

Felix Optehostert

Kostenprognose von Instandhaltungsleistungen parallel zur Produktentwicklung



Herausgeber:
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Günther Schuh

Kostenprognose von Instandhaltungsleistungen parallel zur Produktentwicklung

Cost Prognosis of Maintenance Services parallel to Product Development

Von der Fakultät für Maschinenwesen
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen
zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Ingenieurwissenschaften
genehmigte Dissertation

vorgelegt von

Felix Optehostert

Berichter:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.Ing. Günther Schuh
Außerplanmäßiger Prof. Dr.-Ing. Volker Stich

Tag der mündlichen Prüfung: 30. Januar 2020

SCHRIFTENREIHE RATIONALISIERUNG

Felix Optehostert

Kostenprognose von Instandhaltungsleistungen
parallel zur Produktentwicklung

Herausgeber:

Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. G. Schuh

Band 166

fir  an der
RWTH Aachen

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <https://portal.dnb.de> abrufbar.

Felix Optehostert:

Kostenprognose von Instandhaltungsleistungen parallel zur Produktentwicklung

1. Auflage, 2020

Apprimus Verlag, Aachen, 2020

Wissenschaftsverlag des Instituts für Industriekommunikation und Fachmedien
an der RWTH Aachen

Steinbachstr. 25, 52074 Aachen

Internet: www.apprimus-verlag.de, E-Mail: info@apprimus-verlag.de

ISBN 978-3-86359-841-9

Vorwort

Diese Arbeit entstand während meiner Tätigkeit am FIR an der RWTH Aachen im Bereich Dienstleistungsmanagement. Mein erster Dank gilt meinem Doktorvater Herrn Professor Günther Schuh, Direktor des FIR. Durch sein Vertrauen in mich und seine Unterstützung hat er die erfolgreiche Realisierung des Promotionsvorhabens ermöglicht. Das von ihm geschaffene Umfeld zusammen mit dem Hochleistungsanspruch haben meine Person nachhaltig geprägt. Herrn Professor Volker Stich, Geschäftsführer des FIR, danke ich ebenfalls für seine Unterstützung und die Übernahme des Ko-referats. Außerdem möchte ich mich bei Herrn Professor Dirk Abel für die Übernahme des Vorsitzes sowie bei Herrn Professor Burkhard Corves für die Übernahme des Beisitzes in der Prüfungskommission bedanken.

Besonders herzlich danke ich meinen Kollegen und Freunden am FIR für die wertvolle Unterstützung sowie freundschaftliche Zusammenarbeit in den letzten Jahren. Die in zahlreichen gemeinsamen Industrie- und Forschungsprojekten gewonnenen Erfahrungen sowie der Austausch im Rahmen unzähliger Diskussionen haben wesentlich zum Gelingen meines Promotionsvorhabens beigetragen. Herrn Dr. Philipp Jussen gilt in diesem Zuge besonderer Dank, der mich bei der Themen- und Lösungsfindung durch den wertvollen Austausch und eine intensive Betreuung unterstützt hat. Geprägt wurde meine Zeit am Institut vor allem durch Herrn Dr. Tobias Harland, Herrn Dr. Marco Husmann, Herrn Dr. Dominik Kolz, Herrn Jan Kuntz, Herrn Dr. Maximilian Lukas, Herrn Benedikt Moser sowie Herrn Simon Wieninger. Ihnen möchte ich für die tolle gemeinsame Zeit danken. Dank gilt darüber hinaus meinen studentischen Mitarbeitern und Abschlussarbeitern, die mich stets unterstützt haben. Besonders hervorheben möchte ich an dieser Stelle Daniela Müller und Peter Schrader.

Weiterhin gilt mein Dank Herrn Bernhard Steinel, dessen wertvoller Input in vielen Diskussionen ebenfalls zum Gelingen meines Promotionsvorhabens beigetragen hat. Unsere gemeinsame Zeit im After-Sales der e.GO Mobile AG war lehrreich und spannend.

Meiner Mutter danke ich für den herzlichen Zuspruch und die bedingungslose Förderung, durch die meine Promotion erst möglich geworden ist.

Mein größter Dank gilt meiner wundervollen Felicia Kufferath-Kassner. Ihre uneingeschränkte Unterstützung half mir, die Dissertationsschrift zu verfeinern. Auf ihren Zuspruch konnte ich mich in allen Vorhaben immer verlassen. Danke für die Ermutigung und den liebevollen Rückhalt!

Meiner Familie und meiner Felicia widme ich diese Arbeit.

Zusammenfassung

Der deutsche Maschinenbau vollzieht einen Wandel vom reinen Produzenten zum Lösungsanbieter. Durch neue Leistungsangebote, wie Full-Service-Verträge und Verfügbarkeitsgarantien, ändert sich die Geschäftsbeziehung zwischen Kunde und Hersteller grundlegend. Teile der Lebenszykluskosten werden damit auf den Hersteller übertragen. Der Maschinenbau muss mit diesen finanziellen Risiken kalkulieren können. Jedoch werden bereits in der Produktentwicklung die Lebenszykluskosten bis zu einem Wert zwischen 70 und 90 Prozent festgelegt. Damit die Instandhaltungskosten effektiv beeinflusst werden können, müssen sie bereits in den frühen Entwicklungsphasen prognostiziert werden. Dies ist allerdings problematisch. Die notwendigen Kosteninformationen sind oft nicht in der geeigneten Form erfasst oder gar nicht verfügbar. Liegen die benötigten Informationen vor, sind sie mit Unsicherheiten behaftet, vor allem in frühen Entwicklungsphasen. Best-Guess-Schätzungen, die als präzise angenommen werden, sind daher bei der Prognose der Instandhaltungskosten üblich. Damit kann keine Transparenz über die Unsicherheit für eine fundierte Kostenbeeinflussung geschaffen werden.

