besonders hohe Bedarfe, welche nicht aufgrund saisonaler Einflüsse entstehen, können im Vergleich zur Prognose mit *KNN* nicht prognostiziert werden.

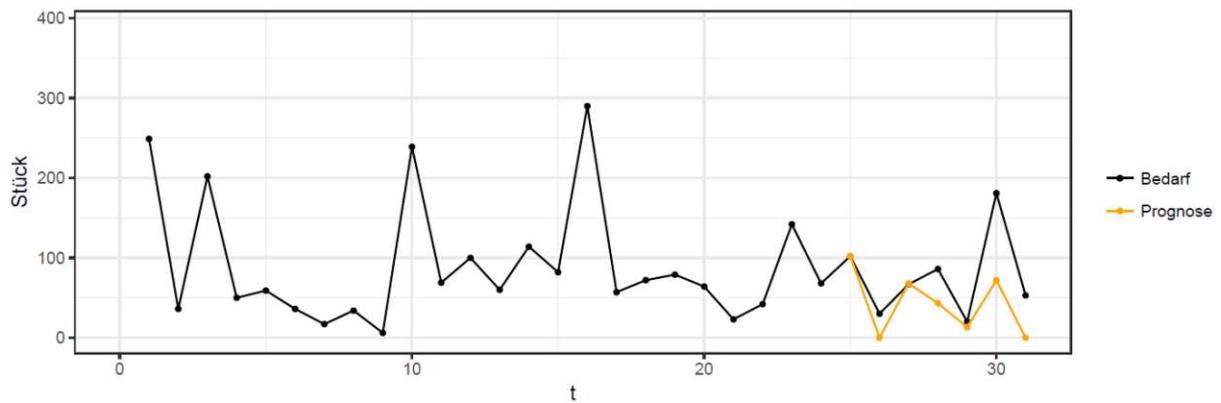


Abbildung 10.10: Vergleich mit dem Holt-Winters-Verfahren für das Beispiel Kolben¹⁶¹

Das Holt-Winters-Verfahren eignet sich auch sehr gut als Prognoseverfahren für den Betriebsstundenverlauf. In dieser Arbeit findet dieses Verfahren allerdings nur Anwendung zur Bedarfsermittlung.

Abbildung 10.11 zeigt die Prognose des Ersatzteilbedarfes mit **gleitendem Mittelwert und gewichtetem gleitendem Mittelwert**. In der betrachteten Zeitreihe sind keine bedeutenden Unterschiede zwischen den beiden Verfahren ersichtlich.

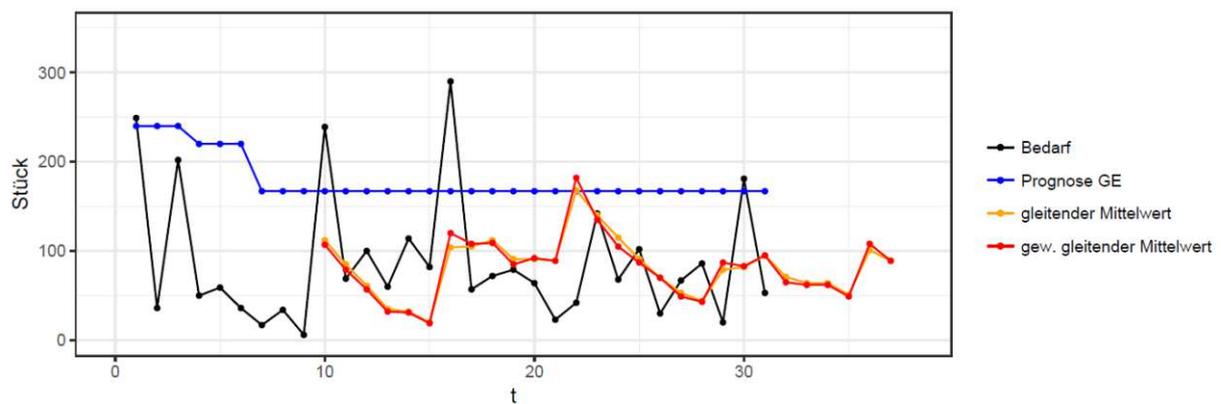


Abbildung 10.11: Vergleich mit dem gleitenden Mittelwert für das Beispiel Kolben¹⁶²

Abbildung 10.12 und Abbildung 10.13 zeigen die **exponentielle Glättung 1. und 2. Ordnung**. In beiden Fällen wurde der Glättungsfaktor α mit $\alpha = 0,3$ und $\alpha = 0,8$ festgelegt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Wahl des Glättungsfaktors von großer Bedeutung ist.

