

Forschungsberichte

iwb

Band 141

Andreas Sprengel

***Integrierte Kostenkalkulations-
verfahren für die Werkzeug-
maschinenentwicklung***

***herausgegeben von
Prof. Dr.-Ing. G. Reinhart***

Herbert Utz Verlag

UTZ

Forschungsberichte iwb

Berichte aus dem Institut für Werkzeugmaschinen
und Betriebswissenschaften
der Technischen Universität München

herausgegeben von

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart
Technische Universität München
Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (iwb)

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme
Ein Titeldatensatz für diese Publikation ist
bei Der Deutschen Bibliothek erhältlich

Zugleich: Dissertation, München, Techn. Univ., 2000

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwendung, vorbehalten.

Copyright © Herbert Utz Verlag GmbH 2000

ISBN 3-89675-757-1

Printed in Germany

Herbert Utz Verlag GmbH, München
Tel.: 089/277791-00 · Fax: 089/277791-01

Geleitwort des Herausgebers

Die Produktionstechnik ist für die Weiterentwicklung unserer Industriegesellschaft von zentraler Bedeutung. Denn die Leistungsfähigkeit eines Industriebetriebes hängt entscheidend von den eingesetzten Produktionsmitteln, den angewandten Produktionsverfahren und der eingeführten Produktionsorganisation ab. Erst das optimale Zusammenspiel von Mensch, Organisation und Technik erlaubt es, alle Potentiale für den Unternehmenserfolg auszuschöpfen.

Um in dem Spannungsfeld Komplexität, Kosten, Zeit und Qualität bestehen zu können, müssen Produktionsstrukturen ständig neu überdacht und weiterentwickelt werden. Dabei ist es notwendig, die Komplexität von Produkten, Produktionsabläufen und -systemen einerseits zu verringern und andererseits besser zu beherrschen.

Ziel der Forschungsarbeiten des *iwb* ist die ständige Verbesserung von Produktentwicklungs- und Planungssystemen, von Herstellverfahren und Produktionsanlagen. Betriebsorganisation, Produktions- und Arbeitsstrukturen sowie Systeme zur Auftragsabwicklung werden unter besonderer Berücksichtigung mitarbeiterorientierter Anforderungen entwickelt. Die dabei notwendige Steigerung des Automatisierungsgrades darf jedoch nicht zu einer Verfestigung arbeitsteiliger Strukturen führen. Fragen der optimalen Einbindung des Menschen in den Produktentstehungsprozeß spielen deshalb eine sehr wichtige Rolle.

Die im Rahmen dieser Buchreihe erscheinenden Bände stammen thematisch aus den Forschungsbereichen des *iwb*. Diese reichen von der Produktentwicklung über die Planung von Produktionssystemen hin zu den Bereichen Fertigung und Montage. Steuerung und Betrieb von Produktionssystemen, Qualitätssicherung, Verfügbarkeit und Autonomie sind Querschnittsthemen hierfür. In den *iwb*-Forschungsberichten werden neue Ergebnisse und Erkenntnisse aus der praxisnahen Forschung des *iwb* veröffentlicht. Diese Buchreihe soll dazu beitragen, den Wissenstransfer zwischen dem Hochschulbereich und dem Anwender in der Praxis zu verbessern.

Gunther Reinhart

1 Einleitung	1
1.1 Problembeschreibung	1
1.2 Zielsetzung und Vorgehensweise	4
2 Situationsanalyse	6
2.1 Besondere Situation des Werkzeugmaschinenbaus	6
2.1.1 Unternehmenscharakteristika	6
2.1.2 Konstruktion von Werkzeugmaschinen	9
2.1.2.1 Konstruktionsphasen	9
2.1.2.2 Konstruktionsarten	13
2.1.2.3 Konstruktionshilfsmittel.....	15
2.1.3 Kostenrechnung im Werkzeugmaschinenbau	17
2.1.3.1 Grundbegriffe.....	17
2.1.3.2 Kalkulation	19
2.1.3.3 Zeitpunkte der Kalkulation.....	22
2.2 Ansätze zur konstruktionsbegleitenden Kalkulation.....	24
2.2.1 Einteilung konstruktionsbegleitender Kalkulationsmethoden.....	24
2.2.2 Informationssysteme zur konstruktionsbegleitenden Kalkulation	26
2.3 Zusammenfassung der Defizite bisheriger Ansätze	31
3 Anforderungen und Ziele bei der rechnerintegrierten Kostenbewertung	33
3.1 Anforderungen	33
3.2 Zielsetzung für ein neues System	36
4 Das Konzept der rechnerintegrierten Konstruktion als Basis für eine Kostenbewertung	39
4.1 Ansatz	39
4.2 Informationsarten / Datentypen	45