Das Ziel der Arbeit besteht darin, Unternehmen zu befähigen, während der Produktentwicklung mit unterschiedlichen Informationsständen eine Prognose der zu erwartenden Instandhaltungskosten durchzuführen und auf Basis informatorischer Unsicherheiten Handlungsempfehlungen zur Kostenreduktion abzuleiten.

Die Methodik ist in eine Basis- und Anwendungsphase gegliedert. Im ersten Schritt der Basisphase wird die Kalkulationsstruktur erstellt. Dazu werden die Abgrenzungsmerkmale der Kalkulation definiert und ein Produktmodell gebildet. Das Produktmodell ermöglicht eine verursachungsgerechte Zuordnung der Instandhaltungskosten. Darauf folgend wird die notwendige Informationsbasis für die Kostenprognose erarbeitet. In der anschließenden Anwendungsphase erfolgt die eigentliche Kostenprognose. Es werden je nach Informationsverfügbarkeit Methoden zur Kostenprognose ausgewählt und angewendet. Die Unsicherheit der Prognoseergebnisse wird mittels Variationskoeffizienten bewertet. Dazu wird jeder Informationsquelle eine prozentuale Abweichung zugeordnet, die die Unsicherheit der Informationen beschreibt. Sämtliche Ergebnisse werden in eine einheitliche Darstellung überführt, die bei der Entscheidungsfindung unterstützt und eine weitere Präzisierung der Kosten ermöglicht. Im letzten Schritt erfolgt die Ableitung von Gestaltungsmaßnahmen. Auf Basis einer Zielkostenanalyse wird der Bedarf zur Kostensenkung identifiziert. Für diesen werden Maßnahmen definiert und auf Basis ihrer Änderungskosten bewertet.

Die Methodik leistet einen wichtigen Beitrag zum wirtschaftlichen Angebot von verfügbarkeits- und ergebnisorientierten Geschäftsmodellen durch den Maschinenbau. Die Kostenprognose der Instandhaltungskosten sowie die Bewertung ihrer Ungenauigkeit mittels Abweichungen gewährleisten eine fundierte Ableitung von Gestaltungsempfehlungen zur Senkung von Instandhaltungskosten während der Produktentwicklung.

Summary

The German mechanical engineering industry is undergoing a transformation from being a sole producer to becoming a solution provider. New service offerings, such as full-service contracts and availability guarantees, are fundamentally changing the business relationship between customer and manufacturer. Parts of the life cycle costs are thus transferred to the manufacturer. Manufacturers must be able to calculate with these financial risks. 70 to 90 % of the life cycle costs are already determined in product development. In order to influence maintenance costs effectively, they must be predicted in the early development phases. However, this is problematic. The necessary information is often not recorded in the appropriate form or is not available at all. If the required information is available, it is often fraught with uncertainties, especially in early development phases. Best guess estimates, which are assumed to be precise, are therefore common when forecasting maintenance costs. This does not create transparency regarding the informational uncertainty for a well-founded cost influence.

The aim of this dissertation is to enable companies to carry out a prognosis of the maintenance costs, which are to be expected during product development, at different information levels and to derive recommendations for actions to reduce costs based on information uncertainties.

The methodology is divided into a basic and an implementation phase. In the first step of the basic phase, the costing structure is created. For this purpose, the delimitation characteristics of the calculation are defined and a product model is created. The product model enables a cause-related allocation of the maintenance costs. Subsequently, the necessary information basis for the cost prognosis is compiled. In the following application phase, the actual cost prognosis is made. Depending on the availability of information, cost prognosis methods are selected and applied. The uncertainty of the prognosis results is evaluated by means of coefficients of variation. For this purpose, each source of information is assigned a percentage deviation describing the uncertainty of the information. All results are transformed into a standardised display, which supports the decision-making process and allows a further specification of the costs. The last step is the derivation of design measures. On the basis of a target cost analysis, the need for cost reduction is identified. For this, measures are defined and evaluated on the basis of their alteration costs.

The methodology makes an important contribution to the economic offer of availability and result-oriented business models by machine manufacturers. The cost prognosis of the maintenance costs as well as the evaluation of their inaccuracy by means of deviations guarantee a sound deduction of design recommendations for the reduction of maintenance costs during product development.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Ausgangssituation und Problemstellung	1
1.2	Zielsetzung und Forschungsfrage	3
1.3	Wissenschaftstheoretische Einordnung der Arbeit	5
1.4	Aufbau der Arbeit	9
2	Grundlagen und Eingrenzung des Untersuchungsbereichs	13
2.1	Instandhaltungsleistungen	13
2.2	Kostenprognose	19
2.2.1	Kostentheorie und Verfahren zur Kostenprognose	19
2.2.2	Entwicklungsbegleitende Kostenprognose	21
2.2.3	Kostenprognose von Instandhaltungsleistungen	23
2.3	Produktentwicklungsprozess	26
2.3.1	Vorgehen in der Produktentwicklung	26
2.3.2	Unsicherheit und unvollkommene Information	29
2.4	Einordnung der Arbeit	32
2.4.1	Einordnung in die Managementlehre	32
2.4.2	Einordnung in die Dienstleistungsforschung	34
3	Bewertung bestehender Methodiken	37
3.1	Anforderungen an die Methodik	37
3.1.1	Kontextbezogene Anforderungen	37
3.1.2	Branchenbezogene Anforderung	39
3.2	Vorstellung existierender Methodiken	40
3.2.1	<i>Estimating Cost during Development Process</i> (CHWASTYK U. KOLOSOWSKI)	41
3.2.2	Preisgestaltung von Full-Service-Verträgen (DOMBROWSKI)	42
3.2.3	<i>Cost Uncertainty Analysis</i> (ESTRADA U. ROMERO)	44
3.2.4	Frühzeitige Vorhersage von Produktentstehungskosten (HERBST)	45
3.2.5	IT-gestütztes Kosteninformationssystem (KONARSKY)	47
3.2.6	Lebenszykluskosten-Baukasten (MÜLLER)	48
3.2.7	<i>Life Cycle Costing</i> (SAKAO U. LINDAHL)	50
3.2.8	Bewertung auf Basis unscharfer Größen (SCHNEIDER)	51
3.2.9	Entwicklungintegrierte Kalkulation (TRENDER)	53
3.2.10	<i>Cost estimation method</i> (ZHU)	55
3.2.11	<i>Life Cycle Cost Estimation</i> (ZWICKER ET AL.)	56
3.3	Bewertung existierender Methodiken	57
4	Konzeption der Methodik	63
4.1	Grundlagen der Systemtechnik und Modellierung	63
4.1.1	Systemtechnik	63