¹⁶¹ Eigene Darstellung

¹⁶² Eigene Darstellung

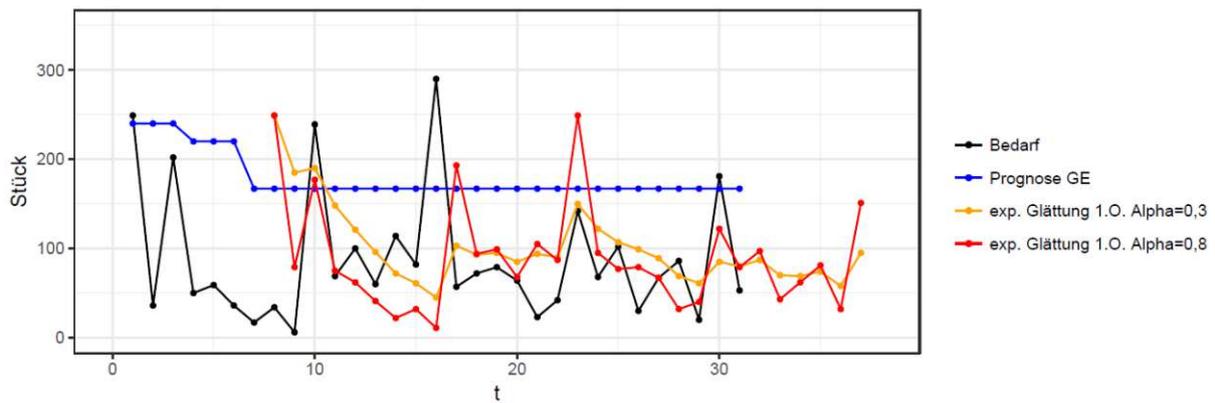


Abbildung 10.12: Vergleich mit der exp. Glättung 1.O. für das Beispiel Kolben¹⁶³

Sowohl bei der exponentiellen Glättung 1. Ordnung als auch bei der 2. Ordnung zeigt die Approximation mit dem Glättungsfaktor $\alpha = 0,8$ große Spitzenwerte. Das bedeutet, dass der Glättungsfaktor mit Bedacht zu wählen ist.

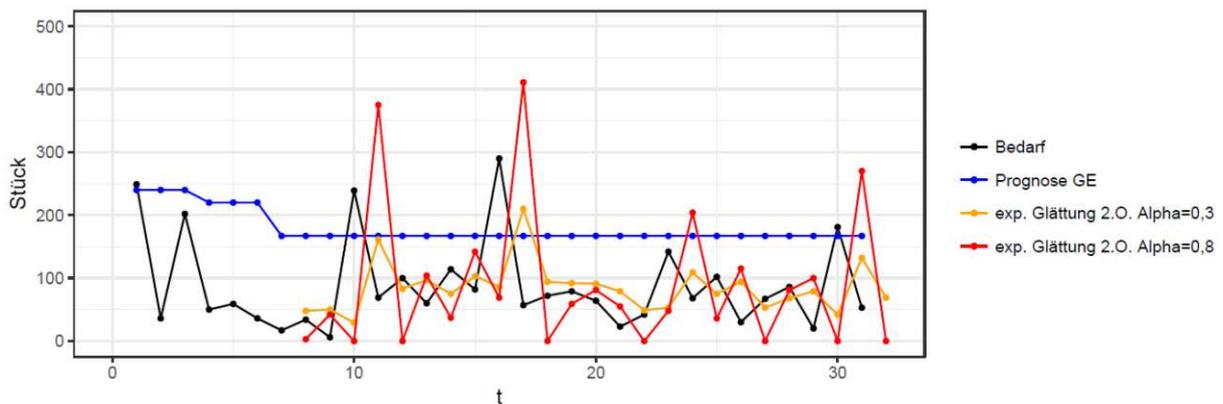


Abbildung 10.13: Vergleich mit der exp. Glättung 2.O. für das Beispiel Kolben¹⁶⁴

Die betrachteten Prognoseverfahren stellen eine nicht zu vernachlässigende Alternative zur bestehenden Bedarfsprognose dar. Prognosen sind allerdings meist nur innerhalb eines beschränkten Zeithorizonts möglich.

