

Philippe Herbst

***Methode und Anwendung eines
parametrischen Kostenmodells
zur frühzeitigen Vorhersage der
Produktentstehungskosten***

Geleitwort

Die zuverlässige und frühzeitige Vorhersage der Kosten, die im Rahmen der Entwicklung von Produkten und Produktionssystemen entstehen, erlangt für heutige Unternehmen zunehmende Bedeutung. Gesellschaftliche und unternehmenspolitische Entwicklungen, wie beispielsweise die Verkürzung von Produktlebenszyklen, führen dazu, dass ein im Allgemeinen gesteigener Entwicklungsaufwand auf immer weniger Produkteinheiten umgelegt werden muss. Die gestiegene Relevanz ebendieser Kosten erfordert fundierte und umfassende Ansätze der Kostenvorhersage, die sich bereits in frühen Phasen der Produktentstehung anwenden lassen.

Vor diesem Hintergrund hat Herr Herbst eine Methode zur Kostenermittlung für Produktentstehungsvorhaben erarbeitet. Die Vorgehensweise basiert auf der parametrischen Modellbildung und ermöglicht es, auf Grundlage entwicklungspezifischer Einflussgrößen auf die potentiellen Kosten eines Produktentstehungsvorhabens zu schließen. Die Unsicherheiten und das Informationsdefizit, die in frühen Phasen der Produktentstehung vorherrschen, werden mittels einer stochastischen Ergebnissimulation abgebildet. Anhand einer Kostenverteilungsfunktion wird dem Methodenanwender aufgezeigt, wie verlässlich das Ergebnis der Kostenermittlung ist und mit welcher Wahrscheinlichkeit bestimmte Ergebniswerte eintreten können. Der systematische Ablauf der Kostenmodellerstellung und -anwendung wird mit Hilfe eines realen Fallbeispiels validiert und erläutert.

Mit seiner Arbeit hat Herr Herbst einen wertvollen Beitrag zur Steigerung der Planungssicherheit und frühzeitigen Bewertung von Entwicklungsprojekten geleistet. Die Methode zeichnet sich durch ihre Relevanz und Praxistauglichkeit aus und stellt somit einen wichtigen Baustein für die Geschäftsplanung von neuen Produkten dar.

Paderborn, im Juli 2014

Prof. Dr.-Ing. J. Gausemeier

***Methode und Anwendung eines parametrischen
Kostenmodells zur frühzeitigen Vorhersage der
Produktentstehungskosten***

zur Erlangung des akademischen Grades eines
DOKTORS DER INGENIEURWISSENSCHAFTEN (Dr.-Ing.)
der Fakultät für Maschinenbau
der Universität Paderborn

genehmigte
DISSERTATION

von
M. Eng., Dipl.-Ing. (FH), Philippe Herbst
aus Göttingen

Tag des Kolloquiums: 13.06.2014

Referent: Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier

Korreferent: Prof. Dr.-Ing. Detmar Zimmer

Korreferent: Prof. Dr.-Ing. Franz-Josef Villmer

Vorwort

Die vorliegende Dissertation entstand in Zusammenarbeit mit dem Heinz Nixdorf Institut der Universität Paderborn und der Hochschule Ostwestfalen-Lippe. Sie ist Ergebnis meiner wissenschaftlichen Arbeit und der Anknüpfungspunkte und Erfahrungen, die ich im Rahmen meiner beruflichen Tätigkeit als Projektleiter im Bereich Produkt- und Prozessentwicklung sammeln konnte.

Mein großer Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier, Heinz Nixdorf Institut, für die Betreuung meiner Dissertation, seine Förderung und das mir entgegengebrachte Vertrauen.

Ebenso großer Dank gebührt Herrn Prof. Dr.-Ing Franz-Josef Villmer, der das Lehrgebiet Produktentwicklung am FB7 der Hochschule Ostwestfalen-Lippe vertritt, für die Übernahme des Korreferats, seine langjährige Unterstützung sowie für die anregenden fachlichen Diskussionen und Impulse.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Detmar Zimmer, dem Leiter des Lehrstuhls für Konstruktions- und Antriebstechnik (Kat) der Universität Paderborn danke ich für die Übernahme des Korreferats meiner Dissertation.

Weiterhin möchte ich den wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Fachgruppe Produktentstehung des Heinz Nixdorf Instituts, insbesondere Frau Anja Maria Czaja, für die Unterstützung und die hilfreichen Ratschläge danken.

Ebenfalls möchte ich meinem Arbeitgeber, der MöllerTech Engineering GmbH in Bielefeld danken. Hier sind vor allem Herr Eckhard Rustige, Herr Adolf Klein und Herr Horst Temme zu nennen, die mich in meinem Bestreben stets bestärkt und unterstützt haben.

Ein ganz herzlicher Dank gebührt meinen Eltern für ihren Rückhalt und die Unterstützung in allen Lebenslagen. Mein größter Dank gilt meiner Lebensgefährtin Kerstin, für ihre Nachsicht und Geduld, die aufbauenden Worte und dafür, dass sie mir stets den Rücken freigehalten hat.

Bielefeld, im Juli 2014

Philippe Herbst

Vorveröffentlichungen

Auszüge aus den Kapiteln 1 - 5 wurden veröffentlicht in:

- [1] HERBST, P.; VILLMER, F.-J.: Cost Prediction Model for Product Realization Projects. In: PADOANO, E.; VILLMER, F.-J. (Hrsg.): Production Engineering and Management, Proceedings 3rd International Conference, Trieste, Italy, Hochschule Ostwestfalen-Lippe, Lemgo, 2013

Methode und Anwendung eines parametrischen Kostenmodells zur Ermittlung der Produktentstehungskosten

Zielsetzung der vorliegenden Arbeit ist die Erstellung einer Methode zur frühzeitigen Prognose der Produktentstehungskosten. Nach eingehender Erläuterung der wichtigsten Begriffe und des Themenumfelds folgt die Definition der maßgeblichen Methodenanforderungen.

Die Untersuchung des derzeitigen technischen Stands zeigt, dass die Gruppe der multivariaten parametrischen Kostenermittlungsverfahren die beste Voraussetzung für eine Weiterentwicklung der Methodik besitzt. Ferner werden auf Grundlage der Untersuchungsergebnisse die entscheidenden Zielsetzungen dieser Arbeit abgeleitet. Der Prozess der Kostenmodellbildung wird anhand einer systematischen vierstufigen Verfahrensweise detailliert beschrieben. Zunächst erfolgt eine Strukturierung des Gesamtprojektes in einzelne Kostensegmente. Anschließend wird eine Hypothese über die relevanten Modellvariablen und deren Wirkzusammenhänge aufgestellt. Hierbei dient eine Auswahlmatrix mit den wesentlichen produkt-, produktions- und projektspezifischen Einflussfaktoren als Hilfsmittel. Nachfolgend wird die Hypothese mit Hilfe strukturprüfender statistischer Verfahren in ein Erklärungsmodell überführt.

Der im Zusammenhang mit der statistischen Auswertung bestehende Informationsbedarf wird durch die Bündelung mehrerer Einflussgrößen zu repräsentativen Multivariablen und durch die gezielte Auswahl statistischer Verfahren auf ein Minimum begrenzt. Auf Grundlage des Erklärungsmodells lassen sich die Kosten zukünftiger Entwicklungsvorhaben prognostizieren. Unter Verwendung der Monte-Carlo-Methode werden die Auswirkungen von Unsicherheit und stochastischen Einflüssen auf das Prognoseergebnis simuliert.

Method and application of a parametric cost model for early prediction of product realization costs

The objective of this paper is to establish a method for the early forecasting of product realisation costs. A detailed explanation of the key terms and of the general topic is followed by a definition of the decisive requirements of a method for cost forecasting.

The status that is currently published in the relevant specialist literature is examined and assessed. This study shows that the group of the multivariate parametric cost determination methods presents the best prerequisite for further development of the methodology. Furthermore, the conclusive aims of this paper are derived basically from the results of the study. The process of parametric cost modelling is described in detail with the aid of a systematic four-stage procedure. Initially, a structuring of the overall project is performed in individual cost segments. A hypothesis about the relevant model variables and their interactions is then established, a selection matrix with the essential product-, production- and project-specific influencing factors serving as an aid. Next, with the help of structure-testing statistical methods the hypothesis is transformed into an explanatory model. The information requirement that is connected with the statistical evaluation is limited to a minimum by grouping several influencing variables into representative multi-variables and by the targeted selection of statistical methods.

The costs of future development projects can be forecasted on the basis of the explanatory model. The effects of uncertainty and stochastic influences on the forecast result are simulated with the aid of the Monte-Carlo-Method.

Inhaltsverzeichnis	Seite
1 Einleitung	3
1.1 Problematik.....	3
1.2 Zielsetzung	4
1.3 Vorgehensweise	6
2 Darstellung des Problemfeldes und Problemanalyse	7
2.1 Produktentwicklung und Produktentstehungsprozess	7
2.2 Produktentstehungskosten	11
2.3 Kostenplanung für Produktentstehungsprojekte	14
2.3.1 Anwendungsbereiche der Kostenplanung	16
2.3.2 Projekt- und Kostenstrukturierung	18
2.3.3 Problemanalyse der Kostenplanung für Produktentstehungsprojekte.....	21
3 Anforderungen an eine Methode zur Kostenplanung	25
3.1 Ergebnisqualität und Informationsgehalt	25
3.2 Durchführungsaufwand	27
3.3 Informationsbedarf.....	28
3.4 Anwendungsspektrum und Flexibilität	29
3.5 Bewertungsmatrix.....	30
4 Stand der Technik	33
4.1 Subjektive Beurteilungsverfahren	35
4.1.1 Einzelbefragung.....	35
4.1.1.1 PERT/Cost-Verfahren.....	35
4.1.1.2 Projektkostenrechnung nach ERGENZINGER.....	36
4.1.1.3 Projektalternativplan-Verfahren nach ERLÉN	37
4.1.1.4 Pfadkostenrechnung nach LINDEMANN et al.	37
4.1.2 Gruppenbefragung	38
4.1.2.1 Projektsegmentplan-Verfahren nach SCHULTZ.....	38
4.1.2.2 Delphi-Methode	39
4.1.3 Bewertung der subjektiven Beurteilungsverfahren	40
4.2 Verhältnisverfahren	43
4.2.1 Prozentsatzverfahren	43
4.2.2 Materialkostenverfahren	44

4.2.3	Bewertung der Verhältnisverfahren	45
4.3	Relationsverfahren	47
4.3.1	Erfahrungsdatenbank-Verfahren	48
4.3.2	Prozesskosten-Verfahren nach HOLLAX.....	49
4.3.3	Bewertung der Relationsverfahren	50
4.4	Parametrische Verfahren.....	52
4.4.1	Kennzahlenverfahren	53
4.4.2	Unternehmensspezifische multivariate Kostenmodelle	55
4.4.3	Branchenspezifische Verfahren.....	56
4.4.3.1	Function-Point-Verfahren	57
4.4.3.2	COCOMO-Verfahren	58
4.4.4	Bewertung der parametrischen Verfahren	60
4.5	Zusammenfassende Bewertung und Fazit	62
4.6	Handlungsbedarf	65
5	Modellbildung mit Hilfe strukturprüfender multivariater Statistik.....	67
5.1	Ausprägung und Wirkzusammenhänge der Modellvariablen	69
5.1.1	Funktionaler Zusammenhang der Variablen.....	69
5.1.2	Skalenniveau	69
5.1.3	Dependenzstruktur	71
5.1.4	Deterministische und stochastische Prognosemodelle.....	72
5.2	Strukturprüfende multivariate Analyseverfahren.....	74
5.2.1	Lineare multiple Regressionsanalyse	74
5.2.2	Nichtlineare multiple Regressionsanalyse	78
5.2.3	Neuronale Netze.....	80
6	Methode und Anwendung eines Modells zur Vorhersage der Produktentstehungskosten	85
6.1	Kostenstrukturierung	87
6.2	Erstellung des hypothetischen Kostenmodells	90
6.2.1	Festlegung der abhängigen Modellvariablen	90
6.2.2	Festlegung der unabhängigen Modellvariablen	92
6.3	Erstellung des Erklärungsmodells	104
6.4	Erstellung des Prognosemodells	111
7	Zusammenfassung und Ausblick	119

Anhang

A1	Datenbasis der statistischen Auswertung des Fallbeispiels	A-137
----	---	-------

1 Einleitung

Die frühzeitige und zuverlässige Vorhersage der Produktentstehungskosten erlangt immer größere Bedeutung. Dies liegt einerseits darin begründet, dass infolge zunehmender Produktdiversifizierung und einer im Allgemeinen steigenden Produktkomplexität der Anteil der Entwicklungstätigkeit ansteigt. Der gesellschaftliche Trend zur Individualisierung und die Verkürzung von Produktlebenszyklen führen andererseits dazu, dass sich die Anzahl der von einem bestimmten Produkt absetzbaren Einheiten reduziert. Die Umlage der Produktentstehungskosten muss daher auf eine immer geringer werdende Anzahl verkaufter Einheiten erfolgen. Dies führt dazu, dass der Anteil der Entwicklungskosten an den Selbstkosten zunimmt [GLL12, S. 44f.].

Als die Produktentstehungskosten noch auf eine große Stückzahl umgelegt werden konnten, standen für viele Unternehmen vor allem die Herstellkosten eines Produktes im Vordergrund. Das spiegelt sich auch darin wider, dass sich der überwiegende Anteil der Veröffentlichungen zum Thema 'Kostenermittlung' auf die Kalkulation der Herstellkosten bezieht.

Aufgrund der aktuellen Entwicklungen ist eine genaue und ökonomisch vertretbare Methode zur Vorhersage der Produktentstehungskosten für nahezu alle Unternehmen von essentieller Wichtigkeit.

1.1 Problematik

Wie zuvor beschrieben, ist es für viele Unternehmen von großer Bedeutung, die Kosten potentieller Produktentstehungsprojekte im Vorfeld veranschlagen zu können. Das Ergebnis der Kostenermittlung stellt die Grundlage für zahlreiche Planungs- und Entscheidungsprozesse dar.

Im Zusammenhang mit der strategischen Planung des Produktes müssen bereits frühzeitig, also vor Beginn der eigentlichen Entwicklungstätigkeit, verlässliche Informationen hinsichtlich der Produktentstehungskosten vorliegen. Aber auch andere weitreichende Entscheidungsprozesse, wie die Festlegung von Angebotswerten (Entwicklungsdienstleister) oder die Zuteilung von Projektbudgets, erfordern eine frühzeitige Kostenplanung.

Ungenauigkeiten in den prognostizierten Kostenwerten pflanzen sich in den Folgeprozessen fort und können folgenschwere Auswirkungen haben. Als Resultate einer mangelhaften Kostenermittlung können Fehlentscheidungen, Verluste durch zu niedrig veranschlagte Kosten oder Ablehnung durch zu hoch prognostizierte Kosten hervorgehen.

Die hohen Anforderungen, die an die Ergebnisqualität der Kostenermittlung gestellt werden, stehen im Widerspruch zu dem Informationsdefizit, das in frühen Phasen von Produktentstehungsprojekten herrscht [BG08, S. 227]. Insbesondere zu Beginn des Pro-

jekt es liegen nur wenige oder unzureichende Informationen über den zukünftigen Zielzustand und die möglichen Lösungswege vor [FSB08, S. 25].

Darüber hinaus ist gegenüber der Artikelpreiskalkulation bei der Prognose von Entwicklungskosten keine exakte Ermittlung auf der Basis von Stücklisten und Zeichnungen möglich. Die Bewertung des Entwicklungsaufwands wird häufig auf der Grundlage des Erfahrungswissens einzelner Fachexperten¹ durchgeführt. Diese Vorgehensweise bürgt ein weiteres Risiko, da sie im Regelfall nicht rational begründet ist und die Genauigkeit stark von den Fähigkeiten des jeweiligen Experten abhängt.

Die Unsicherheiten, die im Zusammenhang mit der Kostenprognose bestehen, sollten bei der Ergebnisermittlung Berücksichtigung finden [GLL12, S. 125]. Der Großteil der in der Literatur beschriebenen Verfahren ist hingegen auf die Ausgabe deterministischer Ergebniswerte beschränkt und verschafft dem Methodenanwender somit keine Kenntnis über das reale Abweichungsrisiko.

Eine weitere Schwierigkeit im Zusammenhang mit der Kostenermittlung besteht darin, den mit der Durchführung verbundenen Aufwand so gering wie möglich und ökonomisch vertretbar zu halten [Fis08, S. 131]. Insbesondere Entwicklungsdienstleister, die aufgrund oftmals geringer Umwandlungsraten zwischen Angebot und Auftrag häufiger Kostenbewertungen vornehmen müssen, sind auf eine effiziente Vorgehensweise angewiesen.

Die aufgeführten Punkte verdeutlichen die Notwendigkeit einer zuverlässigen und in der betrieblichen Praxis anwendbaren Methode zur Prognose der Produktentstehungskosten. Das Umfeld und die besonderen Gegebenheiten, die in frühen Phasen der Entwicklung von Produkt und Produktionssystem vorherrschen, müssen bei der Konzipierung und Anwendung des Verfahrens Berücksichtigung finden.

