

**Modellgestützte Montagekostenprognose
für die Einzel- und Kleinserienfertigung
im Maschinenbau**

Dissertation

zur Erlangung des Grades

Doktor-Ingenieur

der Fakultät für Maschinenbau

der Ruhr-Universität Bochum

von

Dimitrios Giannoulis

aus Athen

Bochum 2005

Dissertation eingereicht am: 31.05.2005

Tag der mündlichen Prüfung: 13.12.2005

Erster Referent: Prof. Dr.-Ing. E. G. Welp

Zweiter Referent: Prof. Dr.-Ing. U. Lindemann

Schriftenreihe Institut für Konstruktionstechnik

Heft 06.1

Dimitrios Giannoulis

**Modellgestützte Montagekostenprognose für die
Einzel- und Kleinserienfertigung im Maschinenbau**

Shaker Verlag
Aachen 2006

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

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

Zugl.: Bochum, Univ., Diss., 2006

Copyright Shaker Verlag 2006

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN-10: 3-8322-5036-0

ISBN-13: 978-3-8322-5036-2

ISSN 1616-5497

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • eMail: info@shaker.de

für meine Eltern

αφιερωμένο στους γονείς μου

Vorwort des Institutes

Die Wettbewerbsfähigkeit von Maschinen und Anlagen für die Investitionsgüterindustrie wird zunehmend durch den wirtschaftlichen Wert der Produkte festgelegt. Unter wirtschaftlichem Wert ist dabei der Kundennutzen während des gesamten Produktlebens zu verstehen. In der quantitativen Beurteilung des Kundennutzens spielen die hierfür aufzuwendenden Investitions- und Betriebskosten der Maschinen und Anlagen eine zentrale Rolle. Im Übertritt auf die Sicht der Zulieferindustrie rücken dadurch bedingt Target Costing-Konzepte in den Vordergrund der Produktkostenbetrachtung und damit die Problematik der Kostenfrüherkennung im Rahmen von Produktentwicklungsprozessen. Bewertet man nun die bisher verfügbaren Methoden und Verfahren zur Kalkulation der Herstell- und Betriebskosten, so zeigt sich, dass weitgehend geeignete nur für den Bereich der Betriebskosten vorliegen. Hingegen mangelt es nach wie vor an adäquaten Methoden und Werkzeugen für die Ermittlung der Herstellkosten in frühen Phasen der Produktentwicklung. Im Segment der Investitionsgüter, die im Einzel- und Kleinserienmaschinenbau entwickelt werden, trifft dies insbesondere für die Montagekosten zu, die in diesem Maschinenbaubereich einen Herstellkostenanteil von 30 bis zu 80% ausmachen. Das bedeutet, dass in aller Regel in diesem Bereich der Hebel zur Kostenoptimierung anzusetzen ist.

Vor diesem Hintergrund wird in dieser Dissertation eine modellgestützte Montagekostenprognose für die Einzel- und Kleinserienfertigung vorgestellt, die es dem Produktentwickler erlaubt, bereits in konzeptionellen Phasen mit zu diesem Zeitpunkt noch unvollständigen und unscharfen Kosteninformationen eine Aussage über die zu erwartenden Montagekosten zu machen. Hierbei werden in einem ganzheitlichen Ansatz die produkt kennzeichnenden Merkmale und die relevanten Aspekte der Montage mit dem betriebswirtschaftlichen Ansatz des Ressourcenverbrauchs zusammengeführt. Im Übergang zu quantitativen Kostenanalysen wird der ermittelte Ressourcenverbrauch mit Methoden der Prozesskostenrechnung und des Ressourcenverfahrens verknüpft.

Neben der detaillierten Ausgestaltung der Kostenprognosemethodik unter Verwendung der Fuzzy-Logik für die Montagezeiten und der Graphentheorie mit integrierten Regelwerken für die Montagereihenfolge, wird in dieser Arbeit auch eine softwaretechnische Lösung basierend auf dem objektorientierten Paradigma präsentiert, die sich mit CAD-Systemen koppeln lässt und damit den Transfer in die industrielle Anwendung unterstützt. Aus Validierungsbeispielen mit diesem Lösungsansatz geht hervor, dass die Montagekosten von Produktkonzepten bereits mit einer Genauigkeit von besser als +/- 5% prognostiziert werden können.