¹⁶³ Eigene Darstellung

¹⁶⁴ Eigene Darstellung

11 Bewertung und Deutung der Ergebnisse

Die Ergebnisse des SOLL-Prozesses, welche im Unterkapitel 10.3 zu sehen sind, zeigen eine deutliche Verbesserung des Prognoseprozesses für ausgewählte Ersatzteile. Der mittlere absolute prozentuale Fehler *MAPE* reduziert sich bei den gegebenen Daten um rund 50%. Das ist für die ausgewählte Fokusgruppe durchaus zufriedenstellend. Eine Hochrechnung hat gezeigt, dass alleine die Reduktion des Sicherheitsbestandes der Fokusgruppe den Lagerbestand um mehr als 10% verringert.

Das Potenzial des Prognoseverfahrens ist noch nicht zur Gänze ausgeschöpft. Die folgenden Punkte sollen aufzeigen, wie durch Verbesserung der Datenqualität die Prognose der Ersatzteile weiter optimiert werden kann.

- Aktualisierung der *SBOMs* bei Teiletausch bzw. bei Motortausch
- Korrekte Dokumentation der Wartungsintervalle
- Kontrolle des Bezuges von Ersatzteilen bei *MSA*-Verträgen
- Bessere Darstellung der Ersatzteil Beziehungen

Über die genannten Verbesserungspotenziale hinsichtlich der Datenqualität können weitere Gründe genannt werden, warum der durchgeführte Vergleich der Ergebnisse des SOLL-Prozesses mit den vergangenen Bedarfsdaten nur bedingt zur Validierung geeignet ist. In Ermangelung von Alternativen muss dennoch dieser Vergleich herangezogen werden.

Ein großer Teil der Motorenflotte wird durch Servicepartner von *Jenbacher Gasmotoren* gewartet. Diese beziehen Ersatzteile üblicherweise in großen Mengen, welche den tatsächlichen Bedarf der Folgeperiode erheblich übersteigt. Ersatzteile werden von Servicepartnern auf Lager gelegt, um Sicherheitsbestände zu bevorraten. Darüber hinaus können auch Betreiber von einzelnen Anlagen Ersatzteile bereits Monate vor einer Wartung beschaffen. Dadurch können die Ergebnisse der Bedarfsermittlung mit dem *KNN* deutlich schlechter prognostiziert werden. Die mit dem *KNN* ermittelte Bedarfsprognose stellt den Zeitpunkt der Wartung fest und nicht den Zeitpunkt der Bestellung.

Aufgrund der vorhandenen Datengrundlage besteht der Ersatzteilbedarf, welcher als Vergleichswert dient, aus dem Bedarf sowohl aus geplanten, als auch ungeplanten Wartungen. In Abhängigkeit des Bauteils kann dieser Einfluss sehr verschieden sein.

Unter Umständen kann es vorkommen, dass Kunden anstatt hochwertiger Originalersatzteile, Produkte von externen Anbietern beziehen. Ebenso ist es möglich, dass Kunden Wartungen nicht nach den vorgeschriebenen Intervallen durchführen. Möglicherweise werden Wartungen vertagt bzw. gar nicht durchgeführt. Bei den beiden beschriebenen Szenarien treten bei der Prognose mit dem *KNN* Abweichungen zum tat-

sächlichen Bedarf auf. Das Prognoseverfahren kann in Folge dessen auch als Controlling-Instrument verwendet werden, um Vertragsbrüche bei ausfallendem Ersatzteilbezug zu identifizieren.

Eine beschränkte Anzahl von Ersatzteilen wird derzeit nicht in regelmäßigen Intervallen getauscht, sondern nur, wenn diese verschlissen sind. Der Ersatzteilbedarf kann in diesen Fällen nur anhand von Durchschnittswerten von verschlissenen Teilen pro Anlage bzw. anhand von Erfahrungswerten angenähert werden.

Der SOLL-Prozess zeigt neben der verbesserten Prognosequalität auch Zeiteinsparungspotenzial. Die Prognose für die Ersatzteile kann mit Hilfe einer Massenauswertung durchgeführt werden, was einen deutlichen Vorteil gegenüber dem IST-Prozess bringt. Derzeit sind aufgrund der deterministischen Bedarfsermittlung für viele verbaute Komponenten die passenden Ersatzteile zu identifizieren. Dadurch ist die tatsächliche Zeitersparnis in der Erstphase zum Zeitpunkt der Verfassung nur schwer zu quantifizieren.