1.2 Zielsetzung

Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Entwicklung einer Methode zur frühzeitigen Vorhersage der Produktentstehungskosten. Der Begriff der Produktentstehungskosten soll in Anlehnung an das *Drei-Zyklen-Modell* nach GAUSEMEIER [GHK+06, S. 28ff.], ausgehend von der Produktkonzipierung bis zum Serienanlauf, alle Aufwände für die Entwicklung des Produktes und des Produktionssystems umfassen². Die Kostenermittlung

¹ Die Inhalte der vorliegenden Arbeit beziehen sich in gleichem Maße auf Frauen und Männer. Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird jedoch die männliche Form für beide Personengruppen gewählt. Die weibliche Form wird dabei stets mitgedacht. Eine Ausnahme bilden Inhalte, die ausdrücklich auf Frauen bezogen sind.

² Der Begriff der Produktentstehungskosten ist deutlich von dem der Herstellungskosten, die im Zusammenhang mit der Produktion/Herstellung eines Produktes anfallen, abzugrenzen (siehe hierzu auch Kapitel 2.2 'Produktentstehungskosten').

ist Bestandteil der Geschäftsplanung und muss daher vor Beginn der Entwicklung von Produkt und Produktionssystem durchgeführt werden.

Der prinzipielle Ansatz des Kostenermittlungsverfahrens muss sich unter anderem an dem Neuheitsgrad des zu entwickelnden Produktes orientieren. So kann beispielsweise für eine Neuentwicklung, wie sie für wirkliche Produktinnovationen beschrieben ist, per Definition nur sehr begrenzt auf Erfahrungsdaten zurückgegriffen werden. Im Rahmen dieser Arbeit soll der Schwerpunkt auf die Kostenermittlung von Varianten- und Anpassungsentwicklungsvorhaben gelegt werden, welche in der betrieblichen Praxis am häufigsten zur Anwendung kommen [PB07, S. 94].

Hinsichtlich des Anwendungsspektrums soll sich die Methode auf eine möglichst große Reihe von Erzeugnissen verschiedener Industriezweige übertragen lassen. Als potentielle Anwendungsfelder sind unter anderem der Maschinenbau, die Automobilindustrie sowie die Software- und Elektronikindustrie zu nennen. Eine wesentliche Voraussetzung für die universelle Nutzung des Verfahrens besteht darin, dass es sich auf alle in Bezug auf den Produktentstehungsprozess relevanten Fachdisziplinen (Mechanik, Elektronik, Informatik, Mechatronik¹) anwenden lässt.

Das Informationsdefizit, das in frühen Phasen des Produktentstehungsprozesses herrscht, und die Abweichungsrisiken, die im Zusammenhang mit der Kostenermittlung bestehen, sollen bei der Kostenermittlung Berücksichtigung finden. Die Güte des Prognoseergebnisses und das reale Abweichungsrisiko sollten für den Methodenanwender messbar sein.

Die Methode soll sich mit ökonomisch vertretbarem Aufwand erstellen und anwenden lassen.

Zielsetzungen im Überblick:

- Erstellung einer Methode zur Kostenprognose für Produktentstehungsprojekte
- Frühzeitige Vorhersage vor Beginn der Entwicklung von Produkt und Produktionssystem
- Anwendung vorrangig für Varianten- und Anpassungsentwicklung
- Übertragbarkeit auf möglichst viele Produkte verschiedener Industriezweige und Fachdisziplinen
- Berücksichtigung von Unsicherheiten bei der Kostenermittlung
- Ökonomische Vertretbarkeit hinsichtlich des Erstellungs- und Anwendungsaufwands

¹ Die Mechatronik stellt streng genommen keine eigenständige Fachdisziplin dar, sondern resultiert aus dem synergetischen Zusammenwirken der Fachdisziplinen Maschinenbau, Elektrotechnik und Informationstechnik [VDI2206].

1.3 Vorgehensweise

In Kapitel zwei werden zunächst die Phasen des Produktentstehungsprozesses und der Begriff der Produktentstehungskosten näher erläutert. Weiterhin werden zum tieferen Verständnis die wesentlichen Anwendungsbereiche, Randbedingungen und Problemstellungen der Kostenermittlung aufgezeigt.

Die charakteristischen Anforderungs- und Bewertungskriterien, die im Zusammenhang mit einer Methode zur Kostenermittlung bestehen, werden im dritten Kapitel definiert. Als Ergebnis dieser Untersuchung resultiert ein Bewertungskatalog, mit dessen Hilfe sich die verschiedenen Verfahren der Kostenermittlung hinsichtlich ihrer Eignung analysieren lassen.

Im vierten Kapitel werden die in der einschlägigen Literatur veröffentlichten Verfahren und Ansätze zur Kostenprognose vorgestellt und hinsichtlich der Kriterien des Bewertungskatalogs beurteilt. Durch die Bewertung lassen sich die Stärken und Schwachstellen der bestehenden Verfahren identifizieren. Auf Grundlage dieser Untersuchung werden die konkreten Verbesserungsansätze definiert, die zur Weiterentwicklung und Optimierung der Kostenermittlung umgesetzt werden sollen.

Die Untersuchung des Stands der Technik hat ergeben, dass die parametrischen Verfahren die besten Grundvoraussetzungen für eine Weiterentwicklung der Kostenermittlungsverfahren besitzen. Aus diesem Grund befasst sich Kapitel fünf eingehend mit der Systematik der parametrischen Modellbildung. Neben der Erläuterung der möglichen Modellzusammenhänge werden auch die wichtigsten statistischen Analyseverfahren vorgestellt, die für die Modellbildung Anwendung finden.

In Kapitel sechs wird die im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Methode zur Kostenermittlung vorgestellt. Die systematische Vorgehensweise der Kostenprognose gliedert sich in vier wesentliche Ablaufphasen. Für jede Ablaufphase erfolgt zunächst eine detaillierte Beschreibung des Vorgehens. Anhand eines durchgängigen Fallbeispiels aus der betrieblichen Praxis wird zum Abschluss jeder Phase die zuvor theoretisch erläuterte Herangehensweise verdeutlicht und validiert.

2 Darstellung des Problemfeldes und Problemanalyse

In diesem Kapitel sollen die grundlegenden Begriffe, Zusammenhänge und Problemstellungen, die das Themenumfeld betreffen, erläutert werden. Zum besseren Verständnis der in den folgenden Kapiteln aufgeführten Methoden und Ansätze werden im Folgenden der Produktentstehungsprozess, die Produktentstehungskosten und die Kostenplanung näher beschrieben. Darüber hinaus ist es Zweck dieses Kapitels, die Produktentstehungskosten und deren Ermittlung in den Produktentstehungsprozess einzuordnen.

2.1 Produktentwicklung und Produktentstehungsprozess

Die Produktentwicklung umfasst die Tätigkeitsfelder Entwicklung und Konstruktion und hat die Lösung einer technischen Aufgabenstellung zum Ziel. Das methodische Vorgehen lässt sich hierbei mit den Begriffen Systemsynthese, Systemanalyse und Systembewertung umschreiben [GL00, S. 15]. Der Lösungsprozess erfolgt in Phasen zunehmender Konkretisierung vom Abstrakten zum Konkreten. So wird zunächst eine prinzipielle Lösung für die grundlegenden Zusammenhänge erarbeitet. Erst wenn ein realisierbarer Entwurf vorliegt, werden die weiteren Einzelheiten festgelegt [VDI2221, S. 5]. Gegenüber anderen Geschäftsprozessen, etwa in der Produktion oder dem Vertrieb, sind die Bereiche Entwicklung und Konstruktion aufgrund ihrer Komplexität im Regelfall durch eine iterative Vorgehensweise geprägt [PB07, S. 198f.]. Je nach Neuheitsgrad des zu entwickelnden Produktes, unterscheidet man zwischen *Neuentwicklung*, *Anpassungsentwicklung*, *Entwicklungsstudie* und *Variantenentwicklung* [Red06, S. 94ff.].

- *Neuentwicklung*: neuartige Anforderung die den Einsatz neuer Lösungsprinzipien oder deren Neukombination erfordert
- *Anpassungsentwicklung*: ein bestehendes Lösungsprinzip wird auf neue Randbedingungen hin angepasst
- *Entwicklungsstudie*: Größen und/oder Anordnungen von Elementen eines Systems werden ohne vorgegebene Grenzen variiert
- *Variantenentwicklung*: Größen und/oder Anordnungen von Elementen eines Systems werden innerhalb vorgedachter Grenzen variiert

Der Begriff *Produktentstehung* nach GAUSEMEIER ist weiter gefasst als der der *Produktentwicklung*. Neben der klassischen Produktentwicklung beinhaltet der Produktentstehungsprozess auch die strategische Produktplanung und die Entwicklung des Produktionssystems, welches zur Herstellung des späteren Produktes erforderlich ist. Der Prozess lässt sich als ein Modell, bestehend aus drei Zyklen, die sich von der Produkt- bzw.

Geschäftsidee bis zum erfolgreichen Markteintritt erstrecken, darstellen (siehe Bild 2-1).

Der Prozess kann hierbei als Phasenmodell aufgefasst werden, wobei die einzelnen Phasen nicht abgeschlossen sein müssen, bevor mit der nächsten begonnen wird. Gegenüber anderen Modellen zur Produktentwicklung¹ werden bei diesem die Produktentwicklung und die Produktionssystementwicklung nicht als sequentielle Prozesse, sondern als simultane Zyklen betrachtet, die sich gegenseitig beeinflussen [GHK+06, S. 28ff.]. Im Folgenden sollen die drei Zyklen des Produktentstehungsprozesses näher beschrieben werden.

¹ In der VDI 2221 'Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte' wird der Produktentstehungsprozess als sequentieller Ablauf dargestellt [VDI2221, S. 8].

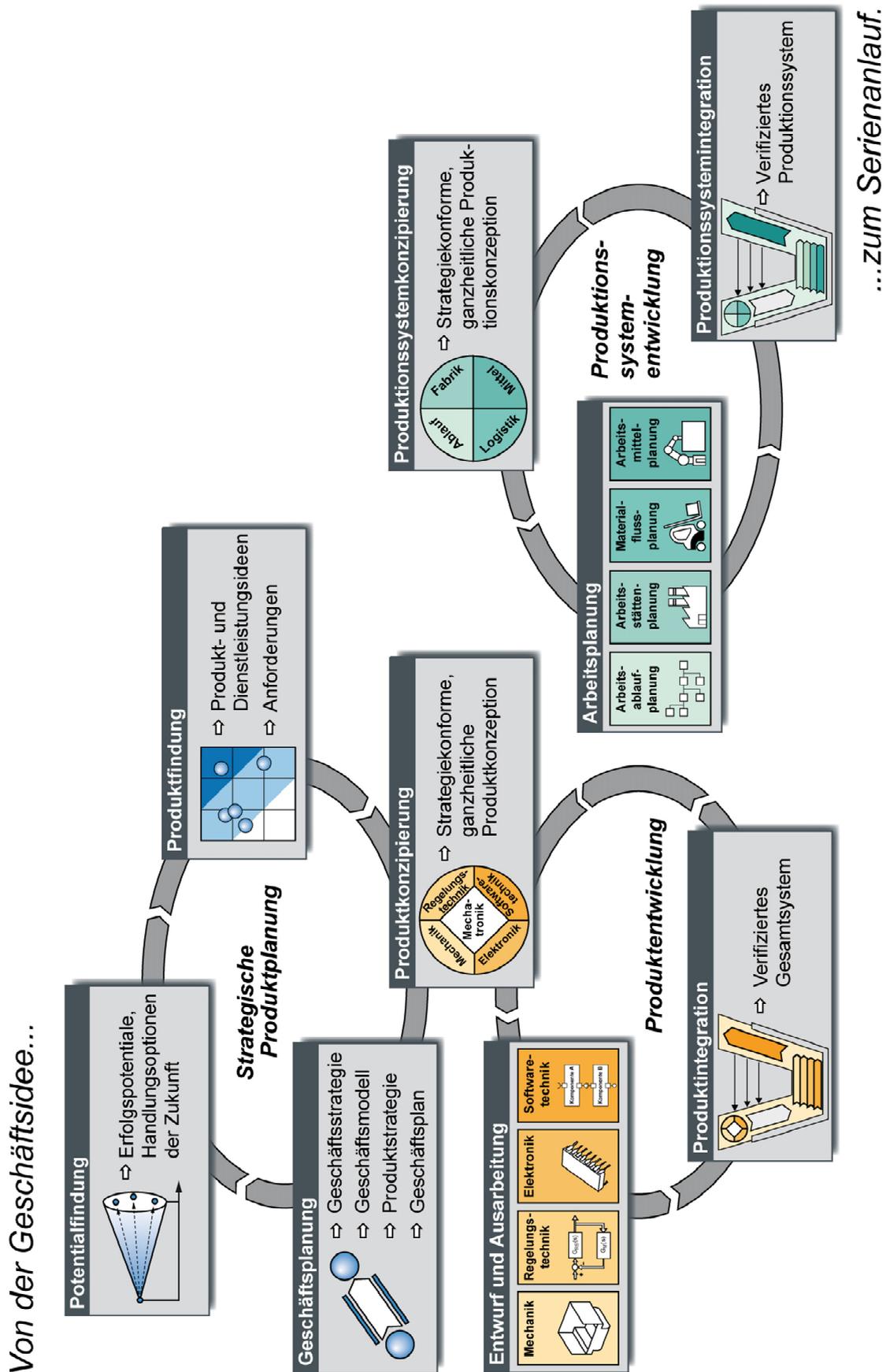


Bild 2-1: Drei-Zyken-Modell der Produktentstehung nach GAUSEMEIER

Erster Zyklus: Strategische Produktplanung

Der erste Zyklus beinhaltet die Aufgabenbereiche Potentialfindung, Produktfindung, Geschäftsplanung und Produktkonzipierung. Ziel der Potentialfindung sind die Identifizierung zukünftiger Erfolgspotentiale und die Ermittlung der entsprechenden Handlungsoptionen. Im Rahmen der Produktfindung werden Ideen zu neuen Produkten und Dienstleistungen gesucht und ausgewählt, um die Erfolgspotentiale zu erschließen. Bei der Geschäftsplanung geht es um die Erarbeitung der Geschäfts- und Produktstrategie. Die Produktstrategie bildet die Grundlage für den Geschäftsplan, der den Nachweis darüber erbringt, ob sich mit dem neuen Produkt eine zufriedenstellende Rendite erzielen lässt.

Das Ergebnis der strategischen Produktplanung stellt die Produktkonzeption dar. Die Konzipierung beinhaltet die prinzipielle Lösung des neuen Erzeugnisses unter Festlegung der grundlegenden physikalischen und logischen Wirkweise [GEK01, S. 43ff.].

Zweiter Zyklus: Integrative Produktentwicklung/Virtuelles Produkt

Der zweite Zyklus entspricht der eigentlichen Produktentwicklung und besteht aus den Phasen Entwurf/Ausarbeitung und Produktintegration. Ziel der Ausarbeitungsphase sind die Verfeinerung und Ausarbeitung der domänenübergreifenden Prinziplösung durch die jeweiligen Fachexperten. Im Fall mechatronischer Systeme gehören hierzu für gewöhnlich die Domänen Mechanik, Elektronik, Regelungstechnik und Softwaretechnik. Wie schon die Produktkonzipierung, weist auch die Ausarbeitungsphase eine enge Verbindung zur Produktionssystementwicklung auf.

Die Produktintegration besitzt vor allem im Zusammenhang mit der Entwicklung mechatronischer Produkte eine große Bedeutung. Zielsetzung hierbei ist, die Entwicklungstätigkeiten der beteiligten Domänen zusammenzuführen und deren Wechselwirkungen zu untersuchen. Hierzu gehört ebenfalls der kontinuierliche Abgleich der Produktmerkmale mit den zuvor definierten Anforderungen.

Dritter Zyklus: Produktionssystementwicklung/Digitale Fabrik

Gegenstand des dritten Zyklus ist die Planung des Herstellprozesses des zu entwickelnden Produktes. Die Produktionssystementwicklung umfasst die Konzipierung, die Arbeitsplanung sowie die Integration des Produktionssystems und schließt mit dem Serienanlauf ab [GEK01, S. 46].

Die Konzipierung des Produktionssystems umfasst die Aspekte Arbeitsablaufplanung, Arbeitsstättenplanung, Materialflussplanung sowie die Arbeitsmittelplanung [GHK+06, S. 30]. Im weiteren Verlauf des dritten Zyklus erfolgt die Integration des Produktionssystems unter Berücksichtigung aller Aspekte der Arbeitsplanung und deren Wechselwirkungen.

Produktentstehungsprozesse werden im Regelfall von fachübergreifenden Projektteams durchgeführt [SK05, S. 262], [LOS08, S. 29], [DGP10, S. 122]. Nach DIN 69901-1 ist ein Projekt durch seine Einmaligkeit gekennzeichnet. Projekte unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Ziele, ihrer Größe, ihrer Komplexität, ihres Zeitbedarfs, ihres erforderlichen Aufwandes und hinsichtlich der beteiligten Personen [DIN 69901-1, S. 5ff.]. Diese Merkmale sind auch für Produktentstehungsvorhaben zutreffend. Aufgrund der genannten Gegebenheiten wird im weiteren Verlauf dieser Arbeit unter anderem der Begriff *Produktentstehungsprojekt* verwendet.