4.3 Wiederholteilsuche	48
4.4 Zusammenfassung	52
5 Konstruktionsbegleitende Kostenabschätzung von Werkzeugmaschinen.....	54
5.1 Prinzipielles Vorgehen	54
5.2 Eingesetzte Verfahren zur Kalkulation und Kalkulationsunterstützung.....	55
5.2.1 ABC-Analyse	55
5.2.2 Regressionsrechnung.....	57
5.2.2.1 Prinzip der Regression	57
5.2.2.2 Vorgehen bei der Regression	59
5.2.3 Bearbeitungssimulation.....	60
5.3 Integration zu einem Gesamtkonzept.....	65
5.3.1 Grundprinzipien	65
5.3.2 Kalkulationsvorbereitende ABC-Analyse.....	68
5.3.3 Entwicklung der Kalkulationsmethoden für die jeweiligen Entwicklungsphasen und Kalkulationsstufen	69
6 Systembeschreibung und softwaretechnische Umsetzung	74
6.1 Systemstruktur	74
6.1.1 Kalkulationsablauf und Datenfluß	74
6.1.2 Datenmodell - Voraussetzung im PDM-System	77
6.2 Realisierungskonzept	80
6.2.1 Integration von PDM, CAD und Kalkulationssoftware.....	80
6.2.2 Kalkulationssoftware.....	83
7 Exemplarische Anwendung	85
7.1 Beispielszenario	85
7.2 Herstellkosten von Kaufteilen	86
7.3 Herstellkosten von Eigenfertigungsteilen.....	88
7.4 Materialkosten von Eigenfertigungsteilen	90

7.5 Fertigungskosten von Eigenfertigungsteilen.....	95
7.5.1 Abschätzung über Regressionsformeln.....	95
7.5.2 Abschätzung über NC-Simulation.....	99
7.5.3 Abschätzung über analytisch hergeleitete Formeln.....	104
7.6 Diskussion des vorgeschlagenen Kalkulationskonzepts.....	108
8 Zusammenfassung und Ausblick	110
9 Literaturverzeichnis	115
10 Anhang	123
10.1 Abkürzungen	124
10.2 Formelkurzzeichen.....	125
10.3 Regressionsrechnung	128
10.3.1 Lineare Regression.....	128
10.3.2 Nichtlineare Regression	133

1 Einleitung

1.1 Problembeschreibung

Zunehmender Preiswettbewerb und kurze Innovationszyklen zwingen die Unternehmen des Werkzeugmaschinenbaus in stets kürzer werdenden Abständen, qualitativ hochwertige und kostengünstige Maschinen zu entwickeln. Während die Produktion in dieser Branche bis 1990 stetig stieg, erlebte sie danach einen starken Einbruch, der 1994 seinen Tiefpunkt fand. Damit verbunden war ein dramatischer Arbeitsplatzabbau von 103.000 Arbeitsplätzen im Jahr 1990 auf derzeit ca. 64.000 [VDMA 1997]. Zwar ist die wohl bisher größte Krise im deutschen Werkzeugmaschinenbau überwunden und die Umsätze sind seitdem wieder ständig gestiegen, doch erzielt die Mehrzahl der Unternehmen nur geringe Gewinne. Die schwierige Situation gerade im Bereich spanender Werkzeugmaschinen zeigt in Abbildung 1.1 auch der Verlauf des Preisindex verglichen mit dem des allgemeinen Maschinenbaus [VDMA 1997]. Die Preisentwicklung bei den spanenden Metallbearbeitungsmaschinen zeigt einen deutlich flacheren Anstieg als diejenige des allgemeinen Maschinenbaus und weist damit auf die besonders geringen Möglichkeiten der eigenen Preisgestaltung hin. Ursachen hierfür sind die verstärkt in Deutschland agierende Konkurrenz aus dem Osten sowie der starke Preisdruck den Kunden der Werkzeugmaschinenbranche, wie z.B. die Automobilindustrie, ausüben.