12 Maßnahmenplan / weiterführende Schritte

Die Ersatzteilprognose mit dem entwickelten SOLL-Prozess erzielt sehr gute Ergebnisse. Um das volle Potenzial des neu entwickelten Prozesses auszuschöpfen bzw. um diesen weiter zu verbessern, werden in diesem Kapitel die dafür notwendigen weiterführenden Schritte definiert. In Abbildung 12.1 sind diese aufgelistet.

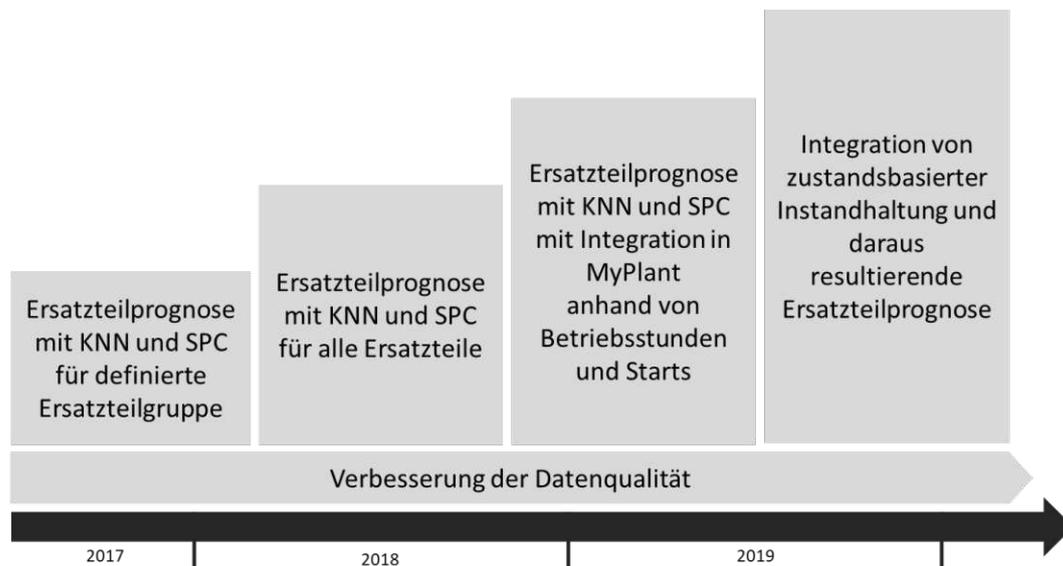


Abbildung 12.1: Maßnahmenplan¹⁶⁵

Der erste Punkt zeigt die Ersatzteilprognose für eine definierte Ersatzteilgruppe. Dieser Schritt ist mit der vorliegenden Arbeit erfolgreich abgeschlossen. Im nächsten Schritt soll die Ersatzteilprognose auf alle Ersatzteile erweitert werden. Dabei sind auch Bauteile, welche nur optional zu tauschen sind, zu prognostizieren.

Ein weiterer Verbesserungsschritt im Bedarfsermittlungsprozess ist die Implementierung in *MyPlant*. Dadurch können die Schnittstellen und damit potentielle Fehlerquelle weiter reduziert werden. Mit *MyPlant* ist es möglich, bereits auf einfachem Wege weitere Kennwerte als Prognosegrundlage hinzuzufügen. Die Betriebsstunden werden mit der Anzahl der Starts eines Motors ergänzt.

Die letzte Stufe des Maßnahmenplans stellt die zustandsbasierte Instandhaltung dar. Die umfangreiche Sensorik an Gasmotoren erfasst eine Vielzahl von Motordaten im laufenden Betrieb. Der Verschleiß eines Bauteils kann in vielen Fällen durch bestimmte Kennwerte erfasst werden. Anstatt der bisher verwendeten Betriebsstunden als bestimmender Faktor der Wartung werden andere Größen verwendet, um den Zeitpunkt der Wartung zu prognostizieren. Die zustandsbasierte Instandhaltung bietet Ver-

¹⁶⁵ Eigene Darstellung

besserungen in vielen Belangen. Die Schonung von Ressourcen und die gezielte Wartung von Verschleißteilen stellen nur zwei bedeutende Punkte dar. Der Bedarf an Ersatzteilen, welcher durch ungeplante Wartungen entsteht kann dadurch reduziert werden. Auf dieser Weise bewirkt die Erweiterung dieses neu entwickelten Prognoseverfahrens eine weitere Steigerung der Genauigkeit der Ersatzteilprognose.