2.2 Produktentstehungskosten

Die Kosten, die im Zusammenhang mit der Produktentstehung anfallen, beinhalten alle Aufwände von der Produktkonzipierung bis zum Serienanlauf des fertigen Produktes. Die VDI 2235 nennt in Bezug auf die Produktentwicklung die Entwicklungs- und Konstruktionseinzelkosten (EKK) als mögliche Kostenelemente [VDI2235, S. 7]. Da der Produktentstehungsprozess sowohl die Produktentwicklung als auch die Entwicklung des Produktionssystems beinhaltet, setzen sich die Produktentstehungskosten aus den EKK, den Kosten für die Entwicklung des Produktionssystems und den jeweiligen Gemeinkostenumlagen zusammen. Als Kostenarten sind vor allem Personalkosten, Materialkosten, Kapitalkosten und Fremdleistungskosten zu nennen [Mel58, S. 60]. Die Entwicklung eines Produktes besitzt den Stellenwert einer Investition, die über den späteren Absatz des Produktes amortisiert werden muss. Aus diesem Grund haben die Produktentstehungskosten einen direkten Einfluss auf die Produktkosten.

Das Bild 2-2 zeigt, dass die Produktkosten in Herstell-, Selbst- und Lebenslaufkosten eingeteilt werden können. Die Herstellkosten stehen im direkten Zusammenhang mit dem Herstellprozess des Produktes. Hierzu gehören unter anderem die Kosten, die für Material, Fertigung und Montage des Produktes aufgewandt werden. Die Selbstkosten eines Produktes beinhalten die Herstellkosten, erweitert um die Kosten, die nicht direkt mit der Produktherstellung in Verbindung zu bringen sind¹. In diesem Zusammenhang sind vor allem die Produktentstehungskosten sowie die Verwaltungs- und Vertriebskosten zu nennen. Die Summe aller Kosten, die im Rahmen der Produktnutzung anfallen, bezeichnet man als Lebenslaufkosten. Neben den Selbstkosten gehören hierzu auch die Kosten, die für Betrieb, Wartung, Instandhaltung und Entsorgung anfallen [GLL12, S. 40ff.].

¹ Die Produktentstehungskosten sind als Fixkosten anzusehen, da sie von der produzierten Stückzahl unabhängig sind.



Bild 2-2: Einteilung produktbezogener Kosten (nach: [EKL05])

Die Höhe der Produktentstehungskosten wird durch zahlreiche interne und externe Forderungen und Gegebenheiten beeinflusst. Zu diesen Einflussgrößen zählen unter anderem der Entwicklungsgegenstand, die Projektdauer und die Vorgaben durch Lastenhefte [Erg06, S. 55]. Weil die Leistung, die im Produktentstehungsprozess erbracht wird, eher immaterieller Art ist, stellen die Personalkosten die bestimmende Größe der Produktentstehungskosten dar. In der einschlägigen Literatur ist der durchschnittliche Anteil der Personalkosten an den Gesamtkosten mit 80% angegeben [Lit05, S. 482], [EKL05, S. 149]. Die verbleibenden 20% der Gesamtkosten entfallen unter anderem auf Materialkosten, Nutzungskosten für Büro und Computer sowie Kapitalkosten. Im Unterschied zu den anfallenden Arbeitsstunden ist eine verursachungsgerechte Zuordnung dieser Kosten nur mit hohem organisatorischem Aufwand möglich. Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit werden diese Kosten im Regelfall als Gemeinkosten betrachtet [FFH+04, S. 28f.]. Die Entwicklungsgemeinkosten werden mit Hilfe der Zuschlagkalkulation auf die Personaleinzelkosten¹ umgelegt. In der Gleichung 2-1 wird gezeigt, wie die Entwicklungsgemeinkosten zu gleichen Anteilen auf die Anzahl der Arbeitsstunden verteilt werden. Durch Addition der Personalkosten und der anteiligen Entwicklungsgemeinkosten wird der Stundenverrechnungssatz² berechnet. Dieser bildet die Grundlage für die Kalkulation und die interne Verrechnung der Produktentstehungskosten.

¹ Als Einzelkosten werden in der Kostenrechnung die Kosten bezeichnet, die einem Kostenträger (in diesem Fall Produktentstehungsvorhaben) direkt zurechenbar sind. Da davon ausgegangen werden kann, dass im Rahmen der Produktentstehung die Arbeitsstunden verursachungsgerecht erfasst werden, können die Personalkosten als Einzelkosten betrachtet werden.

² Da in der oben genannten Berechnung des Stundenverrechnungssatzes kein Gewinnzuschlag enthalten ist, spricht man auch von kostendeckendem Stundenverrechnungssatz [Kae08, S. 269].

$$Svs = Pek_{Stunde} + \left(\frac{Egk_{gesamt}}{Ps_{gesamt}} \right)$$

Gleichung 2-1: Berechnung eines Stundenverrechnungssatzes unter Berücksichtigung der Gemeinkosten (nach: [FFH+04])

Svs: Stundenverrechnungssatz (kostendeckend)

Pek_{Stunde}: Personaleinzelkosten je Stunde

Egk_{gesamt}: Gesamt Entwicklungsgemeinkosten

Ps_{gesamt}: Gesamt Personalstunden

Im Zusammenhang mit der Durchführung von Produktentstehungsprojekten wird neben dem Begriff *Kosten* auch oft der Begriff *Aufwand* verwendet. Diese beiden Begriffe stimmen nicht im vollen Umfang überein. Bei *Kosten* muss immer eine Betriebsbedingtheit vorliegen, wohingegen *Aufwand* auch für Dinge entstehen kann, die nichts mit der Erstellung der Betriebsleistung zu tun haben (z.B. Spenden) [WK11, S. 16f.]. Es besteht aber ein weiterer Bereich, in dem *Kosten* und *Aufwand* einander decken. In diesem Fall spricht man auch von *Zweckaufwand* oder *aufwandsgleichen Kosten* [Mac11, S. 24]. *Aufwand* und *Kosten* stimmen dann überein, wenn ein sachzielbezogener Güterverzehr (Betriebsbedingtheit) innerhalb eines bestimmten Zeitraums (Periodenbezug) vorliegt [Oss08, S. 36]. Diese Voraussetzungen sind mit Hinblick auf die Produktentstehungskosten erfüllt. Aus diesem Grund soll in dieser Arbeit keine strenge Trennung zwischen den beiden Begriffen vorgenommen werden, sondern, wie auch in weiten Teilen der einschlägigen Literatur¹ verbreitet, eine synonyme Verwendung der Ausdrücke erfolgen.

Ein weiteres Argument für die sinngleiche Verwendung beider Begriffe besteht darin, dass die mit der Produktentstehung verbundene Unternehmensleistung nicht immer direkt als *Kosten*, sondern auch oftmals als *Arbeitsaufwand* (Mannmonate, Arbeitsstunden) bewertet und bemessen wird. Eine Umrechnung in Kostenwerte erfolgt dann indirekt - unter Verwendung von Stundenverrechnungssätzen - über den *Arbeitsaufwand*. Hier zeigt sich, dass eine scharfe Trennung zwischen den Ausdrücken *Kosten* und *Aufwand* vor dem Hintergrund dieser Arbeit nur schwer möglich ist.

¹ Siehe hierzu auch [Lit05]

2.3 Kostenplanung für Produktentstehungsprojekte

Die Kostenplanung¹ für Produktentstehungsprojekte ist im Drei-Zyklen-Modell nach GAUSEMEIER der Geschäftsplanung zugeordnet. Wie in dem Bild 2-1 zu sehen ist, findet die Planung der Kosten zu einem frühen Zeitpunkt vor Beginn der Produkt- und Produktionssystementwicklung statt. Sie dient dazu, den Aufwand potentieller Entwicklungsvorhaben frühzeitig einzuschätzen und im Hinblick auf die Kosten zu bewerten.

Da Entwicklungsvorhaben in der Regel in der organisatorischen Form eines Projektes durchgeführt werden, ist die Ermittlung der Produktentstehungskosten auch immer eine spezielle Form der Projektkostenermittlung [SS95, S. 148]. Nach DIN 69901-2 fällt die Kostenermittlung in den Bereich der Projektplanung. Hier wird neben der Festlegung von Terminen und Ressourcen auch die Veranschlagung der potentiellen Projektkosten durchgeführt [DIN69901-2, S. 11].

In der einschlägigen Literatur werden im Zusammenhang mit der Kostenplanung unter anderem die Begriffe *Prognose*, *Schätzung*, *Vorhersage*, *Berechnung* oder *Kalkulation* verwendet. Gemäß der DIN 276-1 wird bei der Planung von Hochbauprojekten je nach Detaillierung und Gliederungstiefe zwischen *Schätzung*, *Kostenberechnung* und *Kostenveranschlagung* unterschieden [DIN276-1, S. 8ff.]. Im Gegensatz dazu wird bei BRONNER [Brn08, S. 22] die frühzeitige Kostenplanung als *Vorkalkulation*, bzw. *Zielkalkulation* bezeichnet. LITKE [Lit93] und BURGHARDT [Bur08] verwenden durchgängig den Begriff *Schätzung* für alle Verfahren der Kostenplanung. Im Regelfall erlaubt die Verwendung eines bestimmten Begriffs keine Rückschlüsse auf eine explizite Vorgehensweise oder die Genauigkeit des Planungsergebnisses. Gleichwohl wird der Begriff *Schätzung* oftmals mit subjektiven Schätzungen, wie sie bei den Methoden der subjektiven Beurteilungsverfahren (siehe Kapitel 4.1) Anwendung finden, assoziiert². Der Begriff *Kalkulation* wird hingegen häufig mit der Ermittlung von Herstellkosten in Verbindung gebracht. Da in dieser Arbeit ein Kostenermittlungsverfahren beschrieben wird, das auf statistischer Modellbildung beruht, sollen in Anlehnung an die charakteristische Terminologie der Modellbildung primär die Begriffe *Vorhersage* und *Prognose* Verwendung finden.

Je nach Ausprägung des Kostenermittlungsverfahrens finden unterschiedliche Eingangsgrößen und Hilfsmittel bei der Kostenplanung Berücksichtigung. Als unternehmensspezifische Hilfsmittel können Kosteninformationen bereits abgeschlossener Entwicklungsvorhaben (retrograde Kosteninformationen) und/oder das Erfahrungswissen

¹ Die Kostenplanung wird vor Beginn des Produktentstehungsprojektes einmalig durchgeführt, um die Kosten für ein zukünftiges Entwicklungsvorhaben zu ermitteln. Sie unterscheidet sich von der entwicklungsbegleitenden Nachkalkulation von Entwicklungsleistungen, die eine kontinuierliche Kontrolle der Kosten zum Ziel hat.

² Der Begriff der Schätzung umfasst neben subjektiven Schätzungen auch statistisch-mathematische Verfahren und kann insofern theoretisch für alle Methoden der Kostenermittlung angewandt werden.

von Fachexperten genutzt werden. Es besteht aber auch die Möglichkeit, auf branchenspezifische Referenzwerte und Kennzahlen zurückzugreifen.

In allen genannten Fällen müssen darüber hinaus auch Informationen über das zukünftige Entwicklungsvorhaben (anterograde Informationen), für das die Kostenprognose erfolgen soll, vorliegen. Diese Informationen finden sich unter anderem in Anforderungsspezifikationen, Lastenheften und Anfrageschreiben, ergeben sich aber auch aus der unternehmensinternen Planung des neuen Produktentstehungsvorhabens.

Auf Grundlage anterograder Informationen kann eine Einschätzung über die Komplexität und den Schwierigkeitsgrad des neuen Produktentstehungsprojektes vorgenommen werden. In Abhängigkeit davon, welcher Aspekt der Entwicklungstätigkeit durch die Informationen beschrieben wird, kann man zwischen produkt-, produktions- und projektspezifischen Eingangsinformationen unterscheiden [HV13, S. 203f.]. *Produktspezifische Informationen* beschreiben die Anforderungen an den Entwicklungsgegenstand und wirken sich insbesondere auf den Prozess der integrativen Produktentwicklung aus. Hierzu zählen beispielsweise die Anzahl und Komplexität der zu entwickelnden Produkte und Komponenten.

Der Aufwand im Bereich der Produktionssystementwicklung wird hingegen maßgeblich von *produktionsspezifischen Informationen/Anforderungen* bestimmt. So lässt sich etwa anhand der Information über die zukünftig zu produzierenden Stückzahl (Ausbringungsmenge) auf den Automatisierungsgrad und die Verkettung des späteren Produktionssystems schließen. Diese Einflussgrößen haben wiederum direkte Auswirkung auf den Entwicklungsaufwand.

Unter dem Begriff *projektspezifische Informationen* sollen alle projekt- und unternehmensseitigen Randbedingungen des Produktentstehungsvorhabens zusammengefasst werden. Diese resultieren aus den internen Gegebenheiten und der individuellen Zusammensetzung des Projektteams und beeinflussen primär die Produktivität der Entwicklungsarbeit. In diesem Zusammenhang sind unter anderem der Einsatz von Hilfsmitteln und `Tools` aber auch die Qualifikation und Motivation der späteren Projektmitarbeiter zu nennen¹.

Bild 2-3 gibt einen Überblick über die potentiellen Eingangs- und Ausgangsgrößen eines Kostenermittlungsverfahrens.

¹ Eine detaillierte und umfassende Beschreibung der produkt-, produktions- und projektspezifischen Kosteneinflussgrößen erfolgt in Kapitel 6.2.2 `Festlegung der unabhängigen Modellvariablen`.

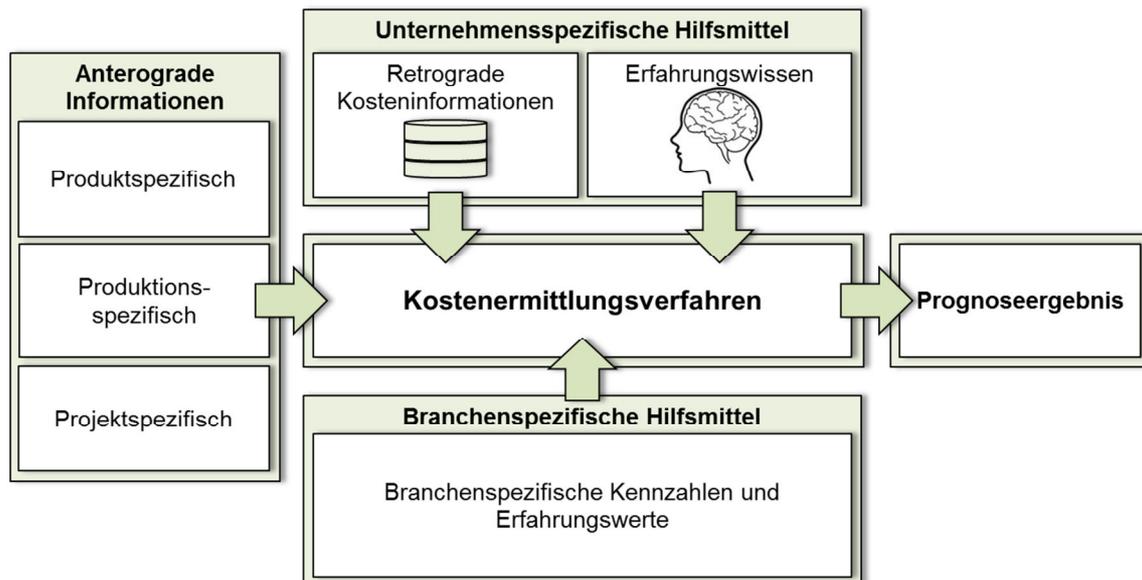


Bild 2-3: Eingangs- und Ausgangsgrößen eines Kostenermittlungsverfahrens für Produktentstehungsprojekte

Im Folgenden sollen die Anwendungsbereiche, die übliche Vorgehensweise und die Probleme und Risiken, die im Zusammenhang mit der Kostenplanung bestehen, näher erläutert werden.

2.3.1 Anwendungsbereiche der Kostenplanung

Das Ergebnis der Kostenermittlung bildet die Grundlage für zahlreiche Planungs- und Entscheidungsprozesse. Im Rahmen der Geschäftsplanung gilt es, die Lebenszykluskosten des zukünftigen Produktes zu ermitteln. Hierfür ist unter anderem die Kenntnis der Produktentstehungskosten erforderlich (siehe Kapitel 2.2). Aufgrund mangelnder Kapazitäten oder mangelnden Erfahrungswissens werden Entwicklungstätigkeiten mitunter an externe Entwicklungsdienstleister vergeben. Für den Dienstleister bildet die Kostenplanung des Produktentstehungsprojektes die Grundlage für die Angebotserstellung. Darüber hinaus dient die Ermittlung der Produktentstehungskosten auch der Festlegung des Projektbudgets. Die Festlegung fixer Zielkosten ist ein Managementansatz, der auch als *Target Costing* bezeichnet wird [Stel09, S. 167]. Je nachdem, an welchen Vorgaben sich die Zielkosten bemessen sollen, können markt- oder branchenübliche sowie unternehmensinterne Kostenwerte als Zielvorgabe dienen. Um einen Ansporn für eine effiziente Projektabwicklung zu verschaffen, liegen die Zielkosten im Regelfall unterhalb der Kosten, die bei einer standardmäßigen Projektbearbeitung anfallen würden [EwWa08, S. 283].

Ein weiteres Anwendungsgebiet der Kostenplanung ist die Beurteilung von Realisationsalternativen. Zielsetzung ist hierbei, unterschiedliche Entwicklungsszenarien, die sich beispielsweise in der Ausprägung des Entwicklungsgegenstandes oder in den äußeren Randbedingungen unterscheiden, im Hinblick auf den potentiellen Entwicklungs-

aufwand zu untersuchen. Auf diese Weise kann ermittelt werden, welche Einflussgrößen eine besondere Auswirkung auf die Produktentstehungskosten besitzen. Die Stärke des Zusammenhangs zwischen Einflussgröße und Kosten bezeichnet man als *Sensitivität* [SL02, S. 345]. Das Wissen um solche Zusammenhänge ermöglicht es dem Planenden, schon vor Beginn der Entwicklung von Produkt und Produktionssystem durch die Anpassung der Rahmenbedingungen bewusst Einfluss auf den Entwicklungsaufwand zu nehmen.