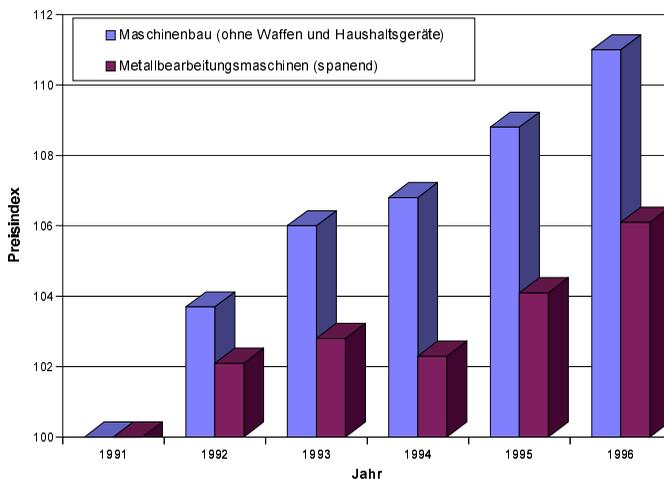


Abb. 1.1: Entwicklung des Preisindex im Maschinenbau allgemein und bei spanenden Metallbearbeitungsmaschinen

1 Einleitung

Die in der Rezession vorgenommenen Kostensenkungen sind vorwiegend auf drastische Personalreduzierungen zurückzuführen. Für weitergehende Ansätze bieten sich aufgrund der wirtschaftlichen Randbedingungen in Deutschland weniger die Optimierung der Produktion an, als die Verstärkung der Bemühungen technologisch führende Werkzeugmaschinen zu entwickeln. Maßnahmen zur Verbesserung der Wettbewerbsposition müssen daher ihren Fokus auf effizienzsteigernde Veränderungen in der Entwicklung legen.

Die frühzeitige Kenntnis und Beeinflussung der Kosten eines in der Entwicklung befindlichen Produktes wird vor diesem Hintergrund zum entscheidenden Wettbewerbsfaktor. Die Leistungsfähigkeit des Entwicklungs- und Konstruktionsprozesses beeinflusst die wettbewerbsfähige Herstellung technischer Produkte in erheblichem Maß. Angesichts eines Anteils der Konstruktion von etwa 50% an der Gesamtdurchlaufzeit der Produkte erscheint die Bereitstellung von Hilfsmitteln zur wirksamen Reduzierung der Entwicklungszeit dringend geboten. [EHRENSPIEL & WOLFRAM 1994]

Weiterhin werden in der Konstruktion nicht nur der überwiegende Anteil an technischen Produkteigenschaften festgelegt, sondern auch der größte Anteil an den Kosten. So verantwortet die Konstruktion 60-80% der Herstellkosten, während in dieser Phase nur ein Bruchteil von ca. 5-10% verursacht wird (vgl. Abb. 1.2) [VDI 2235; EVERSHEIM 1990]. Den Herstellkosten kommt somit eine besonders starke Bedeutung bei der Entwicklung von Werkzeugmaschinen zu und die Phase der Konstruktion/Entwicklung birgt daher ein beachtliches Potential zur Reduzierung der Produktkosten und der Durchlaufzeit.