Mit dem Ergebnis dieser Arbeit wird einerseits ein grundlegender methodischer Beitrag zur frühzeitigen Montagekostenermittlung geliefert und andererseits auch eine industriell nutzbare Softwarelösung bereitgestellt.

Ewald G. Welp

Danksagung

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Maschinenelemente und Konstruktionslehre der Ruhr-Universität Bochum und wurde von der dortigen Fakultät für Maschinenbau als Dissertation angenommen.

Herrn Prof. Dr.-Ing. E.G. Welp, Inhaber des o.g. Lehrstuhls, gilt mein ausdrücklicher, herzlicher Dank für die Überlassung eines höchst interessanten Themas, für das mir entgegengebrachte Vertrauen und für die stets engagierte Förderung dieser Arbeit. Er bot mir darüber hinaus prägende Tätigkeitsfelder, für meine persönliche und fachliche Entwicklung, im Rahmen von Forschung, Lehre und Industrieprojekten.

Herrn Prof. Dr.-Ing. U. Lindemann, Leiter des Lehrstuhls für Produktentwicklung der technischen Universität München danke ich besonders für die Übernahme des Mitberichts, die Durchsicht der Arbeit und die sich daraus ergebenden Hinweise. Es war eine besondere Freude seine anerkannte Kompetenz für das Koreferat zu gewinnen.

Allen Kollegen des Lehrstuhls danke ich für das gedeihliche Arbeitsklima und die zahlreichen Hilfestellungen. Im Zusammenhang mit dieser Arbeit möchte ich mich ganz besonders bei Herrn Dr.-Ing. Emil Wolf für seine stete Hilfsbereitschaft und kritische Durchsicht dieser Arbeit sowie bei den Herren Dipl.-Ing. Tim Sadek und Dipl.-Ing. Eckhard Schüler für Ihre Unterstützung bedanken. Außerdem gilt ein herzlicher Dank den Studenten, die mir als Studien- bzw. Diplomarbeiter oder studentische Hilfskräfte engagiert unterstützt haben. Hervorheben möchte ich die Herren Dipl.-Ing. Dino Reichelt, Dipl.-Ing. Oliver Völker, Dipl.-Ing. Wolfgang Meyer-Grevendick, Dipl.-Ing. Carsten Behrens, Ingerd Voigt und Michael Nahr.

Den Kooperationspartner aus der Industrie sei gedankt für die Einblicke in die industrielle Praxis, welche die Vervollständigung dieser Arbeit ermöglicht hat. An dieser Stelle möchte ich mich besonders bei Herrn Dr.-Ing. Jens Müller der Fa. Voith Paper in Heidenheim sowie bei Herrn Dipl.-Ing. Oliver Kopp der Fa. KHS in Dortmund für die unkomplizierte Zusammenarbeit bedanken.

Schließlich möchte ich mich herzlich bei meiner Familie, meiner Freundin Anna Hybner und meinem engsten Freundeskreis für die mir entgegengebrachte Rücksicht und vielfältige Unterstützung bedanken. Mein ganz besonderer Dank gilt meinen Eltern Maria und Georgios Giannoulis, die mich während der Ausbildungszeit stets unterstützt haben und dadurch die bestmöglichen Voraussetzungen zu meinem wissenschaftlichen Werdegang geboten haben. Ihnen widme ich dieses Buch.

Dimitrios Giannoulis

Homburg (Saar), im März 2006

Εισαγωγή

Η ελαχιστοποίηση του κόστους παραγωγής είναι καθοριστικής σημασίας για την ανταγωνιστικότητα εταιριών μηχανολογικών κατασκευών. Το κόστος συναρμολόγησης είναι ένα βασικό κομμάτι του κόστους παραγωγής και γι' αυτό είναι εξαιρετικά σημαντικός ο υπολογισμός του ήδη από τις πρώιμες φάσεις του κατασκευαστικού σχεδιασμού. Το προϋπολογισμένο κόστος μπορεί τότε να συγκριθεί με το επιδιωκόμενο (target cost) έτσι ώστε να μπορούν να ληφθούν προληπτικά κατασκευαστικά μέτρα βελτιστοποίησης. Ωστόσο, οι υπάρχουσες μέθοδοι και μοντέλα αδυνατούν να υλοποιήσουν αυτόν το στόχο επαρκώς. Ο στόχος αυτής της εργασίας είναι η δημιουργία και εφαρμογή ενός μοντέλου για τον προϋπολογισμό του κόστους συναρμολόγησης μηχανολογικών κατασκευών παραγόμενων μεμονωμένα ή σε μικρές σειρές παραγωγής ήδη από τις πρώιμες φάσεις του κατασκευαστικού σχεδιασμού.