13 Fazit und Ausblick

Durch die Entwicklung eines neuartigen Prognoseverfahrens können erhebliche Verbesserungen in der Bedarfsermittlung von Bauteilen erzielt werden. Das hat zur Folge, dass sowohl die Verfügbarkeit von Ersatzteilen erhöht wird, als auch der Lagerbestand reduziert werden kann. Der Prognoseprozess ermöglicht es, den Zeitbedarf zur Erstellung der Bedarfsprognose erheblich zu senken. Das gelingt durch eine Massenauswertung der Prognose über alle Ersatzteile.

Die im Zuge der Arbeit durchgeführte Ersatzteilklassifizierung findet in mehreren Bereichen Anwendung. Sie ermöglicht es, die Ressourcen bei der Erstellung von Prognosen gezielt einzusetzen. Der optimierte Prognoseprozess wurde anhand einer, durch die Klassifizierung definierten Teilegruppe validiert.

Durch die Ersatzteilbestimmung anhand deterministischer Bedarfsermittlung sind darüber hinaus weitere Vorteile gegeben. Ersatzteilbedarfe können geographisch exakt zugeordnet werden. Es ist möglich, vorhandene Distributionsstandorte gezielt mit Ersatzteilen zu versorgen. In weiterer Folge kann aus diesem Zusammenhang eine Analyse zur weiteren Optimierung der Distributionslogistik erfolgen. Da der Standort der Fertigung eines Ersatzteiles sowie der Standort der Anlage, der das Ersatzteil benötigt, bekannt ist, können auch die Transportwege optimiert werden.

Die Analyse von bestehenden Prognoseverfahren hat ergeben, dass bereits Methoden wie beispielsweise der gleitende Mittelwert eine Reduktion der Prognosefehler bewirken. Das liegt in erster Linie daran, dass beim bestehenden Prognoseprozess der prognostizierte Bedarf nahezu ausschließlich als konstant betrachtet wird. Aufgrund des großen Potenzials des neu entwickelten Prognoseprozesses wird dessen Weiterentwicklung als zukünftiges Bedarfsermittlungsverfahren vorangetrieben.

Das optimierte Prognoseverfahren bahnt den Weg, um das Instandhaltungskonzept von präventiver zu zustandsbasierter Instandhaltung hin zu entwickeln. Das gelingt mit gemessenen dynamischen Kenndaten eines Motors, welche anstatt der Betriebsstunden zur Prognose der Wartungen herangezogen werden. Dadurch ist es auch besser möglich, die Ressourcen gezielt und umweltschonend einzusetzen.

14 Literaturverzeichnis

Baumbach, M.: After-Sales-Management im Maschinen- und Anlagenbau, Dissertation, Transfer Verlag, Regensburg, 1998

Baumbach, M., Stampfl, A.T.: After Sales Management, Marketing-Logistik-Organisation, Hanser Verlag, München, 2002

Baune, R., Westphal, T.: Optimierte Ersatzteillogistik durch Forecasting und flexibles Kapazitätsmanagement, in Barkawi, K., Baader, A., Montanus, S.: Erfolgreich mit After Sales Service, Geschäftsstrategien für Servicemanagement und Ersatzteillogistik, S.237-249, Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2006

Biedermann, H.: Ersatzteilmanagement: Effiziente Ersatzteillogistik für Industrieunternehmen, 2. erweiterte und aktualisierte Auflage, Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2008

Buttler, G., Oeckler, K.: Einführung in die Statistik, Rowohlt's Enzyklopädie, 2010

Deutsches Institut für Normung: DIN 199-1:2002-03, CAD-Modelle, Zeichnungen und Stücklisten, Teil 1: Begriffe, Berlin, 2002

Deutsches Institut für Normung: DIN EN ISO 9000:2015-11, Qualitätsmanagementsysteme – Grundlagen und Begriffe, Berlin, 2015

Deutsches Institut für Normung: DIN 24420 Teil 1: 1976-09, Ersatzteillisten, Allgemeines, Berlin, 1976

Deutsches Institut für Normung: DIN 31051:2012-09, Grundlagen der Instandhaltung, Berlin, 2012

Engelhardt, H., Günter, B.: Investitionsgüter-Marketing: Analgen, Einzelaggregate, Teile, Roh- u. Einsatzstoffe, Energieträger, Kohlhammer Verlag, Stuttgart, Berlin, Köln, 1981