Abbildung 1.2 zeigt auch, daß jede technologische Festlegung des Konstrukteurs gleichzeitig in einer Festlegung der Kosten ihren Niederschlag findet. Problematisch ist dabei die Tatsache, daß sich der Konstrukteur in der Regel einer äußerst unzureichenden Kostentransparenz gegenüber sieht [MILBERG & ROMANOW 1993]. Es besteht daher ein hoher Bedarf, dem Entwickler detailliert Kosteninformationen schon möglichst früh im Entwicklungsprozeß zur Verfügung zu stellen. Werden die Zielkosten während der Konstruktion außer acht gelassen und Überschreitungen des zulässigen Kostenrahmens erst in einer sich an die Arbeitsvorbereitung anschließenden Kalkulation aufgedeckt, kann dies zu zeitintensiven Korrekturläufen führen [BECKER 1990]. So kann die Überarbeitung nur einer Baugruppe des Gesamtsystems bei komplexen Produkten, wie den hier betrachteten Werkzeugmaschinen, mit ihren vielfältigen Abhängigkeiten und Wechselwirkungen zu Nachbarbaugruppen kostspielige Änderungen nach sich ziehen [BOCK U.A. 1990; SCHNEIDER U.A. 1997].

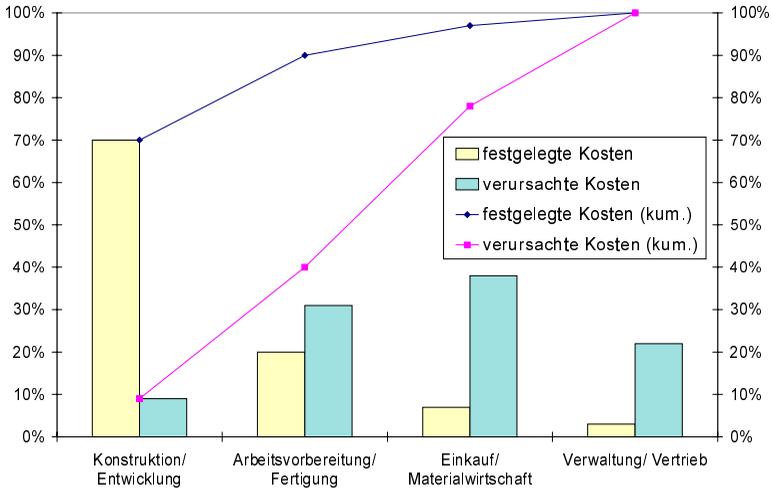


Abb. 1.2: Kostenfestlegung und -verursachung

Dies zeigt auch die als „Rule-of-Ten“ bekannte Kurve in Abbildung 1.3. Sie besagt, daß sich mit jedem wichtigen Prozessschritt die Kosten einer Fehlerbehebung verzehnfachen [VDI 2247].

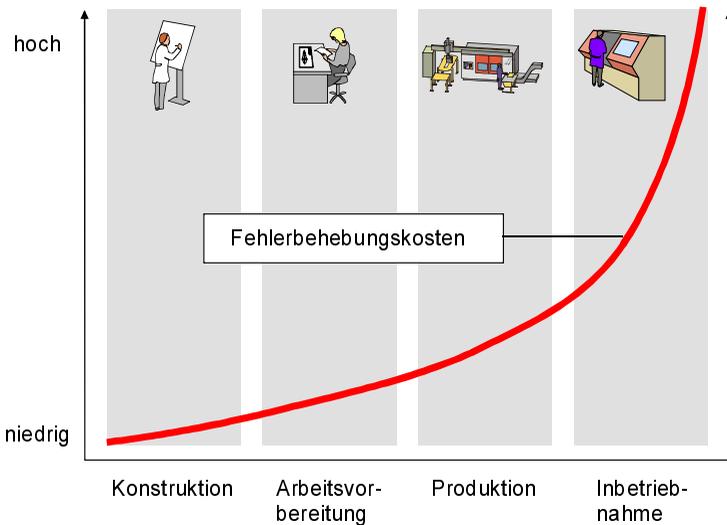


Abb. 1.3: „Rule-of-Ten“

1 Einleitung

Obwohl dieser Zusammenhang schon lange bekannt ist und die Forderung nach einer frühzeitigen und konstruktionsbegleitenden Kalkulation vielfach erhoben worden sind [EHRENSPIEL 1985; FERREIRINHA 1985; BOOTHROYD 1988], scheitert die effiziente Anwendung von Kalkulationsmethoden in der Praxis noch häufig. Wichtige Hemmnisse sind dabei:

- zu geringe Aus- und Weiterbildung der Konstrukteure im Hinblick auf kostengünstiges Konstruieren [EHRENSPIEL 1988],
- ungenügende Verfügbarkeit und Aufbereitung kalkulationsrelevanter Daten,
- mangelnde organisatorische und systemtechnische Schnittstellen zwischen Konstruktion und Kalkulation,
- zu hoher Aufwand für die Kalkulation komplexer Produkte im frühen Konstruktionsstadium.