Im Rahmen der Geschäftsplanung stellt sich auch die Frage, ob es profitabler ist, das neue Produkt in Eigenregie zu entwickeln oder ob eine Fremdvergabe der Entwicklungsleistung vorteilhafter wäre. Solche Entscheidungsprozesse bezeichnen sich als `Make-or-Buy`-Entscheidungen und werden vor dem Hintergrund von Kosten, Kapazitäten und bestehendem Erfahrungswissen gefällt. Die Kenntnis der Kosten, die im Rahmen der Entwicklung im jeweiligen Unternehmen anfallen würden, ist für diese Entscheidung essentiell.

Darüber hinaus dient das Ergebnis der Kostenermittlung als Grundlage für die entwicklungsbegleitende Kalkulation. Die ursprünglichen Kostenwerte bilden hierbei das Fundament für die rollierende Neubewertung des Entwicklungsvorhabens, die sich mit Fortschreiten des Projektes immer weiter verfeinert¹ [Brn08, S. 192].

Wie sich zeigt, ist die frühzeitige und möglichst präzise Ermittlung der Produktentstehungskosten eine wesentliche Voraussetzung für viele nachfolgende Planungs- und Entscheidungsprozesse. Die Qualität der Kostenvorhersage bestimmt gleichermaßen Aussagequalität und Sicherheit für alle darauf aufbauenden Handlungen. Dieser Zusammenhang verdeutlicht die Notwendigkeit einer genauen und zuverlässigen Methode zur Kostenermittlung. Im Folgenden werden die wesentlichen Folgeprozesse noch einmal stichpunktartig aufgeführt.

¹ Die schrittweise Verfeinerung der ursprünglichen Kostenplanung wird auch als `rolling wave planning` bezeichnet [DGP10, S. 124]. Die Ergebnisse der einzelnen Kalkulationsschleifen stellen Zwischenkalkulationen dar.

Planungs- und Entscheidungsprozesse, die auf der Ermittlung der Produktentstehungskosten beruhen

- Geschäftsplanung
- Angebotsbasis für Entwicklungsdienstleister
- Budgetierung von Produktentstehungsvorhaben (Target Costing)
- Beurteilung von Realisationsalternativen / Sensitivitätsanalyse
- Entscheidungsgrundlage für Fremdvergabe von Entwicklungsleistung ('Make or Buy'-Entscheidung)
- Grundlage für die entwicklungsbegleitende Kalkulation

2.3.2 Projekt- und Kostenstrukturierung

Im Rahmen der Projektplanung findet im Regelfall auch eine Strukturierung des Produktentstehungsvorhabens statt. Zielsetzung ist hierbei die Gliederung des Projektes in überschaubare Teilaufgaben, um eine bessere Übersichtlichkeit und Bearbeitbarkeit der einzelnen Arbeitsschritte zu erzielen [AB92, S. 20]. Nach DIN 66901-5 soll die Projektstruktur die Gesamtheit der wesentlichen Beziehungen zwischen den Elementen des Projektes widerspiegeln [DIN66901-5, S. 15].

Zur Gliederung und Strukturierung von Projekten werden oftmals Projektstrukturpläne oder Netzpläne verwendet. Ein Projektstrukturplan wird als graphische oder tabellarische Aufgliederung eines Projektes in Teilprojekte oder hierarchische Ebenen verstanden [DIN69901-2, S. 25]. Als Gliederungskriterien können Erzeugnisse (Objektorientierung), Funktionen oder die chronologische Reihenfolge der Arbeitspakete (Ablauforientierung) herangezogen werden [Bur08, S. 161]. Bild 2-4 zeigt beispielhaft einen objektorientierten Projektstrukturplan für die Entwicklung eines Personenkraftwagens.

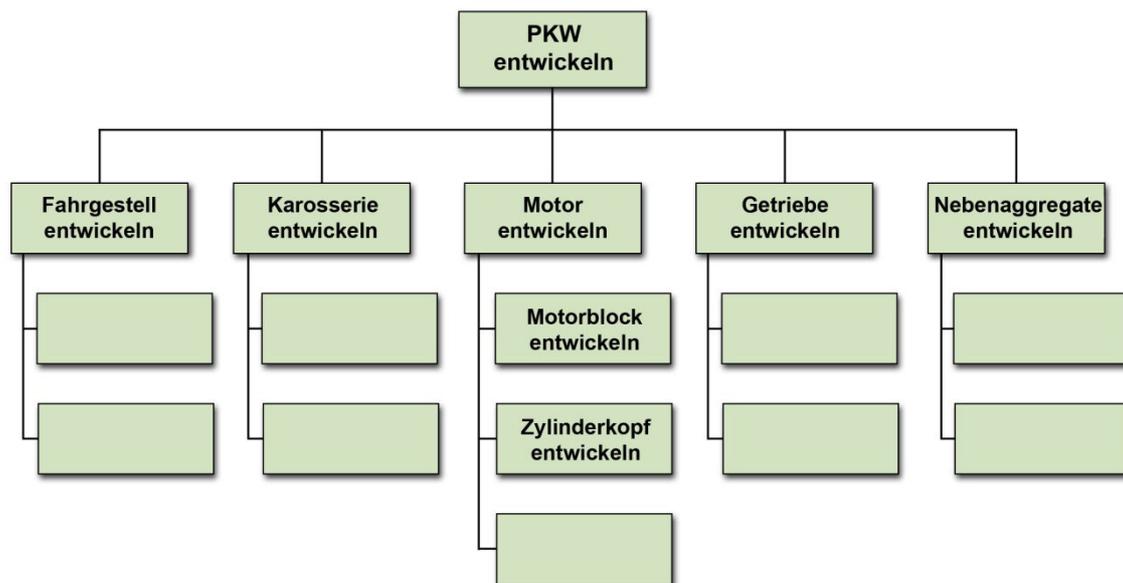


Bild 2-4: Objektorientierter Projektstrukturplan für die Entwicklung eines Personenkraftwagens (nach: [DGP10])

Bei funktionsorientierten Strukturplänen erfolgt die Untergliederung auf der Grundlage projektspezifischer Verrichtungen (z.B.: Konzepterstellung, Konstruktion, Programmierung, etc.). Wenn die Entwicklungsfunktionen überdies noch gemäß ihrer zeitlichen Abfolge strukturiert werden, spricht man von einer ablauforientierten Projektstrukturplanung. Für die chronologische Darstellung der Arbeitspakete werden oftmals Netzpläne oder Gantt-Diagramme¹ eingesetzt.

Auch bei der Kostenplanung ist es üblich, eine Strukturierung des Projektes in einzelne Arbeitspakete und Unterbestandteile vorzunehmen. Ausgehend von der Annahme, dass die Gesamtkosten des Projektes der Summe der Teilkosten der einzelnen Projektsegmente entsprechen, erfolgt die Kostenermittlung zunächst separat für jedes einzelne Projektsegment [GHS05, S. 86]. Durch Aggregation der einzelnen Kostenwerte erhält man den Wert für die Gesamtprojektkosten [Stel09, S. 179]. Aufgrund dessen, dass ausgehend von der Bewertung kleinerer Projektsegmente auf die Gesamtkosten geschlossen wird, spricht man in diesem Zusammenhang auch von 'Bottom-up'-Methodik. Bild 2-5 zeigt den prinzipiellen Ablauf der Kostenermittlung nach dem 'Bottom-up'-Ansatz.

¹ Ein Gantt-Diagramm ist ein nach dem Unternehmensberater HENRY GANTT benannter Balkenplan, der die zeitliche Abfolge von Aktivitäten als Balken auf einer Zeitachse darstellt.

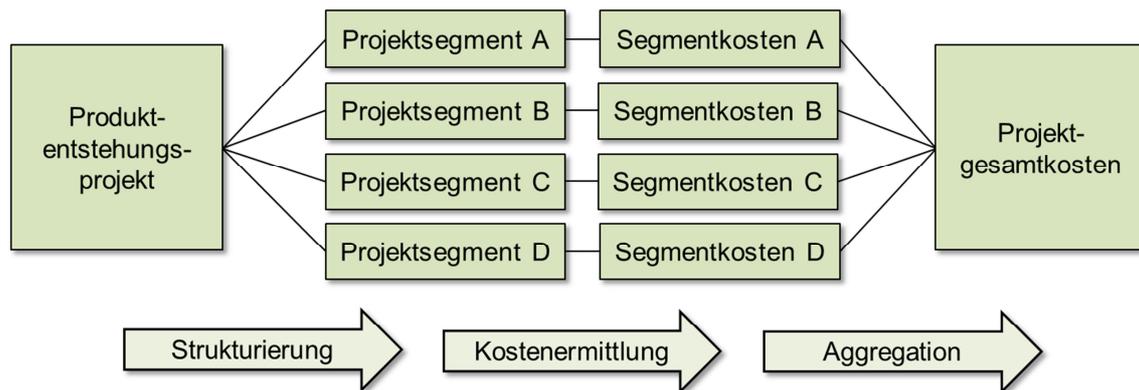


Bild 2-5: Prinzipdarstellung der Kostenstrukturierung, Kostenbewertung und Kostenaggregation nach dem 'Bottom-up'-Ansatz

Eine andere Art der Vorgehensweise ist durch den 'Top-down'-Ansatz beschrieben, bei dem ausgehend von einer pauschalen Kostenermittlung direkt auf die Gesamtkosten des Projektes geschlossen wird¹ [Smi95, S. 88]. Der 'Top-down'-Ansatz weist im Regelfall eine geringere Ergebnisgenauigkeit auf als die strukturierte Vorgehensweise. Die größere Ungenauigkeit resultiert aus der Unübersichtlichkeit und dem mangelnden Detaillierungsgrad, die mit einer pauschalen Kostenveranschlagung einhergehen. Wie sich in Kapitel 4 'Stand der Technik' zeigt, basiert der überwiegende Anteil der in der einschlägigen Literatur erwähnten Kostenermittlungsverfahren auf einer Kombination aus Strukturierungs- und Kostenermittlungsansatz und lässt sich somit der 'Bottom-up'-Methodik zuordnen. Oftmals erfolgt die Strukturierung der Kostensegmente auf der Grundlage der Projektstrukturplanung [BG08, S. 266]. Ferner kann es aber auch sinnvoll sein, eine eigenständige Strukturierung zum Zwecke der Kostenermittlung aufzubauen. BURGHARDT unterscheidet in diesem Zusammenhang zwischen der Projektstruktur und der Strukturierung der Kosten, die er als *Kostenstruktur* bezeichnet [Bur08, S. 155f.]. Die Erstellung einer separaten Kostenstruktur erlaubt die verursachungsgerechte Kostenermittlung auf der Grundlage ausgewählter Kostenträger². Ein Kostenträger (Strukturierungselement) kann hierbei je nach Detaillierungsgrad beispielsweise einen projektspezifischen Arbeitsgang, den Arbeitsaufwand einer Fachabteilung oder die Bearbeitung eines festgelegten Projektabschnitts darstellen. Nach Möglichkeit sollten die Kostenträger dem Aufwand einer organisatorischen Einheit oder einer Person zugeordnet sein. Dies vereinfacht die Ermittlung der Kosten und trägt auch dem Umstand Rechnung, dass in unterschiedlichen Abteilungen und Fachbereichen im Regelfall auch unterschiedliche Stundenverrechnungssätze bestehen [Bur08, S. 163].

¹ Bei BERGMANN und GARRECHT [BG08, S. 227] werden die Begriffe 'Top-down'- und 'Bottom-up'-Planung in Abhängigkeit davon erwähnt, auf welcher hierarchischen Unternehmensebene die Kostenermittlung durchgeführt wird. Dieser Begriffsinterpretation soll in dieser Arbeit nicht nachgegangen werden.

² Nach DIN 69903 wird als Kostenträger das Ergebnis oder Teilergebnis eines Projektes verstanden, dem Projektkosten nach dem Verursachungsprinzip zugeordnet werden können.

2.3.3 Problemanalyse der Kostenplanung für Produktentstehungsprojekte

Die im Zusammenhang mit der Kostenplanung für Produktentstehungsprojekte bestehenden Schwierigkeiten und Risiken sollen im Folgenden näher beschrieben und zu vier übergeordneten Problemfelder zusammengefasst werden.

Die Kostenplanung für Produktentstehungsprojekte ist weiter gefasst als die Kostenplanung reiner Produktentwicklungstätigkeiten. Da neben der Ermittlung der Produktentwicklungskosten auch der Aufwand für die Entwicklung des Produktionssystems frühzeitig und verlässlich vorhergesagt werden muss, ist der Schwierigkeitsgrad bei der Planung der Produktentstehungskosten höher einzustufen.

Problemfeld 1: Risiko von Kostenabweichungen

Bei der Kostenplanung besteht immer das Risiko, dass der im Vorfeld ermittelte Wert der Produktentstehungskosten von den tatsächlich anfallenden Kosten abweicht. Oftmals liegt die Ursache von Kostenabweichungen nicht in einer unzureichenden Projektdurchführung, vielmehr ist sie Folge einer mangelhaften Kostenplanung [Smi95, S. 24]. Je nachdem, ob die geplanten Kosten die tatsächlich entstehenden Kosten unter- oder überschreiten, kann dies unterschiedliche Auswirkungen für das betreffende Unternehmen haben. Bei einer zu hohen Festlegung der Kosten besteht das Risiko, dass das Entwicklungsvorhaben im Rahmen der Geschäftsplanung als wirtschaftlich unrentabel bewertet wird. In Bezug auf einen Entwicklungsdienstleister kann eine zu hoch veranschlagte Kostenplanung dazu führen, dass ein darauf beruhendes Angebot nicht mehr wettbewerbsfähig ist. Unterschreiten die Plankosten die tatsächlichen Kosten, ergibt sich im Zuge der Entwicklungstätigkeit ein Defizit, das durch andere Einnahmen der Unternehmung kompensiert werden muss. Insbesondere für Entwicklungsdienstleister besteht nicht die Möglichkeit, Defizite im Bereich der Entwicklungskosten über die anschließende Serienfertigung des Produktes auszugleichen. Hierdurch kann die Existenz des Unternehmens gefährdet werden [NB96, S. 60]. Aufgrund zahlreicher Unsicherheiten und Abweichungsrisiken kann bei der Kostenermittlung für Produktentstehungsprojekte nicht von einer deterministischen Ergebnisermittlung ausgegangen werden. Es muss - auch bei sorgfältiger Planung - immer mit einer Abweichung zwischen Plan- und Ist-Werten gerechnet werden [KHL+06, S. 146].

In der Praxis wird häufig versucht, Unsicherheiten bei der Kostenplanung durch die Verwendung von Risikoaufschlägen zu kompensieren. Dieses Vorgehen ist aufgrund des oftmals vorherrschenden Kosten- und Konkurrenzdrucks nur bedingt umsetzbar. BRONNER [Brn08, S. 6] nennt im Zusammenhang mit der Kostenermittlung für Entwicklungsdienstleister eine Abweichungsgrenze von 5%, deren Überschreitung die Ablehnung eines Angebotes und deren Unterschreitung bereits die Aufzehrung des geplanten Gewinns zur Folge haben kann.

Da die Höhe der Produktentstehungskosten für durchschnittliche Projekte mehrere Hunderttausend Euro betragen kann, führen selbst geringe prozentuale Abweichungen bei der Kostenvorhersage zu großen Abweichungen bei den absoluten Kostenwerten.

Eine Methode zur Ermittlung der Produktentstehungskosten sollte die Risiken, die bei der Kostenermittlung bestehen, adäquat berücksichtigen und aufzeigen [DGP10, S. 130].

Problemfeld 2: Ökonomisch vertretbare Durchführung der Kostenplanung

Ein weiteres Problem der Kostenplanung besteht darin, dass die Kostenermittlung mit ökonomisch vertretbaren Mitteln und - in vielen Fällen - unter Zeitdruck erfolgen muss. Die Ressourcen, die in den jeweiligen Unternehmen für die Ermittlung der Produktentstehungskosten zur Verfügung stehen, sind im Regelfall begrenzt. Insbesondere ist das Fachpersonal oftmals mit dem betrieblichen Tagesgeschäft ausgelastet und kann nur in geringem Maße Zeit für die Kostenplanung aufwenden.

Darüber hinaus führen, wie bei CORSTEN beschrieben, bei Entwicklungsdienstleistern nur etwa 5-10% der zuvor kalkulierten Angebote zum Auftrag [CCG08, S. 8]. Hieraus folgt, dass mindestens zehnmal so viele Projekte kalkuliert werden müssen, wie später auch zur Umsetzung kommen. Dies ist ein weiterer Grund dafür, weshalb der Aufwand für die Kostenermittlung so gering wie möglich zu halten ist.

Aufgrund enger Abgabefristen muss die Kostenplanung oftmals unter Zeitdruck erfolgen. Die Notwendigkeit einer schnell durchzuführenden Kostenplanung, bei der nur wenige Ressourcen gebunden werden, steht oftmals im Widerspruch zu der unter Problemfeld 1 beschriebenen Forderung nach einer hohen Ergebnisgenauigkeit.