Fahrmeier, L., Heumann, C., Künstler, R., Pigeot, I., Tutz, G.: Statistik, Der Weg zur Datenanalyse, 8. Auflage, Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2016

Füermann, T., Dammasch, C.: Prozessmanagement, Anleitung zur ständigen Prozessverbesserung, 3. Auflage, Hanser Verlag, München, 2008

Hartmann, H.: Materialwirtschaft: Organisation, Planung, Durchführung, Kontrolle, 8. Auflage, Deutscher Betriebswirte Verlag, Gernsbach, 2002

Hedderich, J., Sachs, L.: Angewandte Statistik, Methodensammlung mit R, 15. Auflage, Springer Spektrum, Berlin Heidelberg, 2016

Hesseler, M., Görtz, M.: Basiswissen ERP-Systeme: Auswahl, Einführung & Einsatz betriebswirtschaftlicher Standardsoftware, W3L-Verlag, Herdecke, 2008

Hug, W.: Optimale Ersatzteilwirtschaft, Ein Beitrag zum technisch-wirtschaftlichen Beständecontrolling, Verlag TÜV Rheinland, Köln, 1986

Krengel, U.: Einführung in die Wahrscheinlichkeitstheorie und Statistik, 8. Auflage, Springer Verlag, Wiesbaden, 2005

Makridakis, S.G., Wheelwright, S.C., Hyndman, R.J.: Forecasting- Methods and Applications, 3. Auflage, Wiley-Verlag, New York, 1998

Mertens, P.: Prognoserechnung, Physica Verlag, Würzburg, Wien, 1973

Meyer, L.: Ersatzteillogistische Unterstützung des Instandhaltungsprozesses durch Methoden der bedarfsgerechten Planung und kostenoptimalen Bereitstellung von Instandhaltungsmaterialien, Wissenschaftliche Schriftenreihe IBF, Chemnitz, 1996

Müller, H.: Service-Marketing, Service-Kompetenz als unternehmerischer Faktor, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New-York, 1995

Nyhuis, P., Wiendahl, H.-P.: Logistische Kennlinien, Grundlagen, Werkzeuge und Anwendungen, 3. Auflage, Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2012

Palm, W.: Die Instandhaltung von Maschinen und maschinellen Anlagen im Industriebetrieb, Fischer Verlag, Frankfurt/Main, 1981

Pawellek, G.: Integrierte Instandhaltung und Ersatzteillogistik, Vorgehensweisen, Methoden, Tools, 2. Auflage, Springer Verlag, Hamburg, 2016

Rashid, T.: Neuronale Netze selbst programmieren, Ein verständlicher Einstieg mit Python, dpunkt Verlag, Heidelberg, 2017

REFA Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e.V.: Methodenlehre der Planung und Steuerung, Teil 1, Carl Hanser Verlag, München, 1985

Rinne, H.: Taschenbuch der Statistik, 4. Auflage, Verlag Harri Deutsch, Frankfurt am Main, 2008

Schmidhofer, R.: Entwicklung von Ersatzteilpaketen für Gasmotoren: Konzeption von Ersatzteilpaketen für planmäßige Wartungen ausgesuchter Baureihen eines Maschinen- und Anlagenherstellers, Diplomarbeit, Innsbruck, 2016

Schönsleben, P.: Integrales Logistikmanagement, Operations und Supply Chain Management innerhalb des Unternehmens und unternehmensübergreifend, 6. Auflage, Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2011

Schuh, G., Stich, V., Wienholdt, H.: Ersatzteillogistik in Schuh, G., Stich, V.: Logistikmanagement, Handbuch Produktion und Management 6, S.165-208, 2. Auflage, Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2013

Schuppert, F.: Strategische Optionen für Anbieter auf Ersatzteilmärkten, Deutscher Universitätsverlag, Wiesbaden, 1994

Strunz, M.: Instandhaltung, Grundlagen, Strategien, Werkstätten, Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2012

Traeger, M., Eberhart A., Geldner G., Morin, A.M., Putzke, C., Wulf, H., Eberhart, L.H.J.: Künstliche neuronale Netze, Theorie und Anwendungen in der Anästhesie, Intensiv- und Notfallmedizin, Springer Verlag, Heidelberg, 2003

Vogel, J.: Prognose von Zeitreihen, Eine Einführung für Wirtschaftswissenschaftler, Springer Gabler Verlag, Wiesbaden, 2015