Το θεμέλιο του μοντέλου είναι ο ορισμός της μεθόδου υπολογισμού του μεγέθους «κόστος». Αυτή βασίζεται στις θεμελιώδεις διαδικασίες εκτέλεσης συναρμολογήσεων και στον κάθε είδους εξοπλισμό για την διεκπεραίωση αυτών. Έτσι, επιτυγχάνεται ένας διαφανής προϋπολογισμός του κόστους. Το μοντέλο αποτελείται από ένα μεθοδολογικό και ένα υπολογιστικό τομέα. Ο μεθοδολογικός τομέας βασίζεται στην ανάλυση οικονομικών, κατασκευαστικών στοιχείων και παραμέτρων συναρμολογήσεων καθώς και στην σύνθεση αυτών βάσει των αρχών της μηχανικής συστημάτων. Η αντικειμενοστραφής μοντελοποίηση εφαρμόζεται για την απεικόνιση του μεθοδολογικού στο υπολογιστικό τομέα μέσω ειδικά ανεπτυγμένων κλάσεων και δομών. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η ολοκληρωμένη απεικόνιση του προϊόντος σε όλες τις φάσεις του κατασκευαστικού σχεδιασμού, και συνεπώς και στις πρώιμες φάσεις για τον προϋπολογισμό του κόστους συναρμολόγησης. Εδώ εφαρμόζεται η αρχή την ομοιότητας διότι πολλές πληροφορίες σχετιζόμενες με το προϊόν και τη συναρμολόγησή του είναι ασαφείς ή άγνωστες στις πρώιμες φάσεις. Η θεωρία της ασαφούς λογικής εφαρμόζεται για την επεξεργασία αυτών των πληροφοριών. Επειδή η ακολουθία συναρμολόγησης επηρεάζει σημαντικά το κόστος και τα υπάρχοντα μοντέλα αδυνατούν να την καθορίσουν στις πρώιμες φάσεις, αναπτύχθηκε μια μέθοδος για τον αυτόματο καθορισμό αυτής. Σε αυτό το πλαίσιο παρουσιάζονται κανόνες σύνθεσης αντικειμένων, που αντανακλούν τις δρώσεις γεωμετρικές και μετατοπίσεις σχετιζόμενες με την συναρμολόγηση καθώς και περιορισμοί σχετιζόμενοι με τις διαδικασίες και τον εξοπλισμό συναρμολόγησης για τον υπολογισμό της βέλτιστης ακολουθίας. Το μοντέλο αναπτύχθηκε σε ένα πρωτότυπο λογισμικό βάσει των κυρίων αρχών σχεδιασμού λογισμικού. Για την αξιολόγησή του εφαρμόστηκε στον κατασκευαστικό σχεδιασμό μιας νέας μονάδας παστερίωσης και στην κατασκευαστική παραλλαγή ενός ειδικού πέλματος πίεσης χάρτου. Και στις δύο περιπτώσεις αποδείχθηκε η ακρίβεια του προϋπολογισμού και της εύκολης εφαρμογής του μοντέλου. Επιπλέον παρουσιάστηκε το δυναμικό μιας πιθανής ενσωμάτωσης του μοντέλου στο κατασκευαστικό λογισμικό εταιριών και στις πληροφοριακές δομές κατανεμημένων περιβαλλόντων ανάπτυξης προϊόντων για την προληπτική διαχείριση κόστους.