4.1.2	Modellierung.....	64
4.1.3	Nutzung von Systemtechnik und Modelltheorie zur Methodikentwicklung.....	65
4.2	Ordnungsrahmen für die Methodik.....	66
4.2.1	Zusammenhang der Phasen der untersuchten Methodiken.....	67
4.2.2	Die fünf Phasen der entwicklungsbegleitenden Kostenprognose als Ordnungsrahmen.....	68
4.3	Grobkonzept der Methodik.....	69
4.3.1	Konzeption der Basisphase der Methodik.....	70
4.3.2	Konzeption der Anwendungsphase der Methodik.....	72
4.4	Zwischenfazit.....	76
5	Detaillierung der Methodik.....	79
5.1	Detaillierung der Basisphase.....	80
5.1.1	Schritt A: Aufbau der Kalkulationsstruktur.....	80
5.1.2	Schritt B: Schaffung einer Informationsbasis.....	85
5.2	Detaillierung der Anwendungsphase.....	91
5.2.1	Schritt C: Anwendung der Methoden zur Kostenprognose.....	91
5.2.2	Schritt C1: Anwendung der Methoden zur Kostenprognose – Planung.....	100
5.2.3	Schritt C2: Anwendung der Methoden zur Kostenprognose – Konzeption.....	105
5.2.4	Schritt C3 und C4: Anwendung der Methoden zur Kostenprognose – Entwurf und Ausarbeitung.....	112
5.2.5	Schritt D: Ergebnisdarstellung.....	123
5.2.6	Schritt E: Ableitung von Gestaltungsmaßnahmen.....	131
5.3	Integration der Methodikbausteine.....	145
6	Fallbeispiel und kritische Reflexion.....	149
6.1	Ausgangssituation der <i>BezahlbareElektromobilität GmbH</i>	149
6.2	Anwendung der Methodik.....	150
6.2.1	Iteration 1 – Kostenprognose in der Planungsphase.....	150
6.2.2	Iteration 2 – Kostenprognose in der Entwurfsphase.....	156
6.2.3	Iteration 3 – Kostenprognose in der Ausarbeitungsphase.....	164
6.3	Kritische Reflexion und Anwendungserfahrung.....	173
7	Zusammenfassung und Ausblick.....	177
8	Literaturverzeichnis.....	183
9	Anhang.....	203
9.1	Iteration 1 in der Planungsphase.....	203
9.2	Iteration 2 in der Entwurfsphase.....	205
9.3	Iteration 3 in der Ausarbeitungsphase.....	209

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1: Kostendefinition im Entwicklungsprozess (i. A. a. STÖBER 1999, S. 84).....	2
Abbildung 1.2: Wissenschaftssystematik (s. ULRICH U. HILL 1976a, S. 305).....	6
Abbildung 1.3: Forschungsmethodologisches Vorgehen (s. TOMCZAK 1992, S. 84; KUBICEK 1976, S. 14; KUHLMANN 2013, S. 7).....	8
Abbildung 1.4: Heuristischer Bezugsrahmen.....	9
Abbildung 1.5: Aufbau der Arbeit (vgl. ULRICH U. FLURI 1984, S. 192).....	10
Abbildung 2.1: Idealtypischer Instandhaltungsprozess nach TSANG ET AL. (s. TSANG ET AL. 1999, S. 694).....	16
Abbildung 2.2: Kostenrechnerische Probleme bei industriellen Dienstleistungen (i. A. a. WASMUTH 2009, S. 96).....	17
Abbildung 2.3: Dienstleistungsspezifische Anforderungen an die Kostenermittlung (s. WASMUTH 2009, S. 99).....	19
Abbildung 2.4: Die Teilgebiete der Kostenlehre (i. A. a. WASMUTH 2009, S. 53).....	20
Abbildung 2.5: Kostenentstehung und Kostenbeeinflussung im Produktlebenslauf (i. A. a. EHRENSPIEL ET AL. 2014, S. 13).....	21
Abbildung 2.6: Vergleich von klassischen und zielkostenorientierten Vorgehen bei der Produktentwicklung (i. A. a. EHRENSPIEL ET AL. 2014, S. 53).....	22
Abbildung 2.7: Direkte und indirekte Instandhaltungskosten (LORENZ 2011, S. 39).....	24
Abbildung 2.8: Methoden zur Planung von Instandhaltungskosten (eigene Darstellung, Inhalte s. MÄNNEL U. BLOß 1992, S. 509ff.).....	25
Abbildung 2.9: Vorgehensmodell in der Produktentwicklung (i. A. a. VDI 2221, S. 9).....	27
Abbildung 2.10: Dimensionen des Unsicherheitsbegriffs (s. KAUFMANN 1973, S. 50ff.).....	30
Abbildung 2.11: Ursachen von Unsicherheit (s. DERICHS 1997, S. 41).....	30
Abbildung 2.12: Konzept Integriertes Management sowie die Einordnung des Dissertationsvorhabens (i. A. a. BLEICHER 2017, S. 159).....	33
Abbildung 2.13: Einordnung des Dissertationsvorhabens in die Dienstleistungsforschung (i. A. a. FABRY 2014, S. 23).....	35
Abbildung 3.1: Anforderungen an eine Methodik zur Kostenprognose von Instandhaltungsleistungen parallel zur Produktentwicklung (eigene Darstellung)	40