Wannenwetsch, H.: Integrierte Materialwirtschaft, Logistik und Beschaffung, 5. Auflage, Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2014

Wappis, J., Jung, B.: Null Fehler Management, Umsetzung von Six Sigma, 5. überarbeitete Auflage, Hanser Verlag, München, 2016

Andere Quellen:

Fraunhofer Austria Research GmbH (FhA), internes Dokument, 2018

GE Annual Report, 2017

GE Jenbacher GmbH Co & OG, interne Datenquelle, 2018

GE Unternehmenspräsentation, interne Datenquelle, 2016

Impuls: Impuls for Management, Den Serviceerfolg planen, steuern, messen, Ein Leitfaden für die Investitionsgüterindustrie, Studie, Pullach, 2012

MTU Onsite Energy: Kraftwerke mit Gasmotoren in Kombination mit erneuerbaren Energien, 2017

Riester, Schmidhofer Vortrag: Ersatzteilbedarfsprognose mittels Methoden der künstlichen Intelligenz, Ersatzteiltagung Linz, 06.03.2018

15 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1: Aufbau der Arbeit.....	4
Abbildung 2.1: Zeitschema zur Fehlerbeurteilung	6
Abbildung 2.2: Entwicklung vom reinen Produkthersteller zum Komplett-Dienstleister	7
Abbildung 2.3: Unterteilung der Instandhaltung.....	8
Abbildung 2.4: Zusammenhang zwischen Instandhaltungsintensität und Kosten.....	9
Abbildung 2.5: Lebenszyklus von Primärprodukt und Ersatzteil	10
Abbildung 2.6: Perspektiven der Ersatzteillogistik	12
Abbildung 2.7: Ausfallrate einer komplexen Ausfallverteilung: Badewannenkurve	12
Abbildung 2.8: übliche Nachfragemodelle	13
Abbildung 2.9: Schema einer Vorhersage	17
Abbildung 2.10: Aufbau eines Neurons	18
Abbildung 2.11: Stufenfunktion.....	19
Abbildung 2.12: Sigmoidfunktion	19
Abbildung 2.13: Verbundene Neuronen	20
Abbildung 2.14: mehrschichtiges Modell eines <i>KNN</i>	20
Abbildung 2.15: mehrschichtiges Modell eines <i>KNN</i> mit Gewichtsfunktionen	21
Abbildung 2.16: Struktur-Stückliste.....	23
Abbildung 2.17: Pareto-Analyse	24
Abbildung 3.1: Beispiel für eine Zeitreihe	26
Abbildung 3.2: Beispiel für eine Zeitreihe mit glatter Komponente	29
Abbildung 3.3: Darstellung der saisonalen Komponente	30
Abbildung 3.4: Darstellung der irregulären Komponente	31
Abbildung 3.5: Vorhersage einer Zeitreihe mit dem Holt-Winters-Verfahren	33
Abbildung 3.6: Darstellung des gleitenden Mittelwerts	34
Abbildung 3.7: Darstellung des gewichteten gleitenden Mittelwerts	34
Abbildung 3.8: Darstellung der Methode des exponentiellen Glättens 1. Ordnung....	35
Abbildung 3.9: Darstellung der Methode des exponentiellen Glättens 2. Ordnung....	36
Abbildung 4.1: Methoden der Bedarfsermittlung.....	39
Abbildung 5.1: Klassifizierung von Ersatzteilen nach ihrer Herkunft.....	43
Abbildung 5.2: ABC-Klassifizierung	45
Abbildung 5.3: XYZ-Klassifizierung	46
Abbildung 6.1: Darstellung von Haupt- und Teilprozessen	48
Abbildung 6.2: Prozessmodell	49
Abbildung 6.3: SIPOC Prozessdarstellung	50
Abbildung 6.4: Symbole nach DIN 66001	51
Abbildung 6.5: Flussdiagramm für abteilungsübergreifende Prozesse	52
Abbildung 7.1: Anwendungsgebiete der Motoren	54
Abbildung 7.2: Produktportfolio <i>Jenbacher Gasmotoren</i>	55