Αυτή η εργασία παρέχει στον ερευνητή τη δυνατότητα εμβάθυνσης στις σχέσεις και δομές μεταξύ προϊόντος και διαδικασιών παραγωγής για μια κατά περίπτωση ανάλυση και έλεγχο της πολυπλοκότητας αυτών των παραμέτρων για τον προϋπολογισμό του κόστους συναρμολόγησης. Στον πρακτικό, δίνει τη δυνατότητα να κατανοήσει τους μηχανισμούς δημιουργίας κόστους και να αναπτύξει μεθοδική σκέψη για να βελτιστοποιεί εγκαίρως τις «κατασκευαστικές» του αποφάσεις, κυρίως σχετικά με το κόστος συναρμολόγησης.

Introduction

Minimizing production costs is of vital importance for the competitiveness of companies manufacturing mechanical products. Since assembly costs are usually an essential part of the production costs, it is important to estimate them as soon as the design phase begins. In such way, the assembly cost can be compared to the target costs within the context of a proactive cost management in order to implement measures for product optimization and cost reduction. However, existent methods and tools cannot estimate the assembly costs to a sufficient extent from the initial phase especially for products that are unique or manufactured in small batches. The goal of this work was the development and implementation of a model for the estimation of assembly costs concurrent to the product development process beginning from the concept design phase.

The fundament of the assembly cost estimation model is the definition of a cost calculation method. This method is based on the assembly operations and the resources needed to accomplish these operations. Thus, a transparent based-on-use assembly cost estimation is achieved. The model consists of a methodological and a computational part. The methodological field is developed on the basis of an analysis of finance, product and assembly aspects as well as on the synthesis of these aspects through the principles of systems engineering. The object-oriented modelling is used for the depiction of the methodological model into the computational model. This is realized through its classes and its class structure. In this way the representation of a product model in the various development phases is achieved and hence the assembly costs are estimated in the concept phase. For this, the similarity principle is used because much of the product and process information is obscure and unknown during this abstract level. Therefore the fuzzy-logic is applied. Due to the influence of the assembly sequence on the assembly costs, a method is developed, which provides an automated definition of the optimal assembly sequence. This became necessary because of the deficits of the existent methods on this issue. Within this context, "addition rules" for the assembly objects are developed, which reflect the mate geometries and assembly motions. Restrictions concerning assembly processes and available resources are also applied in order to calculate the optimal sequence.

The estimation model was developed in a software tool based on several computer-scientific principles. For its practical evaluation, the model was used in the development of a new pasteurising plant and the constructional variation for the press shoe of a paper machine. Both cases proved the high estimation accuracy combined with small application efforts. Furthermore, the potentials of supporting a proactive cost management through integrating the model in the informational structures of a company or in global distributed R&D environments were demonstrated.

This work provides the researcher/scientist with a deep insight in the relations between a product, its assembly process and the costs. In addition, it demonstrates the relevant structures for a case-based complexity analysis and control in order to estimate assembly costs in the product development. The practitioner is also given the opportunity to get acquainted with the mechanisms which generate assembly costs, such as product, assembly process and resources. Moreover, he is motivated to think systematically and methodically so as to optimize his decisions regarding his engineering projects and more specifically the assembly costs.

3.2.2	Montagesicht	21
3.2.3	Kostenerfassungs- und -rechnungssicht.....	22
3.2.4	Informationstechnische Sicht.....	26
4.	Stand der Forschung	29
4.1	Strukturierungsmöglichkeiten zur Kostenerfassung.....	29
4.2	Ansätze zur Kostenbeurteilung	31
4.2.1	Algorithmisch - statistische Kalkulationsverfahren	31
4.2.2	Algorithmisch - analytische Kalkulationsverfahren	32
4.2.3	Heuristisch - ähnlichkeitsbasierte Kalkulationsverfahren.....	33
4.2.4	Heuristisch - wissensbasierte Kalkulationsverfahren	34
4.3	Verfahren und Modelle zur Montagekostenerfassung	35
4.3.1	Ansätze, die überwiegend auf statistischen Erfassungsmethoden beruhen.....	35
4.3.2	Ansätze, die überwiegend auf analytischen Erfassungsmethoden beruhen.....	37
4.3.3	Ansätze, die überwiegend auf ähnlichkeitsbasierten Erfassungsmethoden beruhen.....	39
4.3.4	Ansätze, die überwiegend auf wissensbasierten Erfassungsmethoden beruhen.....	42
4.4	Bewertung der Ansätze zur Montagekostenermittlung.....	42
4.5	Zielsetzung	46
4.5.1	Ziele für das MK-PM	46
4.5.2	Vorgehensweise.....	47
5.	Montagekosten-Prognosemodell (MK-PM)	51
5.1	Lösungskonzept des Montagekosten-Prognosemodells	51
5.2	Bausteine des methodischen MK-PM.....	52
5.2.1	Betriebswirtschaftliche Bausteine	52
5.2.1.1	Kostenrechnungssysteme	52
5.2.1.2	Prozesskostenrechnung	53
5.2.1.3	Ressourcenverfahren	53
5.2.2	Produktbezogene Bausteine	54