Abbildung 3.2: Kostenermittlung während der Produktentwicklung (s. CHWASTYK U. KOLOSOWSKI 2014, S. 354)	41
Abbildung 3.3: Vorgehen zur risikobasierten Preisgestaltung von Full-Service-Verträgen (s. DOMBROWSKI ET AL. 2017, S. 749)	43
Abbildung 3.4: Methode zur Ermittlung der Kostenwahrscheinlichkeit von PSS (s. ESTRADA U. ROMERO 2016, S. 86)	44
Abbildung 3.5: Modell zur Prognose von Produktentstehungskosten (s. HERBST 2014, S. 86).....	45
Abbildung 3.6: Aufbau und Struktur des IT-gestützten Kosteninformationssystems (i. A. a. KONARSKY 2017, S. 78).....	47
Abbildung 3.7: Modularer Lebenszyklus-Baukasten (s. MÜLLER ET AL. 2017, S. 503)	49
Abbildung 3.8: <i>Improving Integrated Service Offerings based on Life Cycle Costing</i> (i. A. a. SAKAO U. LINDAHL 2015, S. 34)	50
Abbildung 3.9: Methodenbausteine zur Bewertung von Produktvarianten parallel zur Produktentwicklung (s. SCHNEIDER 2009, S. 73)	52
Abbildung 3.10: Verbindung von Produkt- und Prozessmodell (s. TRENDER 2000, S. 83).....	54
Abbildung 3.11: Vorgehensmodell zur Ermittlung der Produktkosten parallel zur Entwicklung (s. ZHU ET AL. 2016, S. 1297)	55
Abbildung 3.12: Bewertung existierender Methodiken.....	58
Abbildung 4.1: Methodik, als Bündel von Modellen, Methoden und Hilfsmitteln (i. A. a. HEYN 1999, S. 6)	66
Abbildung 4.2: Vergleich der Phasen zur Kostenprognose (eigene Darstellung)	67
Abbildung 4.3: Ableitung der Phasen zur Kostenprognose als Ordnungsrahmen (eigene Darstellung)	68
Abbildung 4.4: Methodik zur Kostenprognose von Instandhaltungsleistungen parallel zur Produktentwicklung (eigene Darstellung).....	70
Abbildung 4.5: Basisphase Schritt A – Aufbau der Kalkulationsstruktur	71
Abbildung 4.6: Basisphase B – Schaffung einer Informationsbasis	72
Abbildung 4.7: Anwendungsphase Schritt C – Anwendung der Methoden zur Kostenprognose	73
Abbildung 4.8: Ermittlung der Abweichungen der Informationstiefe (eigene Darstellung).....	73
Abbildung 4.9: Anwendungsphase Schritt D – Ergebnisdarstellung (eigene Darstellung)	74

Abbildung 4.10: Anwendungsphase Schritt E – Ableitung von Gestaltungsmaßnahmen (eigene Darstellung)	75
Abbildung 4.11: Gegenüberstellung der Anforderungen an die Methodik und deren Erfüllung (eigene Darstellung)	77
Abbildung 5.1: Methodik zur Kostenprognose von Instandhaltungsleistungen parallel zur Produktentwicklung (eigene Darstellung)	79
Abbildung 5.2: Transformation der baugruppenorientierten Erzeugnisstruktur in die serviceorientierte Erzeugnisstruktur (i. A. a. TRENDER 2000, S. 81).....	81
Abbildung 5.3: Abgrenzungsmerkmale der Kostenprognose am Beispiel eines Elektroautos (eigene Darstellung)	82
Abbildung 5.4: Abhängigkeit des Produktmodells am Entwicklungsfortschritt am Beispiel eines Elektroautos (eigene Darstellung)	84
Abbildung 5.5: Differenzierung Daten, Information und Wissen (i. A. a. NORTH 2016, S. 37)	86
Abbildung 5.6: Informationslage während der Produktentwicklung (eigene Darstellung, Inhalte produktbezogene Informationen: s. VDI 2221 – Blatt 1, S. 18; Inhalte instandhaltungsbezogene Informationen: s. VDI 2246 – Blatt 1, S. 17f.)	89
Abbildung 5.7: Überführung eines ordinalen Skalenniveaus in ein intervallbasiertes Skalenniveau (s. GREFRATH 2015, S. 141).....	91
Abbildung 5.8: Vorgehen zum Aufstellen der funktionalen Zusammenhänge (eigene Darstellung)	95
Abbildung 5.9: Methoden zur Kostenprognose parallel zur Produktentwicklung (eigene Darstellung)	96
Abbildung 5.10: Bewertung der Validität der Kostenprognose (eigene Darstellung)	99
Abbildung 5.11: Merkmale mit beispielhaften Ausprägungen zur Klassifizierung von Objekten in ein Kostenniveau (eigene Darstellung)	103
Abbildung 5.12: Merkmale zur Bestimmung des Instandhaltungsbedarfs mit beispielhaften Ausprägungen (eigene Darstellung)	104
Abbildung 5.13: Modellierung industrieller Dienstleistungen und Zuordnung relevanter Prozesse (i. A. a. HÜBBERS 2013, S. 104).....	114
Abbildung 5.14: Prozesskategorisierung im Service-Blueprinting (i. A. a. SCHWEIKART 1997, S. 198).....	115
Abbildung 5.15: Qualitative Beschreibung von Ressourcen (i. A. a. HÜBBERS 2013, S. 99).....	116