Problemfeld 3: Informationsdefizit und mangelndes Erfahrungswissen

Unsicherheiten bei der Kostenplanung resultieren aus einem Wissensdefizit bezüglich des Ausgangszustands und/oder unzureichender Informationen über den zukünftigen Zielzustand und der Lösungswege [FSB08, S. 25]. Vor allem in frühen Phasen des Produktentstehungsprozesses liegen erst wenige Informationen vor. BERGMANN und GARRECHT sprechen in diesem Zusammenhang von einem 'Dilemma der Kostenplanung', da bereits zu einem Zeitpunkt, zu dem die erforderliche Informationsbasis noch nicht vorliegt, schon weitreichende Entscheidungen und Annahmen getroffen werden müssen [BG08, S. 227]. Fehler und Ungenauigkeiten in den Eingangsinformationen pflanzen sich bei der Kostenermittlung fort und führen somit zwangsläufig zu ungenauen Ergebnissen [Wur90, S. 165].

Gegenüber der Artikelpreiskalkulation ist bei der Projektkostenermittlung keine exakte Kostenermittlung auf der Basis von Stücklisten und Zeichnungen möglich. Die Bewertung des Entwicklungsaufwands wird im Regelfall auf der Grundlage des im Unternehmen vorhandenen Erfahrungswissens durchgeführt. Je größer der Neuheitsgrad eines

Entwicklungsvorhabens ist (z.B. Neuentwicklung), desto weniger kann bei der Kostenermittlung auf Erfahrungswissen zurückgegriffen werden. Hinzu kommt, dass Produktentstehungsprozesse aufgrund ihres iterativen Charakters nur bedingt plan- und vorhersagbar sind. Die genau benötigte Anzahl von Iterationsschleifen lässt sich *a priori* nur mit großer Unsicherheit abschätzen. Als weitere Risiken sind sich ändernde Randbedingungen, unzureichende Definition der Projektanforderungen und Fehleinschätzung des Entwicklungsgegenstandes zu nennen [Her08, S. 533], [Hol99, S. 45].

Problemfeld 4: Anwendungsspektrum und Anpassungsfähigkeit der Kostenplanung

Wie bereits in Kapitel 2.1 bei der Erläuterung des Drei-Zyklen-Modells der Produktentstehung erwähnt wurde, sind am Produktentstehungsprozess mechatronischer Systeme unterschiedliche Fachdomänen¹ involviert. Bei der Kostenplanung müssen die jeweiligen domänenspezifischen Kosteneinflussgrößen Berücksichtigung finden. So kann beispielsweise ein Kostenermittlungsverfahren, das lediglich auf der Bewertung mechanischer Einflussgrößen beruht, auch nur für die Prognose der Entwicklungskosten rein mechanischer Produkte Anwendung finden. Das Anwendungsspektrum ist in diesem Fall stark eingeschränkt, da sich das Verfahren nicht auf andere Produkte und Industriezweige übertragen lässt.

Darüber hinaus kann es in frühen Phasen des Produktentstehungsprozesses oftmals zu kurzfristigen Änderungen des Entwicklungsgegenstandes kommen, die eine Neubewertung der Produktentstehungskosten notwendig machen. Je nach Anpassungsfähigkeit der Kostenermittlungsmethode muss in solchen Fällen großer Aufwand betrieben werden, um die Kostenbewertung an die geänderten Randbedingungen anzupassen. Besitzt eine Kostenermittlungsmethode nicht die erforderliche Flexibilität in Bezug auf Änderungen, können hieraus ein hoher Bedarf an Ressourcen und zeitliche Verzögerungen bei der Neubewertung von Produktentstehungsvorhaben resultieren.

¹ In Bezug auf mechatronische Systeme sind die Fachdomänen Mechanik, Elektronik, Regelungstechnik und Softwaretechnik relevant.

3 Anforderungen an eine Methode zur Kostenplanung

In diesem Kapitel soll aufgezeigt werden, welche Anforderungs- und Bewertungskriterien für eine Methode zur Kostenermittlung relevant sind. Den Ausgangspunkt für die Ermittlung der Kriterien bilden die in Kapitel 2.3.3 dargestellte Problemanalyse und die hierin aufgeführten Problemfelder.

Als Ergebnis dieser Untersuchung soll ein Kriterienkatalog erstellt werden, mit dessen Hilfe sich die in den kommenden Kapiteln vorgestellten Verfahren zur Kostenermittlung hinsichtlich ihrer Eignung bewerten lassen. Auf Basis der späteren Methodenbewertung sollen sich Ziele für eine Verbesserung der Kostenermittlung ableiten lassen.

Für eine detailliertere Untersuchung der im Zusammenhang mit einem Verfahren zur Kostenermittlung signifikanten Anforderungen sollen im Folgenden die notwendigen Eigenschaften diskutiert und erläutert werden. Für eine übersichtliche und themenbezogene Gliederung erfolgt die Strukturierung der Anforderungen anhand der folgenden vier Kategorien (siehe Bild 3-1). Jede aufgeführte Kategorie entspricht thematisch einem der in der Problemanalyse dargestellten Problemfelder und soll dazu dienen, die mit der Kostenermittlung bestehenden Schwierigkeiten in konkrete Methodenanforderungen zu übersetzen.

Anforderungen an ein Verfahren zur Ermittlung der Produktentstehungskosten			
Ergebnisqualität und Informationsgehalt <ul style="list-style-type: none"> • Validität • Reliabilität • Messbarkeit der Prognosegüte • Stochastische Ergebnisermittlung • Nachvollziehbarkeit 	Durchführungsaufwand <ul style="list-style-type: none"> • Geringer Einsatz personeller Ressourcen • Geringe Benutzerqualifikation erforderlich • Geringer Einsatz materieller Ressourcen 	Informationsbedarf <ul style="list-style-type: none"> • Geringer Bedarf an retrograden Informationen • Geringer Bedarf an anterograden Informationen 	Anwendungsspekt. und Flexibilität <ul style="list-style-type: none"> • Großes Anwendungsspektrum • Flexibilität

Bild 3-1: Anforderungskategorien in Bezug auf die Methodik

3.1 Ergebnisqualität und Informationsgehalt

Die Anforderungskategorie Ergebnisqualität und Informationsgehalt setzt sich mit der in der Problemanalyse (Problemfeld 1) beschriebenen Gefahr von Kostenabweichungen und den damit verbundenen Risiken auseinander. Die im Folgenden beschriebenen Methodenanforderungen sollen diesem Problem Rechnung tragen.

Eine Methode zur Kostenermittlung liefert als Ergebnis eine Aussage über den im Zusammenhang mit einem Produktentstehungsprojekt anfallenden Projektaufwand. Das

Ergebnis kann hierbei als Kostenwert, als Zeitdauer oder als Wert für den Personalaufwand ausgegeben werden [Bur08, S. 172]. Die Ergebnisqualität ist ein Indikator dafür, wie gut die ermittelten Werte mit dem tatsächlich entstandenen Aufwand übereinstimmen [Wil99, S. 155]. WURL nennt im Zusammenhang mit Informationssystemen die heuristische Kraft als charakteristische Bewertungskategorie für die Ergebnisqualität [Wur90, S. 89ff.]. Unter dem Oberbegriff heuristische Kraft wird die Eignung eines Verfahrens verstanden, bestimmte Problemstellungen – in diesem Fall die Kostenermittlung – zu lösen. Die heuristische Kraft eines Verfahrens zur Kostenermittlung ist in erster Linie in ihrer Validität und Reliabilität begründet.

Die Validität ist ein Maß für Genauigkeit, Vollständigkeit und Realitätskonformität. Sie gibt an, wie gut die unter Anwendung der Methode gewonnenen Ergebnisse die Wirklichkeit widerspiegeln. So setzt beispielsweise eine maximale Validität voraus, dass keine Abweichungen zwischen Prognose und Realität bestehen.

Die Reliabilität hingegen ist ein Maß für Zuverlässigkeit, Reproduzierbarkeit und Robustheit gegenüber zufälligen Störgrößen. Eine geringe Reliabilität besteht beispielsweise dann, wenn es aufgrund subjektiver Einflüsse zu Ergebnisstreunungen kommen kann. Vor allem, wenn die Methode von mehreren Personen angewendet wird, ist die Reliabilität ein entscheidendes Kriterium [Lit93, S. 130].

Eine große Validität bedingt auch immer eine hohe Reliabilität, wobei Reliabilität keine hinreichende Bedingung für Validität ist [Str99, S. 56f.]. Da es also möglich ist, dass eine Methode eine hohe Reliabilität besitzt, aber aufgrund anders gearteter systematischer Mängel keine realitätsnahen Ergebnisse liefert, sollen unter dem Gliederungspunkt Ergebnisqualität und Informationsgehalt beide Messgrößen berücksichtigt werden.

Die Beurteilung der Ergebnisqualität eines Verfahrens kann oftmals nur pauschal und ohne konkrete Anhaltspunkte erfolgen. Wie gut das Verfahren die Realität widerspiegelt, zeigt sich erst Jahre später nach Abschluss des Projektes. Insofern besitzen Verfahren, bei denen frühzeitig die Ergebnisqualität für einen spezifischen Anwendungsfall messbar ist, einen großen Vorteil und helfen, die mit der Kostenermittlung verbundene Unsicherheit zu quantifizieren. Auch die Auswahl und die Anpassung eines Verfahrens in Bezug auf ein bestimmtes Untersuchungsobjekt und in Bezug auf die individuellen Gegebenheiten eines Unternehmens, bedingen eine objektive Messbarkeit der Ergebnisqualität.

Da die Ermittlung von Projektkosten keine exakte Wissenschaft ist, ist auch bei sorgfältiger Planung immer mit Kostenabweichungen zu rechnen [KHL+06, S. 146]. Aus diesem Grund erscheint es sinnvoll, das Ergebnis einer Kostenermittlung nicht als deterministische Größe, sondern als stochastisches Ergebnisintervall auszugeben. Eine Methode zur Kostenermittlung sollte eine stochastische Ergebnisdarstellung mit Angabe der Kostenober- und -untergrenzen unterstützen.

Neben den genannten Anforderungen ist es wichtig, dass eine Methode in ihrer Funktion und Anwendungssystematik transparent ist [Fis08, S. 164f.]. Der Weg, mit dem das Ergebnis ermittelt wird, muss für den Anwender nachvollziehbar sein. Wenn, ähnlich einer 'blackbox', nicht durchschaubar ist, wie die Methode funktioniert, wird dieser unabhängig von der Ergebnisqualität wenig Akzeptanz und Vertrauen entgegengebracht werden.

3.2 Durchführungsaufwand

Unter dem Begriff Durchführungsaufwand sollen diejenigen Anforderungskriterien zusammengefasst werden, die sich auf das in der Problemanalyse beschriebene Problemfeld der ökonomischen Vertretbarkeit der Kostenplanung (Problemfeld 2) beziehen.

Zunächst kann unterstellt werden, dass bei einer Methode zur Kostenermittlung ein ausgewogenes Verhältnis zwischen dem im Rahmen der Durchführung entstehenden Aufwand und dem Nutzen in Form von Aussagekraft und Genauigkeit bestehen sollte [Fis08, S. 164]. Dieses Verhältnis wird gemeinhin als Effizienz bezeichnet.

In der einschlägigen Literatur werden Aufwand und Informationsbedarf, die im Zusammenhang mit der Anwendung einer Methode anfallen, oftmals unter dem Begriff Ressourcenmächtigkeit zusammengefasst. Die Ressourcenmächtigkeit resultiert aus dem Bedarf an Primärinformationen, dem Bedarf an menschlicher Arbeitskraft sowie der Notwendigkeit von materiellen Einsatzgütern [KBG+73, S. 456]. Mit Blick auf den Bewertungskatalog sollen die Oberbegriffe Durchführungsaufwand und Informationsbedarf (siehe Kapitel 3.3) zur besseren Übersichtlichkeit als eigenständige Bewertungsgruppen aufgeführt werden.

Es gilt, den mit der Kostenermittlung verbundenen Aufwand so gering wie möglich zu halten, da vor allem bei Entwicklungsdienstleistern nur eine begrenzte Anzahl der kalkulierten Projekte auch zum Auftrag führt [CCG08, S. 14]. Insofern muss eine Methode zur Kostenermittlung auch immer unter ökonomischen Gesichtspunkten vertretbar sein [Fis08, S. 131], [Bur08, S. 166].

Da Angebotskalkulationen aufgrund enger Abgabefristen oftmals unter Zeitdruck erfolgen müssen, sollte die Anwendung einer Methode zur Kostenermittlung mit möglichst geringen Bearbeitungszeiten verbunden sein¹ [FHJ+95, S. 143f.].

Als Bewertungskriterien für den Durchführungsaufwand sollen der Bedarf an personellen Ressourcen, die erforderliche Benutzerqualifikation und der Bedarf an materiellen Ressourcen herangezogen werden. Der Bedarf an personellen Ressourcen bemisst sich daran, wie viel Arbeitszeit für die Kostenprognose aufgewendet werden muss. Hierbei

¹ Kostenermittlungsverfahren, die sich mit geringem Zeitaufwand durchführen lassen, werden in der Literatur auch mit dem Begriff 'Kurz kalkulationsverfahren' bezeichnet (siehe hierzu auch [FHJ+95], [EKL05]).

muss zwischen dem zeitlichen Aufwand für die erstmalige Erstellung und dem Aufwand für die Anwendung der Methode differenziert werden.

Neben der rein quantitativen Betrachtung des Arbeitsaufwands muss auch immer berücksichtigt werden, von welchem Personenkreis die Arbeiten ausgeführt werden müssen. Einige Methoden basieren auf dem Urteilsvermögen gleich mehrerer Fachexperten, die unter Umständen nicht immer verfügbar und aufgrund anderweitiger Aufgaben innerhalb des Unternehmens nur schwer verzichtbar sind. Bei anderen - stark systematisierten - Methoden kann das Arbeitsaufkommen in weiten Teilen von Sachbearbeitern bewältigt werden. In die Verfahrensbeurteilung soll auch einfließen, ob bei dem jeweiligen Entwicklungsvorhaben neben dem Erfahrungswissen auch spezielles Expertenwissen bezüglich der Anwendung der Methode benötigt wird.

Als letztes Kriterium für den Durchführungsaufwand soll der erforderliche Einsatz von materiellen Ressourcen genannt werden. In der einschlägigen Literatur wird im Zusammenhang mit materiellen Ressourcen oftmals der Einsatz von Computern erwähnt. Aufgrund des technischen Fortschritts stellt eine solche Forderung aus heutiger Sicht keinen berechtigten Nachteil mehr dar. Selbst komplexere Anwendungen, wie die im späteren Verlauf dieser Arbeit erwähnte mathematische Optimierung, lassen sich problemlos auf konventionellen Einzelplatzrechnern ausführen. Ein besonderer materieller Aufwand entsteht hingegen, wenn der Einsatz spezieller Software, wie beispielsweise Statistikprogramme oder Datenbanken, erforderlich ist.

3.3 Informationsbedarf

Die Anforderungskategorie Informationsbedarf befasst sich mit den in der Problemanalyse beschriebenen Schwierigkeiten hinsichtlich unzureichender Informationen und mangelnden Erfahrungswissens bei der Kostenermittlung (Problemfeld 3).

Anhand verschiedener Beurteilungskriterien soll der Bedarf an Primärinformationen, der für die Anwendung der Methode erforderlich ist, bewertet werden. Als Messgrößen für den Informationsbedarf nennt WURL [Wur90, S. 92] die Art, die Qualität und die Quantität an benötigten Informationen. Je geringer der Informationsbedarf einer Methode ausgeprägt ist, desto universeller und flexibler ist die Methode einsetzbar. Dem ist gegenüberzustellen, dass eine Methode, die auf einer dünnen Informationsbasis aufbaut, nur bedingt realitätsnahe Ergebnisse liefern kann. Es kann unterstellt werden, dass eine positive Korrelation zwischen dem Informationsbedarf und der Ergebnisqualität einer Methode besteht. Je nach Bezugnahme soll zwischen retrogradem und anterogradem Informationsbedarf unterschieden werden.

Der retrograde Informationsbedarf bezieht sich auf die Erfahrungsdaten aus bereits abgeschlossenen Entwicklungsprojekten. Viele der in der Literatur erwähnten Verfahren basieren auf einer retrospektiven, empirischen Ermittlung der Kostenwerte und benötigen daher eine entsprechende Informationsbasis. Retrograde Informationen können nur

vorliegen, wenn innerhalb der betreffenden Organisation bereits mehrere Entwicklungsvorhaben ähnlicher Ausprägung durchgeführt wurden und eine ausreichende Dokumentation der Kosteninformationen erfolgt ist. Vor allem Methoden, die auf einer statistischen Auswertung der historischen Projektdaten beruhen, stellen hohe Anforderungen an die Quantität verfügbarer Datensätze, da bei zunehmender Informationsbasis die Ergebnisqualität steigt (Gesetz der großen Zahlen).

Der anterograde, in die Zukunft gerichtete Informationsbedarf beinhaltet die Informationen, die für das abzuschätzende Entwicklungsvorhaben erforderlich sind. Hierzu zählen beispielsweise Anfrageschreiben, Lastenhefte, Beschreibungen des Entwicklungsgegenstands oder sonstige Spezifikationen. Üblicherweise liegt in frühen Phasen von Entwicklungsprojekten noch keine Informationsbasis vor, die eine detaillierte Planung des Entwicklungsvorhabens erlaubt [BG08, S. 227]. Verlässliche Informationen bezüglich der Projektstruktur und der Projektabläufe ergeben sich erst in fortgeschrittenen Phasen der Projektplanung [Bur08, S. 181]. Aus diesem Grund ist der Bedarf an anterograden Primärinformationen gleichermaßen ein Indikator dafür, ob sich eine Methode bereits in frühen Phasen des Entwicklungsprojektes für die Kostenermittlung eignet.