5.2.2.1	Produktmerkmale in der Konzept- und Entwurfsphase.....	56
5.2.2.2	Zusammenhänge von Elementen und Strukturen zwischen Produktkonzept und -entwurf	58
5.2.3	Montagebezogene Bausteine	61
5.2.3.1	Montageumgebung	61
5.2.3.2	Montagefunktionen, -abläufe und -reihenfolge.....	63
5.2.3.3	Zusammenhänge zwischen Montageumgebung, Montagefunktionen und Produktentwurf.....	65
5.3	Synthese des methodischen MK-PM.....	66
5.3.1	Systemtechnik als Grundlage zur Synthese des MK-PM.....	68
5.3.2	Formale Erfassung des methodischen MK-PM	70
5.3.2.1	Die Komplexitätsproblematik.....	71
5.3.2.2	Architektur des MK-PM	72
5.3.2.3	Formalisierungskomponenten.....	73
5.4	Erstellung des informationstechnischen MK-PM.....	74
5.4.1	Auswahl eines geeigneten Repräsentationsformalismus.....	74
5.4.2	Merkmale der objektorientierten Modellierung für das informationstechnische MK-PM.....	76
5.5	Überführung des methodischen in das informationstechnische MK-PM.....	77
5.5.1	Klassendiagramm.....	77
5.5.2	Klassen des Produktmodells: KE-, VA- und FA-Hierarchien.....	81
5.5.2.1	KE-Klassenhierarchie.....	81
5.5.2.2	VA-Klassenhierarchie	83
5.5.2.3	FA-Klassenhierarchie.....	85
5.5.3	Klassen des Montagemodells: MP-, MF- und RA-Hierarchien.....	86
5.5.3.1	MP-Klasse	86
5.5.3.2	MF-Klassenhierarchie	87
5.5.3.3	RA-Klassenhierarchie	87
5.5.4	Klassen des Kostenrechnungsmodells: KA- und MK-Hierarchien.....	87
5.5.4.1	KA-Klassenhierarchie	87
5.5.4.2	MK-Klasse.....	88

5.6	Fuzzy-Logik zur Ermittlung der Montagezeiten.....	88
5.6.1	Möglichkeiten zur Verarbeitung von Unschaffen Daten	88
5.6.2	Grundlagen des Fuzzy-Systems zur Montagezeitermittlung.....	89
5.6.3	Aufbau des Fuzzy-Systems: Fuzzyifizierung.....	91
5.6.4	Aufbau des Fuzzy-Systems: Inferenz.....	92
5.6.5	Aufbau des Fuzzy-Systems: Defuzzyifizierung.....	93
6.	Automatische Ermittlung der optimalen Reihenfolge	95
6.1	Montagereihenfolge für die MKP.....	95
6.2	Stand der Forschung.....	96
6.2.1	Techniken der künstlichen Intelligenz auf algorithmische Basis für Vorwärts-Reihenfolgeermittlung	97
6.2.1.1	Methoden basierend auf genetischen Algorithmen.....	97
6.2.1.2	Sonstige Techniken der künstlichen Intelligenz	98
6.2.2	Techniken der künstlichen Intelligenz auf heuristischer Basis für Vorwärts-Reihenfolgeermittlung	98
6.2.2.1	Wissensbasierte Systeme.....	98
6.2.2.2	Fuzzy-basierte Systeme.....	98
6.2.3	Konventionelle Techniken für Vorwärts- Reihenfolgeermittlung.....	99
6.2.3.1	Suchanfrage orientierte Systeme.....	99
6.2.3.2	Graphenhandhabung basierende Systeme.....	100
6.2.3.3	Allgemeine Systeme zur direkten Reihenfolgeermittlung	100
6.2.3.4	Virtual Reality (VR) basierte Systeme.....	101
6.2.4	Konventionelle Methoden für Rückwärts- Reihenfolgeermittlung.....	101
6.2.4.1	Befragungsorientierte Systeme.....	101
6.2.4.2	Graphentheorie-basierende Systeme.....	102
6.2.4.3	“Non-directional blocking graph” basierende Systeme.....	103
6.2.4.4	Allgemeine Methoden zur Rückwärts-Reihenfolgeermittlung.....	103
6.2.5	Sonstige unterstützende Systeme zur Reihenfolgeermittlung	104