Abbildung 5.16: Abteilungsmodelle zur qualitativen Ressourcenbeschreibung (i. A. a. s. GREFRATH 2015, S. 124).....	117
Abbildung 5.17: Ermittlung der Prozesskosten für einen Auftrag (i. A. a. GREFRATH 2015, S. 138).....	118
Abbildung 5.18: Ermittlung der Leerkosten (i. A. a. GREFRATH 2015, S. 140).....	119
Abbildung 5.19: Prozessmodell (eigene Darstellung).....	121
Abbildung 5.20: Enterprise Dashboard Ausprägungen (s. GLUCHOWSKI ET AL. 2008, S. 218; s. FEW 2006, S. 40).....	123
Abbildung 5.21: Dashboard Kostenprognose am Beispiel eines Elektrofahrzeugs (eigene Darstellung).....	126
Abbildung 5.22: Detaillierung der Kostenprognose zur Erhöhung der Genauigkeit unter Ausnutzung des Verdichtungseffekts (s. NEFF 2002, S. 294)....	130
Abbildung 5.23: Ermittlung der Zielkosten (i. A. a. HORSCH 2018, S. 301; s. TRENDER 2000, S. 133).....	131
Abbildung 5.24: Funktionen-Komponenten-Matrix (s. PLINKE ET AL. 2015, S. 255).....	133
Abbildung 5.25: Maßnahmen der Kapazitätsanpassung und Fremdvergabe (i. A. a. KLINGE 1997, S. 216).....	136
Abbildung 5.26: Gestaltungsansätze zur Kostenreduktion bei der Nichtnutzung von Ressourcen (s. SCHUH 1989, S. 119).....	137
Abbildung 5.27: Maßnahmen zur Prozessoptimierung bei Dienstleistungen (s. FLIEß 2006, S. 169).....	137
Abbildung 5.28: Zielkostenspaltung der Instandhaltungskosten (vgl. PLINKE ET AL. 2015, S. 255).....	139
Abbildung 5.29: Value-Control-Map der Instandhaltungskosten (vgl. PLINKE ET AL. 2015, S. 258ff.; TRENDER 2000, S. 139).....	140
Abbildung 5.30: Maßnahmen zur Reduzierung der Instandhaltungskosten während der Produktentwicklung (vgl. EHRENSPIEL ET AL. 2014, S. 133).....	142
Abbildung 5.31: Bewertung der Maßnahmen zur Kostensenkung am Beispiel Exterieur.....	143
Abbildung 5.32: Methodik zur Kostenprognose von Instandhaltungsleistungen parallel zur Produktentwicklung (eigene Darstellung).....	146
Abbildung 6.1: Erweiterbares Produktmodell der Kostenprognose (eigene Darstellung).....	151
Abbildung 6.2: Informationsverfügbarkeit – Planungsphase.....	152
Abbildung 6.3: Beschreibung des Kostenniveaus der Vergleichsobjekte (eigene Darstellung).....	153

Abbildung 6.4: Quantifizierte Merkmale zur Bewertung des Instandhaltungsbedarfs (eigene Darstellung)	154
Abbildung 6.5: Kostenwerte der ähnlichsten Vergleichsobjekte und des Mark I (vgl. ALLGEMEINER DEUTSCHER AUTOMOBIL-CLUB E. V. 2019).....	155
Abbildung 6.6: Bewertung der Unsicherheit – Planungsphase	155
Abbildung 6.7: Ergebnisdarstellung – Planungsphase (eigene Darstellung)	156
Abbildung 6.8: Produktmodell – Entwurfsphase (eigene Darstellung).....	157
Abbildung 6.9: Informationsverfügbarkeit – Entwurfsphase (eigene Darstellung)...	158
Abbildung 6.10: Zuordnung von Instandhaltungstätigkeiten (eigene Darstellung)..	159
Abbildung 6.11: Kostenprognose mittels Expertenschätzung (eigene Darstellung)	160
Abbildung 6.12: Regressionsrechnung Verschleißreparatur Bremssystem (eigene Darstellung)	161
Abbildung 6.13: Bewertung der Unsicherheit – Entwurfsphase (eigene Darstellung)	162
Abbildung 6.14: Ergebnisdarstellung – Entwurfsphase (eigene Darstellung)	163
Abbildung 6.15: Produktmodell – Ausarbeitungsphase (eigene Darstellung)	164
Abbildung 6.16: Informationsverfügbarkeit – Ausarbeitungsphase (eigene Darstellung)	165
Abbildung 6.17: Prozesskostenrechnung (eigene Darstellung)	166
Abbildung 6.18: Bewertung der Unsicherheit – Ausarbeitungsphase (eigene Darstellung)	167
Abbildung 6.19: Ergebnisdarstellung – Ausarbeitungsphase (eigene Darstellung)	168
Abbildung 6.20: Zielkostenspaltung (eigene Darstellung).....	169
Abbildung 6.21: Zielkostenanalyse (eigene Darstellung).....	170
Abbildung 6.22: Maßnahmenbewertung (eigene Darstellung).....	171
Abbildung 9.1: Merkmalsausprägungen und Kostenwerte der Vergleichsobjekte ..	203
Abbildung 9.2: Merkmalsraum der Ähnlichkeitskalkulation mit den gesamten Kosten des Inspektions- und Verschleißpakets pro Jahr	203
Abbildung 9.3: Merkmalsraum der Ähnlichkeitskalkulation mit den Kosten für Inspektion und Wartung (IW) pro Jahr	204
Abbildung 9.4: Merkmalsraum der Ähnlichkeitskalkulation mit den Verschleißreparaturkosten pro Jahr	204