Abbildung 7.3: Benutzeroberfläche Service Package Configurator	57
Abbildung 7.4: After Sales Service von <i>Jenbacher Gasmotoren</i>	58
Abbildung 8.1: IST-Prognose Prozess.....	62
Abbildung 8.2: Dokumentierte Zeitpunkte der Auftragsabwicklung bei Teileverfügbarkeit.....	64
Abbildung 8.3: Dokumentierte Zeitpunkte der Auftragsabwicklung, wenn Teile nicht verfügbar sind.....	65
Abbildung 9.1: ABC-Analyse Bedarf.....	70
Abbildung 9.2: ABC-Analyse Lagerwert	71
Abbildung 9.3: XYZ Analyse MAPE.....	73
Abbildung 9.4: XYZ-Analyse VK.....	74
Abbildung 10.1: Konzept des SPC-Prognoseprozesses.....	79
Abbildung 10.2: SOLL-Prognose Prozess	80
Abbildung 10.3: Funktionsschema SPC	81
Abbildung 10.4: Funktionsschema Prognose der Betriebsstunden	82
Abbildung 10.5: Schema <i>KNN</i> für die Profilprognose	83
Abbildung 10.6: Betriebsstundenprognose für CSA-Motoren	84
Abbildung 10.7: Prognose der Betriebsstunden für einen Beispielmotor.....	85
Abbildung 10.8: Vergleich des IST- und SOLL-Prozesses	87
Abbildung 10.9: Prognose des Ersatzteilbedarfes für einen Beispiel-Kolben	88
Abbildung 10.10: Vergleich mit dem Holt-Winters-Verfahren für das Beispiel Kolben	89
Abbildung 10.11: Vergleich mit dem gleitenden Mittelwert für das Beispiel Kolben...89	
Abbildung 10.12: Vergleich mit der exp. Glättung 1.O. für das Beispiel Kolben	90
Abbildung 10.13: Vergleich mit der exp. Glättung 2.O. für das Beispiel Kolben	90
Abbildung 12.1: Maßnahmenplan.....	93

16 Tabellenverzeichnis

Tabelle 5.1: ABC-Klassifizierung	44
Tabelle 5.2: XYZ-Klassifizierung.....	45
Tabelle 8.1: Planer-Gruppen	61
Tabelle 8.2: Servicegrad und z-Wert	66
Tabelle 9.1: ABC (Bedarf).....	69
Tabelle 9.2: ABC (Lagerwert)	70
Tabelle 9.3: Ergebnis ABC (Bedarf) – ABC (Lagerwert).....	72
Tabelle 9.4: XYZ (MAPE)	72
Tabelle 9.5: XYZ (VK).....	73
Tabelle 9.6: Ergebnis ABC (Bedarf) / XYZ (MAPE)	75
Tabelle 9.7: Ergebnis ABC(Lagerwert) /XYZ(MAPE).....	76
Tabelle 9.8: A(Lagerwert) / Z(MAPE)- Teile.....	77
Tabelle 10.1: Beispiel für das Ergebnis der Ersatzteilprognose für einen ausgewählten Ersatzteil.....	86

17 Abkürzungsverzeichnis

bzw.	beziehungsweise
CM&Us	conversions, modifications and upgrades (Konvertierungen, Änderungen und Modernisierung)
CSA	contractual service agreement
CSV	comma-separated values (Dateiformat)
d.h.	das heißt
DIN	Deutsches Institut für Normung
€	Euro
Ebd.	ebenda
EBIT	earnings before interests and taxes (Gewinn vor Zinsen und Steuern)
EBOM	Engineering Bill of Material
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
EN	Europäische Norm
et al.	und andere
etc.	et cetera
exp.	exponentiell
Fa.	Firma
FhA	Fraunhofer Austria Research GmbH
FTP	file transfer protocol (Dateiübertragungsprotokoll)
GE	General Electric
IB	Installed Base
i.F.	Im Folgenden
ISO	International Organization for Standardization
K	Stückkosten
KNN	künstliches neuronales Netz
LT	lead time (Lieferzeit)
MAPE	mean absolute percentage error (mittlerer absoluter prozentualer Fehler)
MBOM	Manufacturing Bill of Material
MQF	mittlerer quadratischer Fehler
MSA	Material Stream Agreement
MTO	make to order
MTS	make to stock
Nr.	Nummer
O.	Ordnung
OLS	ordinary least squares (kleinstes Quadrat)

oph	Operating hours (Betriebsstunden)
PLM	Product Lifecycle Management
%	Prozent
REFA	Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung
SBOM	Service Bill of Material
SPC	Service Package Configurator
SQL	structured query language (strukturierte Abfragesprache)
Vgl.	vergleiche
VK	Variationskoeffizient
z.B.	zum Beispiel