6.3	Methode zur automatischen Reihenfolgeermittlung	105
6.3.1	Anforderungen an die Reihenfolgeermittlung	105
6.3.2	Grundlagen der Methode	107
6.3.3	„Harte“ Restriktionen	107
6.3.3.1	Konzeptmodellierung und Montage “mapping“	107
6.3.3.2	Bedingte Erreichbarkeit	110
6.3.4	Regeln für die Berechnung und Evaluation	111
6.3.4.1	Berechnungsverfahren und Regeln	111
6.3.4.2	Abbruchkriterien und spezielle Verfahrensmerkmale	112
6.3.5	„Weiche“ Restriktionen	114
6.3.5.1	Anpassung an vorhandene oder bereitzustellende Ressourcen (Mittel und Personal) und Umgebung (Strukturen) für die Montage (Regelgruppe WR/RU) ...	114
6.3.5.2	Herstellbarkeit-Montierbarkeit (Regelgruppe WR/HM)	115
6.3.5.3	Kosteneffizienz (Regelgruppe WR/K)	116
6.3.6	Berücksichtigung beliebiger Montagerichtungen	117
6.3.7	Anwendung der Methode im MK-PM	118
6.4	Anwendungsbeispiel	121
6.5	Beurteilung der Methode zur Reihenfolgenermittlung	124
7.	Implementierung und Evaluation	127
7.1	Konzeption des Software-Werkzeuges „MontageKosten-Estimator“	127
7.1.1	Systemarchitektur	127
7.1.1.1	Grundlagen	127
7.1.1.2	Auswahl der Entwicklungsplattform und der Programmiersprache	128
7.1.1.3	Systemarchitektur des Werkzeuges MontageKosten-Estimator	129
7.1.1.4	Implementierungsansatz des Prototypen zur Durchführung von Montagekostenprognosen und Anwendungsszenario	132
7.1.2	Integrationszenario in Entwicklungsumgebungen	138
7.2	Evaluation	141

7.2.1	Datenaufbereitung für die MKER-Datenbanken	141
7.2.2	Anwendung bei einer Neukonstruktion	146
7.2.3	Anwendung bei einer Anpassungskonstruktion	151
8.	Ausblick und Zusammenfassung	155
8.1	Ausblick	155
8.1.1	Verallgemeinerungs- und Integrationsaspekte hinsichtlich Produktentwicklung und Montage	155
8.1.1.1	Verallgemeinerung für alle Konstruktionsarten.....	155
8.1.1.2	Verallgemeinerung für weitere Produktkategorien.....	156
8.1.1.3	Integration von Entwicklungswerkzeugen, -prozessen und -management	156
8.1.1.4	Erweiterung zur automatischen Datenanpassung bei verschiedenen Unternehmensumfeldern und Produktarten.....	157
8.1.2	Erweiterungs- und Integrationsaspekte im Bereich des Kostenmanagements	159
8.1.2.1	Erweiterung hinsichtlich Kostenrechnungsrichtungen.....	159
8.1.2.2	Erweiterung hinsichtlich eines proaktiven Kostenmanagements.....	161
8.2	Zusammenfassung	161
9.	Literatur	165
9.1	Zitierte Literatur	165
9.2	Studien- und Diplomarbeiten	216
Anhang		
A	Begriffserklärungen und Definitionen	A-1
B1	Instrumente für die PE	B-1
B2	Weitere Verfahren und Modelle zur Kostenschätzung	B-6
B3	Bestandteile der informationstechnischen Umsetzung des MK-PM	B-14
B4	Anhang zur Methode der automatischen Ermittlung der optimalen Montagereihenfolge für das MK-PM	B-35