Abbildung 9.5: Teilepreise und Personalkosten von Vergleichsobjekten als Datenbasis für die Regressionsrechnung.....	205
Abbildung 9.6: Regressionsrechnung für das Bremssystem in der Entwurfsphase.....	207
Abbildung 9.7: Kalkulation der Ergebnisdarstellung für die Entwurfsphase.....	208
Abbildung 9.8: Kalkulation der Ergebnisdarstellung für die Ausarbeitungsphase...	209
Abbildung 9.9: Kostenauswirkungen der Maßnahmen	210
Abbildung 9.10: Auflistung Änderungskosten Maßnahme <i>Auslagerung</i> <i>Sichtprüfungen</i>	211
Abbildung 9.11: Auflistung Änderungskosten Maßnahme <i>Optimierter Zugriff auf</i> <i>Klimaanlage</i>	212

Abkürzungsverzeichnis

CAD	Computer Aided Design
CAQ	Computer Aided Quality
DF	Driver Factor
ERP	Enterprise Resource Planning
EVA	Earned Value Analysis
FMEA	Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse
IH	Instandhaltung
IRM	Referenzmodell für industrielle Dienstleistungen
IPS	Instandhaltungsplanung und -steuerung
IPSO	Integrated Product Service Offerings
LCC	Life Cycle Costing
LEG	Lead Engineering Group
Imi	Leistungsmengeninduziert
Imn	Leistungsmengenneutral
LZK	Lebenszykluskosten
MEM	Methods Energy Measurement
MSS	Management Support Systeme
MTBF	Mean Time between Failure
M-TCO	Maintenance Total Cost of Ownership
MUS	Managementunterstützungssysteme
PDF	Probability of Driver Factor
PEP	Produktentstehungsprozess
PLM	Product-Lifecycle-Management
POS	Point of Sale
PSS	Produkt Service Systeme
RVF	Ressourcenverbrauchsfunktion
SMA	Service Module Assembly
TCO	Total Cost of Ownership
TRIZ	Theorie des erfinderischen Problemlösens
WBS	Work Breakdown Structure

1 Einleitung

Die Bedeutung des Servicegeschäfts für den deutschen Maschinenbau hat in den letzten Jahren stark zugenommen (s. GTAI 2019, S. 8). Die Mehrheit der Unternehmen stuft den Service als einen ihrer zentralen Erfolgsfaktoren im Markt ein, über den sie sich vom Wettbewerb differenzieren können (vgl. PROPRIUS U. STORAI 2019, S. 389). Gleichzeitig leistet der Service zunehmend einen signifikanten Beitrag zu den finanziellen Zielen der Unternehmen. Der Serviceumsatz der Maschinenbauer hat mit steigenden Anteilen am Gesamtumsatz sowohl absolut als auch relativ zugenommen, mit höheren operativen Margen (s. JUSSEN ET AL. 2018, S. 22ff.). Der deutsche Maschinenbau vollzieht dabei einen Wandel vom reinen Produzenten zum Lösungsanbieter (vgl. FRANKEN U. CUTMORE-BEINLICH 2018, S. 58). Er bietet eine Bandbreite von Kundenlösungen an, von Full-Service-Verträgen bis hin zu garantierten Verfügbarkeiten der Maschinen (s. LATZEL ET AL. 2018, S. 6). Erste Hersteller, wie z. B. die Heidelberger Druckmaschinen AG, gehen sogar einen Schritt weiter, indem sie Subskriptionsmodelle im Sinne eines Performance-Based Contractings einführen, und verzeichnen dadurch weitere Zuwächse bei den Auftragseingängen (s. FICHTL 2018, S. 1).

1.1 Ausgangssituation und Problemstellung

Durch diese Leistungsangebote ändert sich die Geschäftsbeziehung zwischen Kunde und Hersteller grundlegend, indem Risiken des Lebenszyklus und damit auch Teile der Lebenszykluskosten auf den Hersteller übertragen werden (s. SCHUH 2018a, S. 317). Es werden bereits in der Produktentwicklung von Maschinen und Anlagen bis zu einem Wert zwischen 70 und 90 Prozent der Lebenszykluskosten festgelegt (s. VLACY 2014, S. 205; VÖLKER ET AL. 2018, S. 2020). Je nach Maschinentyp machen die Instandhaltungskosten einen bedeutenden Teil der Lebenszykluskosten aus (vgl. PAWELLEK 2016, S. 59). Der Hersteller muss mit diesen finanziellen Risiken kalkulieren können, um ein Leistungsangebot zu definieren und dieses für den Markt mit einem Preis zu belegen. Damit die Instandhaltungskosten effektiv beeinflusst werden können, müssen sie aus diesem Grund bereits in den frühen Entwicklungsphasen eines neuen Produkts prognostiziert und gestaltet werden (s. REICHEL ET AL. 2018, S. 136). Nicht frühzeitig erkannte, zu hohe Lebenszyklus- und Instandhaltungskosten ergeben zu teure Produkte, die am Markt, als Bestandteil eines Leistungsangebots, nicht erfolgreich sind (s. NEFF 2002, S. 67; SCHUH ET AL. 2019, S. 296).

Eine Vorhersage und Beeinflussung der Instandhaltungskosten im Laufe der Produktentwicklung ist jedoch nicht ohne weiteres durchzuführen. Dies liegt darin begründet, dass die notwendigen Kosteninformationen oft nicht in der geeigneten Form erfasst sind oder nicht greifbar vorliegen (s. EHRENSPIEL ET AL. 2014, S. 461; vgl. SCHUH ET AL. 2017a, S. 10). Sie sind in mehreren Systemen (z. B. proprietären Anwendungssoftware oder Office-Anwendungen) verstreut und müssen, falls möglich, entsprechend aufwendig beschafft werden (s. SCHUH, JUSSEN, OPTHOSTERT 2019, S. 490). Liegen die benötigten Informationen vor, sind sie, vor allem in frühen Entwicklungsphasen, oft

nicht präzise bzw. mit Unsicherheiten behaftet (s. DERBYSHIRE U. GIOVANNETTI 2017, S. 334; SCHÖGGL ET AL. 2017, S. 1602).