Für jedes Verfahren muss im Einzelfall geprüft werden, ob die benötigten Informationen im jeweiligen Unternehmen zur Verfügung stehen oder sich ohne größeren Aufwand ermitteln lassen.

3.4 Anwendungsspektrum und Flexibilität

Unter dem Begriff Anwendungsspektrum soll aufgezeigt werden, in welchen Entwicklungsbereichen der Einsatz der Methode möglich ist. Je nach Neuheitsgrad der Entwicklungstätigkeit unterscheidet man zwischen Neu-, Anpassungs- und Variantenentwicklung sowie Entwicklungsstudien [Red06, S. 94ff.]. Je höher der Neuheitsgrad eines Entwicklungsvorhabens ausgeprägt ist, umso schwieriger lässt sich die Vorhersage des potentiellen Entwicklungsaufwands bewerkstelligen. Darüber hinaus sinkt mit steigendem Neuheitsgrad zwangsläufig die Verfügbarkeit an Erfahrungswissen aus bereits abgeschlossenen Projekten. Insbesondere Methoden, für deren Durchführung ein großer Bedarf an retrograden Projektinformationen besteht, können nur bedingt für die Kostenschätzung von Projekten mit hohem Neuheitsgrad eingesetzt werden. Darüber hinaus soll sich die Methode auf eine möglichst große Reihe von Erzeugnissen verschiedener Industriezweige übertragen lassen. Eine wesentliche Voraussetzung für die universelle Nutzung des Verfahrens besteht darin, dass es sich auf alle, in Bezug auf den Produktentstehungsprozess relevanten Fachdisziplinen (Mechanik, Elektronik, Informatik, Regelungstechnik) und deren Zusammenspiel anwenden lässt.

Der Begriff Flexibilität soll die Eigenschaft einer Methode, sich an die wechselnden Gegebenheiten der Entwicklungsumgebung anzupassen, widerspiegeln. Eine hohe Anpassungsfähigkeit des Verfahrens ist dann von Vorteil, wenn sich die Basisinformationen (anterograde Informationen), auf denen die ursprüngliche Kostenermittlung erfolgt

ist, nachträglich ändern. Da Entwicklungsvorhaben durch Iterationen und Optimierungsvorgänge geprägt sind, kann von einem hohen Änderungsaufkommen ausgegangen werden [EKL05, S. 145]. Das Verfahren sollte sich flexibel auf die geänderten Randbedingungen adaptieren lassen und eine effiziente Neubewertung bei Änderungen ermöglichen.

3.5 Bewertungsmatrix

Die genannten Bewertungskriterien werden im Folgenden zu einer Bewertungsmatrix zusammengefasst. Mit Hilfe der Matrix sollen die Stärken und Schwächen bestehender Verfahren zur Kostenermittlung aufgezeigt werden. Wie in Tabelle 3-1 zu sehen ist, erfolgt für jedes Kriterium eine Einschätzung darüber, inwieweit die jeweilige Methode die genannten Anforderungen erfüllt.

Bei der Herleitung der Kriterien zeigte sich bereits, dass deren Ausprägung nicht immer exakt und objektiv messbar ist. So ist beispielsweise die Ergebnisqualität eines Kostenermittlungsverfahrens, das auf der Schätzung eines Experten beruht, maßgeblich von dessen Erfahrungswissen und Einschätzungsvermögen abhängig [Bur08, S. 238]. Um dennoch eine tendenzielle Aussage vornehmen zu können, muss auf eine qualitative Bewertung der Kriterien zurückgegriffen werden.

Anhand einer dreistufigen Bewertungsskala (siehe Tabelle 3-1) kann beurteilt werden, ob die jeweilige Anforderung voll, teilweise oder gar nicht erfüllt wird. Je nach Erfüllungsgrad wird das entsprechende Symbol in die Matrix eingetragen. Eine solche ordinalskalierte Bewertung kann zwar keine Information darüber liefern, wie weit der exakte Abstand zweier Verfahren ist, ermöglicht es aber, eine Rangordnung hinsichtlich des Erfüllungsgrades anzulegen [Kah01, S. 73f.]. Auf eine feinere Abstufung der Bewertungsskala soll an dieser Stelle bewusst verzichtet werden, da eine feine Skalierung auch immer eine Genauigkeit vermuten lässt, die bei einer subjektiven Einschätzung im Rahmen des Paarvergleichs nicht gegeben ist [MH10, S. 204].

Eine Gewichtung der Kriterien, wie sie beispielsweise bei der Nutzwertanalyse (Scoring-Modell) durchgeführt wird, soll nicht erfolgen. Die Bedeutung der einzelnen Anforderungen kann je nach Anwendungsfall und Unternehmen stark variieren. Darüber hinaus bestehen - wie sich bei der Herleitung der Verfahrensanforderungen gezeigt hat - mitunter Interdependenzen zwischen den Kriterien. So kann unter anderem davon ausgegangen werden, dass eine Korrelation zwischen dem Informationsbedarf und der Validität einer Methode besteht. Diese enge Verknüpfung der Kriterien würde eine Priorisierung zusätzlich erschweren. Außer Frage steht dennoch, dass die Anforderungen an Ergebnisqualität und Informationsgehalt einer Methode von besonderer Wichtigkeit sind.

Tabelle 3-1: Bewertungsmatrix zur Analyse von Kostenermittlungsmethoden

Wie gut erfüllen die untersuchten Methoden (Spalten) die Anforderungen (Zeilen) an die Methodik?			Methoden zur Kostenermittlung		
<input checked="" type="radio"/>	voll erfüllt				
<input type="radio"/>	teilweise erfüllt				
<input type="radio"/>	nicht erfüllt				
Anforderungen an die Methodik	Ergebnisqualität und Informationsgehalt	Validität			
		Reliabilität			
		Messbarkeit der Prognosegüte			
		Stochastische Ergebnisermittlung			
		Nachvollziehbarkeit			
	Durchführungsaufwand	Geringer Einsatz personeller Ressourcen			
		Geringe Benutzerqualifikation erforderlich			
		Geringer Einsatz materieller Ressourcen			
	Informationsbedarf	Geringer Bedarf an retrograden Informationen			
		Geringer Bedarf an anterograden Informationen			
	Anwendungsspektrum und Flexibilität	Großes Anwendungsspektrum			
		Flexibilität			

4 Stand der Technik

In diesem Kapitel werden die in der einschlägigen Literatur erwähnten Verfahren und Ansätze zur Kostenermittlung für Entwicklungsvorhaben vorgestellt, analysiert und vor dem Hintergrund der Ziele dieser Arbeit bewertet.

Ein Verfahren, das explizit für die Ermittlung von Produktentstehungskosten konzipiert wurde und neben den Produktentwicklungskosten auch die Kosten für die Entwicklung des Produktionssystems berücksichtigt, ist bislang noch nicht veröffentlicht worden. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass sich der methodische Ansatz, insbesondere von Kostenermittlungsverfahren aus dem Bereich der Produktentwicklung, weitestgehend auf die Bewertung von Produktentstehungskosten übertragen lässt.

In der Literatur werden im Zusammenhang mit der Kostenermittlung vor allem Ansätze zur Ermittlung von Produktkosten (Herstellkosten) erwähnt. Diese haben ihre Ursprünge in der industriellen Produktion wenig komplexer Produkte und sind somit nicht undifferenziert auf andere Anwendungen übertragbar [Stel09, S. 175]. So liegen beispielsweise im Gegensatz zur Artikelkalkulation im Bereich der Entwicklung zum Anfragezeitpunkt oftmals noch keine klaren Vorgaben vor, auf die sich die Kostenermittlung stützen kann [Brn08, S. 74]. Darüber hinaus gibt es gravierende Unterschiede bei den Kosteneinflussgrößen. Bei der Ermittlung der Herstellkosten sind vor allem Größen wie Ausbringungsmenge und Stückzahl relevant. Bei der Ermittlung von Produktentstehungskosten sind hingegen die Vielfalt und Komplexität der zu entwickelnden Produkte und des Produktionssystems von Bedeutung.

Eine weitere Gruppe der Kostenermittlungsverfahren dient der allgemeinen Bewertung von Projektvorhaben. Hierzu zählen neben Entwicklungsvorhaben auch Bauvorhaben, Managementprojekte und Forschungsprojekte. Die spezifischen Anforderungen und Gegebenheiten von Produktentstehungsprojekten werden bei diesen allgemeingültigen Verfahren nicht immer berücksichtigt.

Für die Ermittlung von Entwicklungskosten speziell ausgewiesene Verfahren beziehen sich vorrangig auf Softwareprodukte. Bei diesen Methoden bilden softwarespezifische Einflussgrößen, wie beispielsweise die Anzahl an Programmzeilen oder die Softwarearchitektur, die Basis für die Kostenermittlung¹.

Die auf den folgenden Seiten vorgestellten Verfahren unterscheiden sich in ihrer Vorgehensweise, und in der Art von Quell- und Zieldaten. Die Bandbreite reicht von intuitiven Vorhersagen bis zu streng determinierten Algorithmen. Entsprechend ihrer methodischen Vorgehensweise lassen sich die Verfahren zur Kostenermittlung in verschiedene Gruppen kategorisieren. Ausschlaggebend hierfür ist immer der generelle Ansatz

¹ Siehe hierzu [DeM04], [Hen01], [Sne05]

der Kostenermittlung. Im Rahmen dieser Arbeit soll zwischen subjektiven Beurteilungsverfahren, Verhältnisverfahren, Relationsverfahren und parametrischen Verfahren unterschieden werden (siehe Bild 4-1).

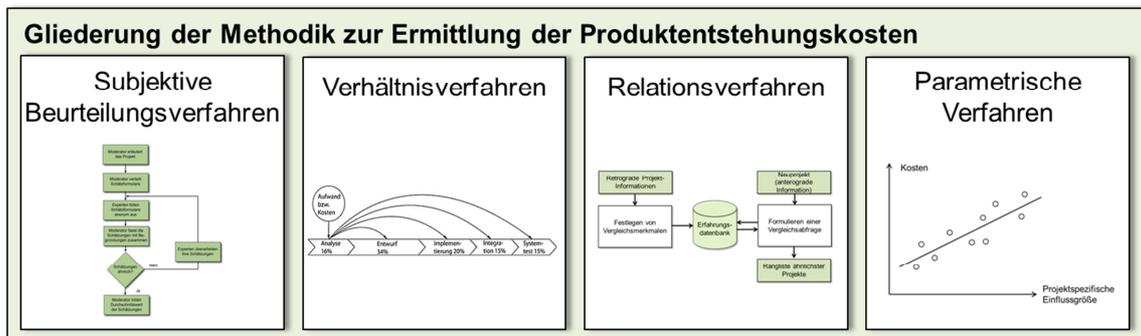


Bild 4 -1: Gliederung der Kostenermittlungs-Methodik für Produktentstehungsprojekte in vier Verfahrensgruppen

Bei der Zuordnung der Verfahren fällt auf, dass der Übergang zwischen den Verfahrensgruppen mitunter fließend ist. Darüber hinaus beruhen einige Verfahren auf einer Kombination der genannten Ansätze.

Wie bereits in Kapitel 2.3.2 erwähnt wurde, ist es bei der Anwendung einiger Verfahren zunächst erforderlich, das Gesamtprojekt in einzelne Segmente (Kostenstruktur) zu untergliedern. Je nach Detaillierungsgrad können die Projektsegmente einzelne Projektphasen, Kostenstellen, Prozesse oder Arbeitspakete widerspiegeln. Insofern muss bei der Untersuchung der verschiedenen Verfahren neben dem methodischen Ansatz der Kostenermittlung auch immer die Kostenstrukturierung des Projektes berücksichtigt werden. Neben dem Strukturierungsansatz unterscheiden sich die Verfahren auch darin, in welcher Weise das Ergebnis ausgegeben wird. Die meisten Verfahren basieren auf einer deterministischen Ergebnisdarstellung (Punktschätzung) und berücksichtigen die mit der Kostenermittlung verbundenen Risiken daher nur bedingt. Verfahren, die eine stochastische Ergebnisermittlung ermöglichen, geben unter Einbeziehung subjektiver oder objektiver Wahrscheinlichkeiten ein Vertrauensintervall für das Ergebnis an.

In der einschlägigen Literatur¹ wird an einigen Stellen der Versuch unternommen, die im Zusammenhang mit einer bestimmten Kostenermittlungsmethode zu erwartende Ergebnisgenauigkeit zu quantifizieren. Auf eine solche quantitative Bewertung soll an dieser Stelle bewusst verzichtet werden. Die Genauigkeit eines Verfahrens hängt stark von dessen Ausprägung und Detaillierungsgrad ab und kann nur spezifisch für einen konkreten Anwendungsfall bestimmt werden. Diese These wird auch durch die teilweise großen Unterschiede zwischen den in der Literatur aufgeführten Genauigkeitswerten gestützt.

¹ Siehe hierzu [Bur08], [Lit93], [RSS89]

4.1 Subjektive Beurteilungsverfahren

Die subjektiven Beurteilungsverfahren¹ gehören zu den einfachsten und am weitesten verbreiteten Verfahren der Kostenermittlung [Bur08, S. 237f.]. Die potentiellen Kosten werden hierbei durch die subjektive Einschätzung von einer oder mehreren Personen veranschlagt. Die Bandbreite reicht von einer intuitiven Schätzung bis zu systematischen Befragungsrunden, die mit mehreren Fachexperten durchgeführt werden. Charakteristisch ist bei allen Ausprägungen der Verfahrensgruppe, dass die subjektive Beurteilung nur auf Grund von Erfahrungen ohne eine explizite Berücksichtigung der Kosteneinflussgrößen erfolgt [VDI2235, S. 31], [RSS89, S. 336].

Da eine unmittelbare Schätzung der Gesamtkosten erhebliche Schwierigkeiten und Unsicherheiten mit sich bringen würde, wird in vielen Fällen zunächst eine Untergliederung des Projektes in geeignete Unterbestandteile vorgenommen. Daher basieren viele subjektive Beurteilungsverfahren auf einer vorhergehenden Kostenstrukturierung. In der Literatur wird im Zusammenhang mit der Kostenstrukturierung unter anderem die Gliederung nach Projektstrukturplänen [Erl72], Projektsegmenten [Schu95], Netzplänen [Erg06] und Prozessen [Hol99] beschrieben.

Darüber hinaus ist davon auszugehen, dass es den Befragten leichter fällt, eine Einschätzung der für die Projektdurchführung erforderlichen Arbeitszeit vorzunehmen, als direkt einen Kostenwert zu veranschlagen. Aus diesem Grund erfolgt zunächst eine Abschätzung des benötigten Zeitbedarfs. Im nächsten Schritt werden unter Zuhilfenahme der jeweiligen Stundenverrechnungssätze die Kosten ermittelt. Durch Kumulierung der Kosten der Unterbestandteile gelangt man zu den Projektgesamtkosten.

4.1.1 Einzelbefragung

Bei einer Einzelbefragung findet eine Abschätzung der Projektkosten nur durch eine Person statt. Da die Schätzqualität in diesem Fall maßgeblich von dem Erfahrungswissen des Befragten abhängt, sollte es sich hierbei um einen Experten handeln, der ein umfangreiches Fachwissen über das jeweilige Entwicklungsvorhaben besitzt [Bro77, S. 75]. Je nachdem, wie fein das Entwicklungsvorhaben zuvor strukturiert wurde, erfolgt die Kostenschätzung entweder pauschal für das Gesamtprojekt oder sehr detailliert auf der Basis einzelner Arbeitsgänge.

4.1.1.1 PERT/Cost-Verfahren

Das PERT/Cost-Verfahren beruht auf einer Kombination von Einzelbefragung und Netzplantechnik. PERT (Program Evaluation and Review Technique) ist eine spezielle Form des Ereignis-Knoten-Netzplans, die 1958 anlässlich der Entwicklung der Polaris-

¹ Die subjektiven Beurteilungsverfahren werden nach VDI 2235 auch als Schätzkalkulation bezeichnet.

Rakete erarbeitet wurde. Neben der Strukturierung des Projektes kann der PERT-Netzplan auch für die Ermittlung des Personalaufwands und zur Ressourcenplanung genutzt werden. Die Ermittlung des Personalbedarfs soll hierbei von einem Experten durchgeführt werden, der für jedes Netzplan-Element eine Abschätzung des Arbeitsaufwands vornimmt [DOD62, S. 4ff.]. Anschließend werden auf der Grundlage des Personalbedarfs die Kosten für den jeweiligen Vorgang berechnet [Mor94, S. 33ff.]. Da bei der Netzplanung die Vorgänge nach ihrer zeitlichen Abfolge gegliedert werden [BF68, S. 52], lässt sich mit Hilfe des PERT/Cost-Verfahrens auch der Verlauf der Kosten über die Projektlaufzeit abbilden.