1.2 Zielsetzung und Vorgehensweise

Die grundlegende Bedeutung einer konstruktionsbegleitenden Kostenprognose zur Optimierung der Gesamtkosten eines Maschinenentwurfs muß in der Konstruktionspraxis ihren Ausdruck finden. Ziel dieser Arbeit ist es daher, ein Kostenabschätzungsprogramm für die frühen Phasen der Werkzeugmaschinenentwicklung, der Konzept- und Entwurfsphase, bereitzustellen, das zudem in der Lage ist, über ein neutrales Informationsmanagementsystem Daten mit anderen Konstruktionswerkzeugen (wie z.B. dem 3D-CAD) auszutauschen.

Um die Akzeptanz eines solchen Systems zu gewährleisten, werden in Kapitel 2 zunächst die besondere Situation in der Werkzeugmaschinenbranche untersucht. Eingegangen wird dabei auf die Unternehmenscharakteristika, den Prozeß des Konstruierens und der Kalkulation. Es schließt sich eine Analyse und kritische Diskussion bereits vorhandener vornehmlich universitärer Ansätze zur konstruktionsbegleitenden Kalkulation an.

Aus den Ergebnissen dieser Analyse werden in Kapitel 3 die Anforderungen an eine rechnerintegrierte Konstruktion und Kostenbewertung abgeleitet und die Zielsetzung dieser Arbeit konkreter formuliert.

In Kapitel 4 soll zunächst ein allgemeines Konzept zur rechnerintegrierten Konstruktion und Bewertung aufgezeigt werden. Ein Hauptaspekt dabei ist die Auf-

hebung der Trennungen bzw. Informationsbarrieren zwischen verschiedenen Entwicklungsbereichen, ihren rechnergestützten Konstruktionswerkzeugen (CAE/CAx-Systeme¹ und EDM/PDM²) und Software-Tools zur wirtschaftlichen Bewertung.

Der Konstrukteur soll nicht nur die technische, sondern auch die erste wirtschaftliche Bewertung von Werkzeugmaschinen mit Unterstützung integrierter Softwarewerkzeuge selbst durchführen können. In Kapitel 5 wird deshalb ein Lösungsansatz für eine konstruktionsbegleitende Kostenkalkulation im Werkzeugmaschinenbau vorgestellt.

Kapitel 6 beschreibt ausführlich die Systemstruktur sowie die Hard- und Softwarearchitektur zur Realisierung des vorgeschlagenen Kalkulationssystems.

Vor dem Hintergrund der Entwicklung eines Horizontalbearbeitungszentrums sollen in Kapitel 7 die vorgestellten Methoden zur Entwicklung von Kalkulationsverfahren und -formeln beispielhaft für die verschiedenen Konstruktionsphasen näher erläutert werden. Durch eine Gegenüberstellung von Ist-Kosten und geschätzten Kosten wird die Güte der zum Einsatz kommenden Methoden aufgezeigt.

Die Arbeit schließt mit einem Ausblick und einer Zusammenfassung (Kapitel 8).

¹ CAx/CAE (Computer Aided Engineering): Rechnerbasierte Systeme, die in Entwicklung und Produktion Ingenieurstätigkeiten unterstützen.

² EDM/PDM (Engineering/Product Data Management): Systeme zur Verwaltung aller Daten und Prozesse, die während des gesamten Produktlebenszyklus entstehen [ABRAMOVICI & BICKELMANN 1993]. Die Bezeichnungen für Programme dieser Art sind in der Literatur noch nicht einheitlich, so daß in dieser Arbeit EDM und PDM synonym verwendet werden (vgl. auch Abschnitt 4.1).