Es herrscht immer eine Unsicherheit in der Kostenaussage bei der Prognose der Instandhaltungskosten (vgl. LIN ET AL. 2018, S. 211). Diese verringert sich zwar zunehmend im Laufe der Produktentwicklung, verschwindet jedoch erst während der Nutzungsphase gänzlich (s. Abbildung 1.1). Nur hier können sämtliche Informationen mit einer hohen Sicherheit vorliegen (vgl. LI ET AL. 2015, S 672f.). Ein hohes Maß an Unsicherheit führt zudem zu einer häufigen Überarbeitung des zu entwickelnden Produkts, um Fehler zu beseitigen und Anpassungen vorzunehmen (s. FERNANDES U. BRANDÃO 2016, S. 222). Dies erschwert die Kostenprognose zusätzlich. Für Unternehmen sind die Beschreibung und der Umgang mit der Unsicherheit in der Kostenprognose ein Problem. *Best-Guess*-Abschätzungen, die als präzise angenommen werden, sind bei der Prognose der Instandhaltungs- oder Lebenszykluskosten üblich (s. GALAR ET AL. 2017, S. 104). Somit wird in den meisten Unternehmen keine Transparenz über die informatorische Unsicherheit geschaffen. Die Validität der Informationen wird gar nicht oder nicht korrekt eingeschätzt, was jedoch für eine fundierte Kostenbeeinflussung notwendig ist (s. GARVEY ET AL. 2016, S. 11). Es kann so keine systematische Rückführung der Erkenntnisse aus der Prognose der Instandhaltungskosten in die Entwicklung des Produkts zur Senkung der Kosten stattfinden. Die fehlende Transparenz über die Unsicherheit und der fehlende Einsatz von Kalkulationsmethoden, aufgrund nicht verfügbarer Informationen, führt lediglich zu geschätzten Kosten (s. GALAR ET AL. 2017, S. 104). Der Anteil geschätzter Kosten ist in den Phasen der Planung sowie der Entwicklung und Konstruktion meist sehr hoch (s. Abbildung 1.1). Der Anteil planbarer, vorkalkulierter Kosten sollte hingegen möglichst groß sein.

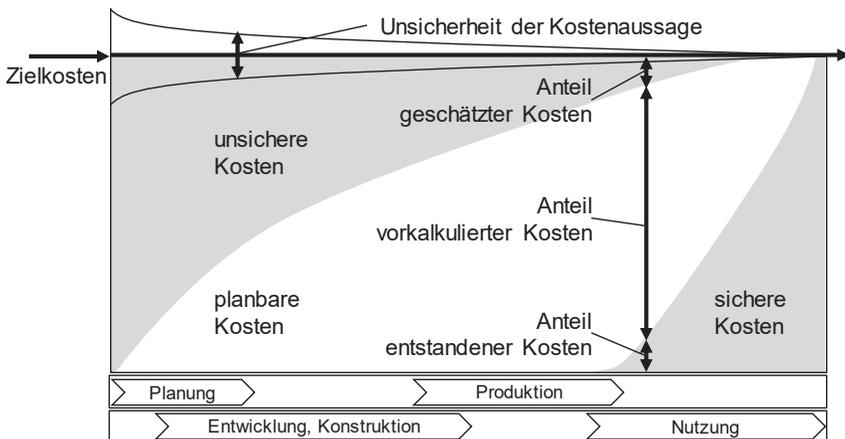


Abbildung 1.1: Kostendefinition im Entwicklungsprozess (i. A. a. STÖBER 1999, S. 84)

Bei der Kalkulation der Kosten sind, im Sinne einer wirtschaftlichen Anwendung, Methoden auszuwählen, die ein optimales Aufwand-Nutzen-Verhältnis aufweisen. Erstrebenswert ist es, bereits in einem sehr frühen Stadium der Produktentwicklung so viele Kosten wie möglich präzise zu kalkulieren. Dies ist jedoch in der betrieblichen Praxis mit einem unverhältnismäßig hohen Aufwand verbunden. Eine anwendungsorientierte Methodik berücksichtigt neben der Unsicherheit der Kostenprognose die Kosten, die ein Mehr an Sicherheit verursachen. Um diese Herausforderungen zu bewältigen, ist einerseits eine Transparenz über die Unsicherheit der Kostenwerte zu schaffen, andererseits müssen die Instandhaltungskosten während der Produktentwicklung unabhängig von der Menge der verfügbaren Informationen prognostizierbar sein. Es müssen für die einzelnen Phasen der Produktentwicklung die Methoden genutzt werden, die eine Kostenprognose mit dem niedrigsten Aufwand und einer zufriedenstellenden Genauigkeit ermöglichen. So können die Kostenwerte während des Entwicklungsprozesses für eine Ableitung von Gestaltungsmaßnahmen zur Kostenbeeinflussung genutzt werden. Erst durch eine quantitative Bewertung der Unsicherheit können die Kostenauswirkungen in einen entsprechenden Kontext gesetzt werden. Hier finden sich noch erhebliche Defizite. Es fehlt an einer Methodik, die eine Prognose der Instandhaltungskosten während der Produktentwicklung mit unterschiedlichsten Informationsverfügbarkeiten ermöglicht und die Unsicherheit transparent darstellt.