4.1.1.2 Projektkostenrechnung nach ERGENZINGER

Die Projektkostenrechnung nach ERGENZINGER [Erg06] basiert ebenfalls auf der Einzelbefragung. Mit Hilfe der Netzplantechnik wird eine ablauforientierte Strukturierung des Projektes vorgenommen. Bei der Kostenveranschlagung wird besonderes Gewicht darauf gelegt, die bei wiederholter Ausführung von Arbeitsvorgängen auftretenden Lerneffekte zu berücksichtigen. Hierfür werden Lern- und Verlerneffekte zwischen den einzelnen Netzplan-Vorgängen einkalkuliert. Der für die Durchführung eines Arbeitsvorgangs benötigte Zeitbedarf nimmt mit steigender Anzahl der Vorgangswiederholungen ab. Je nachdem, ob die sich wiederholenden Vorgänge identisch oder nur teilweise gleich sind, wird zwischen vollständiger und partieller Lernübertragung unterschieden. Neben einer Kostenschätzung müssen alle Netzplanelemente hinsichtlich Gleichheit und Ähnlichkeit untersucht werden. Diese Einschätzung obliegt dem subjektiven Urteil des Befragten. Die Kosten aufeinanderfolgender gleichartiger Vorgänge werden anhand einer logarithmisch-linearen Lernkurve reduziert (siehe Gleichung 4-1). Hierbei können sich Kosteneinsparungen von 15 bis 35% ergeben.

$$y = ax^b$$

Gleichung 4-1: Berechnung des Projektaufwands unter Berücksichtigung von Lerneffekten (nach: [Erg06])

- y: Aufwand für die betreffende Aufwandseinheit
- a: Aufwand für den ersten Vorgang
- x: kumulierte Anzahl der Vorgänge
- b: Lernkoeffizient¹
- L: Lernrate

¹ Lernkoeffizient = $-\log_2 L$; $b \geq 0$; unter Zugrundelegung einer standardförmigen Lernkurve (80%-Lernkurve) ergibt sich ein Wert von $b = -0,322$

4.1.1.3 Projektalternativplan-Verfahren nach ERLÉN

Das Projektalternativplan-Verfahren nach ERLÉN [Erl72] basiert auf einer Untergliederung anhand von Projektstrukturplänen. Ausgehend von den hierarchisch niedrigsten Elementen des Projektstrukturplans wird im Rahmen einer Einzelbefragung ein Kosten- bzw. Zeitwert veranschlagt. Da sich in frühen Phasen die genaue Projektstruktur noch nicht mit Bestimmtheit vorhersagen lässt, werden im Projektstrukturplan alternative Vorgänge berücksichtigt. Wie in Bild 4-2 zu sehen ist, werden für die Unterelemente von Vorgang K_1 mit Hilfe einer Oder-Verknüpfung zwei alternative Möglichkeiten (${}_aK_1$ und ${}_bK_1$) aufgezeigt. Bei einem solchen Vorgehen muss der Schätzende zusätzlich zu den Kosten der Vorgänge auch deren Eintrittswahrscheinlichkeit abschätzen. In dem aufgeführten Beispiel wird die Eintrittswahrscheinlichkeit von ${}_aK_1$ mit 60% und die von ${}_bK_1$ mit 40% bewertet. Unter Berücksichtigung der Kosten der Einzelelemente und deren Realisierungswahrscheinlichkeiten liefert das Projektalternativplan-Verfahren als Ergebnis eine Kostenverteilungsfunktion, die aufzeigt, mit welcher Wahrscheinlichkeit bestimmte Kosten zu erwarten sind.

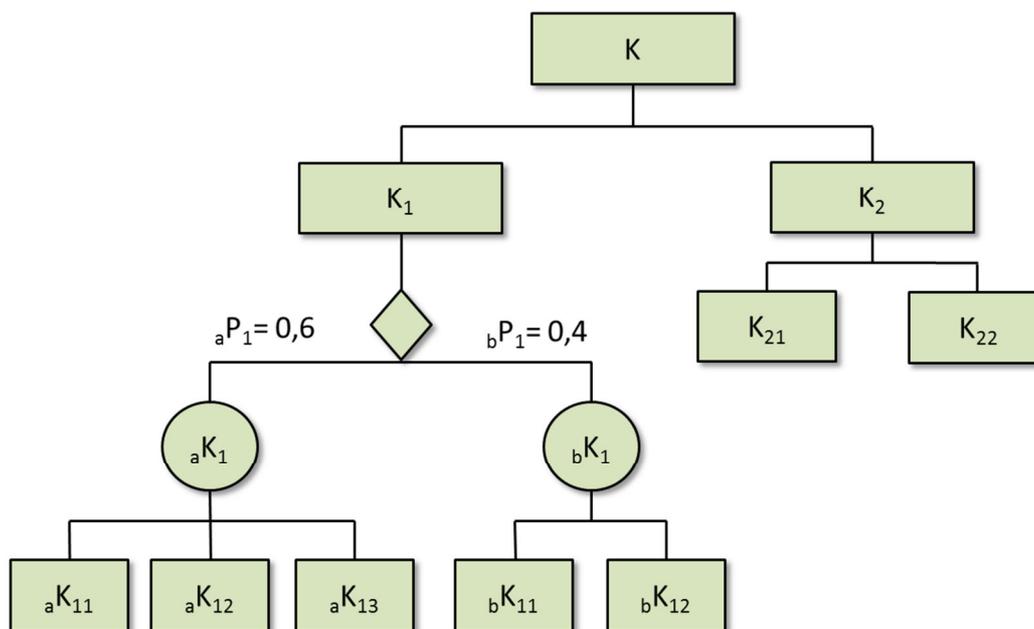


Bild 4-2: Projektalternativplan (nach: [Erl72])

4.1.1.4 Pfadkostenrechnung nach LINDEMANN et al.

Die Pfadkostenrechnung zur Ermittlung von Entwicklungskosten nach LINDEMANN, HELLENBRAND und MÖRTEL stellt eine Sonderform der ressourcenorientierten Prozesskostenrechnung dar. Hierbei wird der Ablauf der Produktentwicklung in einzelne Prozessschritte untergliedert. Jeder Prozess kann in eine beliebige Anzahl von Subprozessen detailliert werden [GLL12, S. 126ff.]. Für jeden Prozessschritt erfolgt eine Abschätzung bezüglich des potentiellen Ressourcenverbrauchs (Kosten, Arbeitsstunden, etc.). Um Unsicherheiten bei der Beurteilung der Prozesse zu berücksichtigen, ist eine

stochastische Beschreibung des Ressourcenverbrauchs auf Grundlage von Verteilungsfunktionen möglich. Je nach Einschätzung können vom Methodenanwender unterschiedliche Wahrscheinlichkeitsverteilungen (z.B. Normalverteilung, Dreiecksverteilung) gewählt werden. Die Ergebnisermittlung der Gesamtkosten erfolgt mit Hilfe der Monte-Carlo-Simulation. Die stochastische Simulation soll die Auswirkungen der vorab abgeschätzten Unsicherheiten bei der Kostenermittlung berücksichtigen. Die Ergebnisausgabe erfolgt in Form einer Kostenverteilungsfunktion.

4.1.2 Gruppenbefragung

Gegenüber der Einzelbefragung werden bei der Gruppenbefragung mehrere Fachexperten mit der Kostenschätzung betraut. Durch das Hinzuziehen mehrerer Experten (Expertenrat) wird im Gegensatz zur Einzelbefragung fast immer eine Verringerung des Vorhersagefehlers erreicht [Fis08, S. 140], [Bur08, S. 238]. Die Schätzgruppe sollte idealerweise heterogen aus den am Entwicklungsprojekt beteiligten Abteilungen zusammengesetzt sein.

Auch bei der Gruppenbefragung erfolgt zunächst eine Strukturierung des Projektes in gut abschätzbare Unterbestandteile. Anschließend nehmen die Experten entweder anonym oder in öffentlicher Runde eine Abschätzung von Arbeitsaufwand und Kosten vor. Im Regelfall wird nach Abschluss der Befragung der Mittelwert oder Median der verschiedenen Expertenschätzungen als Ergebnis ausgewiesen. Bei einem solchen Vorgehen ist es sinnvoll, vor der Schätzung eine maximale Varianz zu definieren, mit der die Schätzwerte vom Mittelwert abweichen dürfen [Lit05, S. 491]. Bei Überschreitung dieser Varianz, und damit einhergehenden großen Abweichungen zwischen den Aussagen der Befragten, muss die Qualität des Ergebnisses angezweifelt werden. In einem solchen Fall sollte versucht werden, mehr Informationen über den Schätzgegenstand zu sammeln und auf dieser Basis eine erneute Schätzung durchzuführen.

Grundsätzlich lässt sich sagen, dass mit zunehmender Anzahl der an der Kostenermittlung beteiligten Personen individuelle Fehleinschätzungen weniger ins Gewicht fallen. Dem Zugewinn an Genauigkeit ist wiederum der hohe personelle Aufwand gegenüberzustellen, der aus der großen Anzahl beteiligter Personen resultiert. Auch die Gefahr von opportunen Schätzungen ist im Zusammenhang mit nicht anonymisierten Gruppenbefragungen zu nennen [Bur08, S. 238].

4.1.2.1 Projektsegmentplan-Verfahren nach SCHULTZ

Ein Verfahren, das unter anderem auf den Abschätzungen von Expertengruppen beruht, ist das Projektsegmentplan-Verfahren nach SCHULTZ [Schu95]. Wie in Abbildung 4-3 zu sehen ist, werden im ersten Schritt bestimmte Arbeitspakete des Projektstrukturplans zu projekttypischen Segmenten gebündelt. Die daraus entstehende Struktur wird als Projektsegmentplan bezeichnet. SCHULTZ unterscheidet zwischen solchen Segmenten,

deren Leistungsinhalt aus vorherigen Projekten bekannt ist und solchen, die mit Hilfe eines Expertenrates abgeschätzt werden müssen. Bei der Kostenschätzung für die unbekannten Segmente soll ähnlich wie bei ERLÉN [Erl72] eine stochastische Ergebnisermittlung unter Angabe von Eintrittswahrscheinlichkeiten erstellt werden. Um die Wahrscheinlichkeit der Höhe der Kosten beschreiben zu können, müssen seitens des Expertenrates für jedes Kostensegment die minimalen Kosten (optimistische Schätzung), die maximal vorstellbaren Kosten (pessimistische Schätzung) und die wahrscheinlichen Kosten abgeschätzt werden. Unter Zugrundelegung dieser drei Kostenwerte lässt sich die Wahrscheinlichkeitsverteilung für jedes Projektsegment definieren. Alternative Projektabläufe werden beim Projektsegmentplan-Verfahren nicht berücksichtigt.

Durch Aggregation der Segmente erhält man die Kosten- und Wahrscheinlichkeitswerte für das Gesamtprojekt.

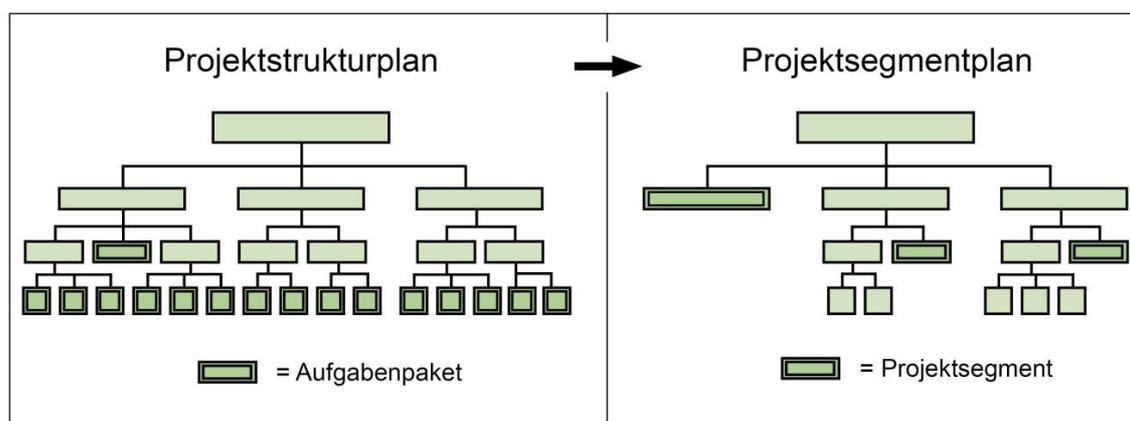


Bild 4-3: Projektsegmentplan (nach: [Schu95])

4.1.2.2 Delphi-Methode

Die Delphi-Methode (Consensus Panel) ist eine spezielle Form der Gruppenbefragung. Das Verfahren wurde in den 40er Jahren entwickelt und ist vor allem durch seine iterative und streng systematische Vorgehensweise charakterisiert [Fie08, S. 117].

Ein möglichst heterogen zusammengesetztes Expertenteam entwirft einen Fragebogen, der die für die Kostenermittlung relevanten Punkte beinhaltet. Anschließend führt jeder Experte anonym eine Abschätzung zu den Positionen des Fragebogens durch. Die vollständig ausgefüllten Bögen aller Experten werden gesammelt und statistisch ausgewertet. Das Ergebnis der Auswertung wird an das Expertenteam zurückgemeldet und es wird um eine erneute Abschätzung gebeten. Durch die Wiederholung der Befragung wird den Teilnehmern die Möglichkeit eingeräumt, die Schätzung auf Basis des vorliegenden Ergebnisses zu überdenken und gegebenenfalls zu revidieren [TNS11, S. 285]. Je nachdem, wie weit die Auffassungen der Experten konvergieren müssen, sind mehrere Befragungszyklen erforderlich [Scho09, S. 131]. Erfahrungsgemäß wird bereits nach drei Iterationsschleifen keine weitere Verbesserung des Ergebnisses erzielt [Bur08, S.

240]. Abbildung 4-4 zeigt den Prozess der Delphi-Befragung in Form eines Ablaufplans.

Aufgrund der großen Teilnehmerzahl und der Iterationsschleifen besteht bei der Delphi-Methode ein nicht unerheblicher Personal- und Zeitbedarf [Bur08, S. 240].

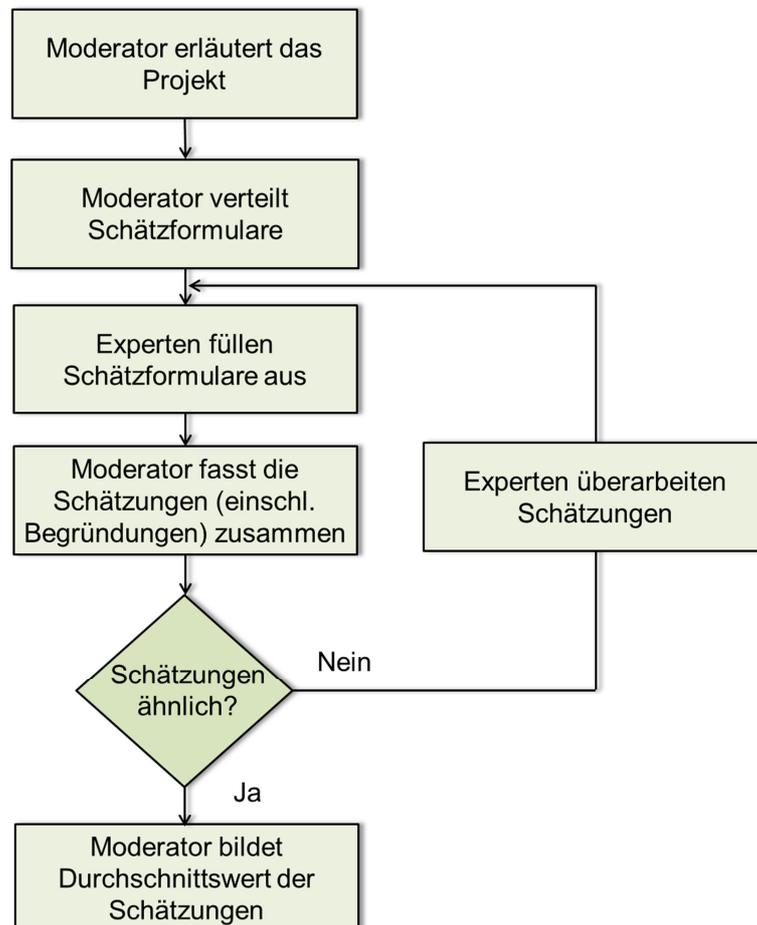


Bild 4-4: Ablaufplan der Delphi-Befragung (nach: [Fie08])

4.1.3 Bewertung der subjektiven Beurteilungsverfahren

Alle subjektiven Beurteilungsverfahren stützen sich auf die Einschätzungen eines oder mehrerer Fachexperten. Die **Ergebnisqualität** hängt bei diesen Verfahren maßgeblich von der Qualifikation der schätzenden Personen ab [Loc97, S. 107]. Entgegen idealtypischen Annahmen handelt und denkt der Mensch nicht immer rational. Insofern besteht das Risiko, dass bei einer subjektiven Bewertung wesentliche Fakten und Aspekte unberücksichtigt bleiben [Wur90, S. 167]. Zu Kostenabweichungen kann es beispielsweise dann kommen, wenn der Schätzende bewusst oder unterbewusst Sicherheitsaufschläge vorsieht. Bei der Aggregation der einzelnen Vorgangskosten zu den Projektgesamtkosten können sich diese Aufschläge zu erheblichen Abweichungen summieren. Darüber hinaus ist der Anteil der Arbeitszeit, der für das Schätzen von Projektkosten aufgewendet wird, oftmals zu gering, um genügend Übung zu erhalten [DeM04, S. 38]. Bei den

Verfahren, die auf einer sehr detaillierten Untergliederung der Projektstruktur basieren, besteht das Risiko, dass es zu Fehleinschätzungen des Projektverlaufs kommen kann. Bleiben gewisse Arbeitsgänge in der Projektstruktur unberücksichtigt, werden für diese auch keine Kosten erfasst. Ein weiterer Nachteil besteht darin, dass bei nahezu allen Ansätzen¹ ein lineares Verhältnis zwischen der Anzahl der Arbeitspakete und den Kosten unterstellt wird. So wird davon ausgegangen, dass bei der wiederholten Durchführung eines Arbeitspaketes Kosten in gleicher Höhe verursacht werden [Hol99, S. 109]. Synergie- und Lerneffekte zwischen den Arbeitspaketen werden vernachlässigt.