1.2 Zielsetzung und Forschungsfrage

Die **übergeordnete Zielsetzung** dieser Dissertation ist es, Unternehmen zu befähigen, während der Produktentwicklung mit unterschiedlich detailreichen Informationsständen eine Prognose der zu erwartenden Instandhaltungskosten durchzuführen und auf Basis informatorischer Unsicherheiten Handlungsempfehlungen zur Reduzierung dieser Kosten abzuleiten.

Zur Prognose der Herstellkosten von Produkten finden sich unter den Begriffen der entwicklungsbegleitenden bzw. konstruktionsbegleitenden Kalkulation einige Methodiken und Modelle. Diese entstanden vor allem im Laufe der 90er Jahre im deutschsprachigen Raum (vgl. EHRENSPIEL U. SAUERMAN 1987; GRÄFE 1998; GRÖNER 1991; MEINECKE 1992; HEINE 1995; BOTTA 1996; EHRENSPIEL ET AL. 1996b; BINDER 1997; REISCHL ET AL. 1997; SCHULTZ 1995; SCHOLL 1998; STÖBER U. LINDEMANN 1998; WARNECKE ET AL. 1980; WELP ET AL. 1998). Sie erklären die Herstellkosten eines Produkts durch die Verbindung der Kosten mit gewissen Eigenschaften (z. B. das Gewicht) über eine Kennzahl (z. B. Herstellkosten pro Gewicht). Im Zuge der Etablierung dieser Methoden in der betrieblichen Praxis wurde die Unsicherheit der Kostenaussagen auf Basis unvollständiger Informationen zunehmend relevanter. Es wurden Modelle zur entwicklungsbegleitenden Prognose der Herstellungskosten entwickelt, die diese Unsicherheit kalkulierbar machen, z. B. durch die Fuzzy-Set-Logik oder mittels der Wahrscheinlichkeitstheorie (vgl. HERBST 2014; WOLFRAM ET AL. 1995; SCHNEIDER 2009; WESTEKEMPER 2002; LEIDICH ET AL. 2001). Die meisten Ansätze beschränken sich jedoch auf die Herstellkosten eines Produkts und berücksichtigen nicht die Lebenszykluskosten.

Eine Anwendung dieser Methodiken auf Dienstleistungen ist jedoch nicht ohne weiteres möglich. Die Bereitschaftskosten werden zu einem großen Kostentreiber, da sie oftmals Gemeinkostencharakter haben und sich nur schwer einzelnen Leistungen zuordnen lassen. Durch die Integrativität und Immaterialität von Dienstleistungen werden diese zudem oft individuell für den Kunden erbracht, was eine Verrechnung auf die Kostenverursacher erschwert. (s. MÖLLER U. CASSACK 2008, S. 164) Diese kostenrechnerischen Spezifika von Dienstleistungen können an Herstellkosten ausgerichtete Kalkulationsverfahren nicht verarbeiten. Aus diesem Grund findet die Prozesskostenrechnung weite Verbreitung in der Kalkulation von Dienst- und Instandhaltungsleistungen (vgl. NAMAZI 2016, S. 467). Sie setzt jedoch definierte Prozesse und Ressourcen mit zugehörigen Kostensätzen und Verbrauchsfunktionen voraus. Dies ist eine Schwachstelle, da im Laufe des Produktentwicklungsprozesses, vor allem in frühen Phasen, nicht durchgängig alle benötigten Informationen für eine derartige Kostenkalkulation vorliegen. Es wird daher ein Einsatz von unterschiedlichen Kalkulationsmethoden, abhängig von den in der jeweiligen Produktentwicklungsphase zur Verfügung stehenden Informationen, benötigt. Weiterhin fehlt in den theoretischen Modellen eine praxisnahe Modellierung der auftretenden Unsicherheit, die für den Anwender transparent sowie aufwandsarm ist. Es erfolgte bislang ebenfalls keine Abwägung des Nutzens (Genauigkeit der Kostenprognose) gegenüber dem Aufwand der Informationsbeschaffung, im Sinne der Erreichung einer definierten Zielgenauigkeit. Die existierenden Ansätze berücksichtigen ebenfalls nicht alle notwendigen Gestaltungsfelder zur Reduktion der Instandhaltungskosten: die Konstruktion des Produkts und die Instandhaltungsprozesse sowie -organisation (vgl. VDI 2246 – Blatt 1, S. 3). Eine wissenschaftlich fundierte Methodik, die all diese Anforderungen für eine entwicklungsbegleitende Kostenprognose von Instandhaltungsleistungen berücksichtigt, fehlt bisher (s. Kapitel 3 zum Stand der Technik).

Die **konkrete Zielsetzung** dieser Dissertationsschrift besteht in der Entwicklung einer Methodik, die die zu erwartenden **Instandhaltungskosten variabel gegenüber der Informationsverfügbarkeit prognostiziert** und **auf Basis informatorischer Unsicherheiten Handlungsempfehlungen zur Kostengestaltung ableiten** lässt. Zunächst wird dazu ein Konzept der Methodik auf Basis eines zu entwickelnden Ordnungsrahmens erstellt, das die Anforderungen der beschriebenen Problemstellung berücksichtigt. In der darauffolgenden Ausdetaillierung wird die an der Informationsverfügbarkeit orientierte Verwendung von Kalkulationsmethoden erklärt sowie ein Verfahren zur gezielten Erhöhung der Genauigkeit der Prognose und zur Ableitung von Gestaltungsempfehlungen entwickelt. Die Erfüllung der nachstehenden Teilziele ist zur Verwirklichung dieser Zielstellung notwendig:

Als Grundlage für die Konzeptionierung der Methodik ist es zunächst notwendig, einen **Ordnungsrahmen für die Kostenprognose von Instandhaltungsleistungen** zu entwickeln. Er gibt die einzelnen Phasen vor, über die eine entsprechende Methodik verfügen muss.