Die oben genannten Punkte verdeutlichen, dass bei den subjektiven Beurteilungsverfahren nur bedingt von einer zufriedenstellenden Ergebnisqualität ausgegangen werden kann. Vor allem eine ausreichende Reliabilität ist aufgrund der unterschiedlichen Benutzerqualifikation und der jeweiligen Tagesform des Schätzenden nicht gegeben. Bei Gruppenbefragungen mit anschließender Mittelwertbildung steigt aufgrund der Konsolidierung der Einzelschätzungen die Ergebnisqualität.

Auch der **Informationsgehalt** der subjektiven Beurteilungsverfahren ist eher gering ausgeprägt. Eine Messbarkeit der Prognosegüte ist erst sehr spät nach Abschluss des Projektes gegeben. Die Vorgehensweise der Kostenermittlung ist im Regelfall nicht dokumentiert und für Dritte nur schwer nachvollziehbar. Stellt sich im Rahmen einer Nachkalkulation heraus, dass es bei der Kostenermittlung zu Fehleinschätzungen gekommen ist, kann auf Basis dieser Erkenntnisse das Verfahren nicht optimiert werden [Fis08, S. 139].

Eine detaillierte Ergebnisermittlung unter Berücksichtigung von Lerneffekten und stochastischen Einflüssen stellt sehr hohe Anforderungen an den Anwender, da dieser neben den Kosten beispielsweise auch die Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten gewisser Projektabläufe abschätzen muss. Solche subjektiven Wahrscheinlichkeitsaussagen unterliegen hohen Unsicherheiten. BROCKHOFF [Bro94, S. 288] sieht auch in einer stochastischen Netzplantechnik keine Möglichkeit, der im Zusammenhang mit der Projektkostenermittlung herrschenden Unsicherheit zu begegnen, da nicht vorausgesetzt werden kann, dass der Planende die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten bestimmter Ereignisse vorhersehen kann.

Der **Durchführungsaufwand** hängt stark von der Ausprägungsform des jeweiligen Verfahrens ab. Bei der Einzelbefragung ist der Einsatz personeller Ressourcen gering einzuschätzen. Die Gruppenbefragung und die Delphi-Methode beanspruchen hingegen viel Personal über einen mitunter langen Zeitraum. Wenn der Projektaufwand nicht pauschal für das gesamte Entwicklungsvorhaben ermittelt werden soll, ist vor der Schätzung eine Strukturierung des Projektes in einzelne Arbeitspakete erforderlich. Die Gliederung in Netz- oder Strukturpläne verursacht je nach Detaillierungsgrad erheblichen Aufwand. In Branchen mit langen Entwicklungszeiten kann sich die Projektplanung auf

¹ Eine Ausnahme bildet der Ansatz von ERGENZINGER [Erg06].

mehrere hundert Teilprozesse stützen [Schi91, S. 111]. Bei der Anwendung von Netzplänen müssen diese Prozesse auch entsprechend ihrer zeitlichen Abfolge gegliedert werden. Diese Vorbereitungen sind sehr zeitaufwendig und sind vor allem in den Bereichen, wo die Kostenermittlung der Angebotserstellung dient, und nicht jedes Angebot zum Auftrag führt, ökonomisch nicht immer vertretbar. Da die Gliederung und Kostenabschätzung der Projektvorgänge Expertenwissen voraussetzen, ist die erforderliche Benutzerqualifikation als hoch zu bewerten. Vor allem, wenn sich im Rahmen einer Einzelbefragung das Schätzergebnis auf das Urteil nur eines Experten stützt, ist eine höhere Benutzerqualifikation notwendig als bei Methoden der Gruppenbefragung. Alle subjektiven Beurteilungsverfahren bedürfen nur eines geringen Einsatzes materieller Ressourcen.

Auch der **Informationsbedarf** variiert je nach Detaillierungsgrad der Projektstruktur. Werden die Kosten ohne vorherige Strukturierung pauschal für das gesamte Projekt veranschlagt, ist der Bedarf an anterograden Informationen gering. Pauschale Schätzungen weisen aber im Regelfall keine zufriedenstellende Ergebnisqualität auf [Schu95, S. 89]. Wenn das Entwicklungsvorhaben vor der Kostenschätzung auf Basis einzelner Arbeitspakete gegliedert werden soll, müssen detaillierte und valide Informationen über den zukünftigen Projektablauf vorliegen. Vor allem in frühen Phasen von Produktentstehungsprojekten ist fraglich, ob diese Informationen verfügbar sind. Lässt sich der Projektablauf aufgrund mangelnder Informationen nicht eindeutig beschreiben, ist die Anwendung des Verfahrens mit großen Unsicherheiten behaftet [Schu95, S. 237]. Die Kostenschätzung der subjektiven Beurteilungsverfahren basiert auf dem Erfahrungswissen des jeweiligen Anwenders. Auf die Daten bereits abgeschlossener Projekte wird hierbei nicht zurückgegriffen. Aus diesem Grund ist der Bedarf an retrograden Informationen als gering zu bewerten.

Die subjektiven Beurteilungsverfahren weisen im Vergleich zu allen anderen Verfahren das größte **Anwendungsspektrum** auf. Der geringe Bedarf an retrograden Informationen ermöglicht es, auch für Projekte mit hohem Neuheitsgrad - für die noch keine Information aus Referenzprojekten verfügbar ist - eine Kostenermittlung durchzuführen. Wenn nur sehr wenige anterograde Informationen vorliegen, ist die pauschale Kostenschätzung mit Hilfe subjektiver Verfahren nahezu die einzige Möglichkeit der Kostenermittlung [KHL+06, S. 145].

In Bezug auf Änderungen besitzen die Verfahren eine geringe **Flexibilität**. Ändern sich die Eingangsgrößen für die Kostenermittlung, resultiert hieraus auch immer eine Veränderung der mitunter stark detaillierten Projektstruktur. Solche Anpassungen kosten viel Zeit. Bei den Verfahren, die auf einer Gruppenbefragung basieren, muss bei einer Änderung der Eingangsgrößen der Expertenrat einberufen werden, um eine erneute Schätzung für den geänderten Entwicklungsumfang abzugeben. Aus den genannten Gründen wird die Anforderung hinsichtlich der Flexibilität nur unzureichend erfüllt.

4.2 Verhältnisverfahren

Die Verhältnisverfahren¹ basieren auf der Annahme, dass zwischen ähnlichen Projekten auch ähnliche Kostenverhältnisse bestehen. Bei diesen Verfahren wird zunächst auf der Grundlage empirischer Daten aus bereits abgeschlossenen Projekten eine repräsentative Projektkostenstruktur ermittelt. Hierbei kann beispielsweise der Arbeitsaufwand unterschiedlicher Fachabteilungen oder der Aufwand verschiedener Projektphasen ins Verhältnis gesetzt werden. Unter Zuhilfenahme solcher Kosten-Kosten-Beziehungen können für ein Neuprojekt, ausgehend von einer Basisgröße, die restlichen Projektkosten durch Verhältnisbildung berechnet werden. Da für die Kostenveranschlagung immer auf eine Basisgröße zurückgegriffen wird, für die die Kosten bereits bekannt sein müssen, sind die Verhältnisverfahren streng genommen keine eigenständigen Kostenermittlungsverfahren [Lit05, S. 88], [KHL+06, S. 144].

In der einschlägigen Literatur werden im Zusammenhang mit der Kostenermittlung durch Verhältnisbildung vor allem das Prozentsatzverfahren und das Materialkostenverfahren erwähnt, die im Folgenden näher beschrieben werden.

4.2.1 Prozentsatzverfahren

Beim Prozentsatzverfahren wird ausgehend von dem Aufwand eines Projektsegmentes der gesamte Entwicklungsaufwand extrapoliert [Schn99, S. 210]. Hierfür wird zunächst das Projekt in einzelne Segmente untergliedert. BURGHARDT [Bur08, S. 288] schlägt in diesem Zusammenhang eine phasenorientierte Projektstrukturierung vor. Es können aber auch andere Untergliederungskriterien, wie beispielsweise der Aufwand einzelner Fachabteilungen, herangezogen werden. Auf der Informationsbasis von bereits abgeschlossenen Projekten (retrograde Information) werden repräsentative Kostenverhältnisse zwischen den einzelnen Projektsegmenten ermittelt. Abbildung 4-5 zeigt exemplarisch, wie unter Zugrundelegung einer definierten Kostenstruktur zwischen den einzelnen Projektphasen, ausgehend von der Phase 'Analyse', der Aufwand des Gesamtprojektes hochgerechnet wird.

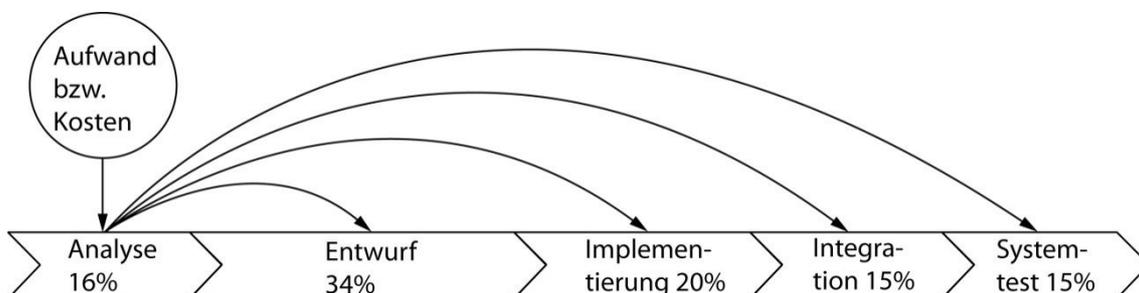


Bild 4-5: Prinzipdarstellung des Prozentsatzverfahrens (nach: [Bur08])

¹ Werden nach VDI 2225-1 auch als Relativkostenverfahren bezeichnet.

Für die Ermittlung der Kosten der Basisgröße bestehen zwei Möglichkeiten. Zum einen kann der Aufwand für die Basisgröße abgeschätzt werden, was nur sinnvoll ist, wenn die Basisgröße einfacher zu ermitteln ist als die Gesamtkosten. Zum anderen kann ausgehend von bereits abgeschlossenen Projektphasen auf den Aufwand zukünftiger Projektphasen geschlossen werden [Jen01, S. 359]. In diesem Fall ist eine frühzeitige Kostenermittlung vor Beginn des Entwicklungsvorhabens nicht möglich.

Ähnlich wie bei den subjektiven Beurteilungsverfahren muss die Gegenüberstellung des Projektaufwands nicht zwangsläufig auf der Grundlage von Kosten erfolgen, sie kann auch indirekt über den Personalaufwand oder über die Zeitdauer durchgeführt werden [Bur08, S. 233].

Die Gleichung 4-2 zeigt, wie sich der Projektaufwand, ausgehend von einer Basisgröße, mit Hilfe eines empirisch ermittelten Verhältnisfaktors für ein weiteres Projektsegment hochrechnen lässt.

$$A_i = V \cdot A_z$$

Gleichung 4-2: Berechnung des Projektaufwands mit Hilfe des Prozentsatzverfahrens

A_i : Aufwand der Phase i

V : Verhältnisfaktor

A_z : Aufwand der Phase z (Basisgröße)

4.2.2 Materialkostenverfahren

Das Materialkostenverfahren findet vor allem bei der frühzeitigen und konstruktionsbegleitenden Ermittlung von Herstellkosten industrieller Produkte Anwendung [VDI2225-1, S. 2f.] und ist nur bedingt auf die Kostenermittlung für Entwicklungsprojekte übertragbar. Zur Verdeutlichung und näheren Erläuterung der Verhältnissverfahren soll das Verfahren dennoch an dieser Stelle beschrieben werden.

Das Materialkostenverfahren basiert auf der Annahme, dass bei gleichartiger konstruktiver Ausführung und vergleichbarer Produktionsleistung die Relation zwischen Materialkosten, Fertigungslöhnen und Gemeinkosten als annähernd konstant angesehen werden kann [Brn08, S. 95].

Im Regelfall lassen sich die Materialkosten eines Produktes auf der Basis von Volumen und Materialpreis einfacher berechnen als die Gesamtherstellkosten. Ist der Anteil der Materialkosten an den Herstellkosten eines Produktes bekannt, kann man ausgehend von den Materialwerten die Herstellkosten hochrechnen (siehe Gleichung 4-3).

$$H = \frac{M}{M^!}$$

Gleichung 4-3: Berechnung der Herstellkosten mit Hilfe des Materialkostenverfahrens

H: Herstellkosten

M: Materialkosten

M[!]: Materialkostenanteil

Je nach Erzeugnisgruppe variiert der Anteil der Materialkosten an den Herstellkosten. Liegen innerhalb des Unternehmens keine Informationen über die relative Zusammensetzung der Herstellkosten vor, kann auf den in der VDI 2225 [VDI2225-2] aufgeführten Relativkostenkatalog zurückgegriffen werden. Hier werden in Abhängigkeit von der Erzeugnisgruppe (Fahrzeug, PKW-Dieselmotor, Werkzeugmaschine, etc.) die durchschnittlichen Materialkostenanteile (M[!]) angegeben. Gegenüber allgemeingültigen Kostenkatalogen sind aber unternehmensspezifische Daten zu bevorzugen, da diese eine höhere Genauigkeit aufweisen [EKL05, S. 81].

4.2.3 Bewertung der Verhältnisverfahren

Die **Ergebnisqualität** der Verhältnisverfahren ist eher gering zu bewerten. Aufgrund der Hochrechnung der Gesamtkosten können sich Fehler, die bei der Ermittlung der Basisgröße entstanden sind, mitunter erheblich vergrößern und somit die Validität der Methode mindern [Lit05, S. 88], [Jen01, S. 359]. Auch die Annahme konstanter Kostenverhältnisse zwischen den einzelnen Projektsegmenten ist kritisch zu sehen [Sti01, S. 66]. Hiervon kann nur ausgegangen werden, wenn das Projektumfeld und die Randbedingungen zwischen den einzelnen Projekten nahezu konstant sind. KUSTER et al. raten aufgrund der genannten Mängel dazu, die Methode nur für die Überprüfung und Plausibilisierung der mit anderen Verfahren ermittelten Kostenwerte anzuwenden [KHL06, S. 133].

Der formalisierte Ablauf der Kostenermittlung lässt wenig Spielraum für subjektive Beeinflussung [Lit93, S. 120]. Aus diesem Grund ist eine ausreichende Reliabilität des Verfahrens gewährleistet.

Die Messbarkeit der Prognosegüte ist dann gegeben, wenn bereits Daten mehrerer abgeschlossener Projekte vorliegen. Auf Grundlage retrograder Informationen kann eine statistische Auswertung durchgeführt werden, die besagen soll, in wie weit bei den vorangegangenen Projekten ein konstantes Verhältnis der Kostenstruktur vorlag.

Eine stochastische Ergebnisdarstellung ist im Zusammenhang mit den Verhältnisverfahren nicht in der einschlägigen Literatur beschrieben. Die Vorgehensweise bei den Verhältnisverfahren ist leicht zu überprüfen und nachzurechnen. Da aber kein kausaler

Zusammenhang zwischen den Projektanforderungen und dem Projektaufwand gebildet wird, ist die Entstehung der Kosten nur wenig nachvollziehbar.

Die Verhältnisverfahren zählen zu den Methoden, die am schnellsten und einfachsten in der betrieblichen Praxis umzusetzen sind [Jen01, S. 360]. Der **Durchführungsaufwand** ist im Vergleich zu anderen Methoden als gering einzuschätzen. Für die Anwendung des Verfahrens wird theoretisch nur eine Person benötigt. Neben dem geringen Einsatz an personellen Ressourcen bedarf es aufgrund des standardisierten Ablaufs auch keiner außerordentlichen Qualifikation des Methodenanwenders. Allerdings muss durch den Anwender eine Überprüfung darüber erfolgen, ob das abzuschätzende Projekt die erforderliche Ähnlichkeit mit den Basisprojekten aufweist. Bei der Anwendung der Verhältnisverfahren ist kein besonderer Einsatz von materiellen Ressourcen erforderlich.

Der **Informationsbedarf** kann auch bei den Verhältnisverfahren stark variieren. Um eine repräsentative Aufteilung der Projektkosten sicher nachweisen zu können, müssen viele retrograde Informationen aus abgeschlossenen Projekten vorliegen. Erfolgt die Annahme einer Kostenverteilung nur anhand eines oder weniger Altprojekte, kann dem Ergebnis nur geringes Vertrauen entgegengebracht werden. Da die jeweiligen Kostenaufteilungen stark unternehmensspezifisch sind, sollte auf die Verwendung allgemeingültiger Relativkostenkataloge verzichtet werden [Bur08, S. 233].

Die Kostenwerte werden bei den Verhältnisverfahren ausgehend von einem Basiselement extrapoliert. Für dieses Basiselement müssen die Kosten im Vorfeld bekannt sein. Im frühen Stadium vor Beginn des Projektes besteht nur die Möglichkeit, diese Kostenwerte mit Hilfe eines anderen Verfahrens zu ermitteln. Da selbst kleine Fehler bei der Bewertung des Basiselements durch die Hochrechnung zu großen Abweichungen führen können, bestehen hohe Anforderungen an die Genauigkeit der Ermittlung der Ausgangskosten. Um die benötigte Ergebnisqualität zu erreichen, müssen zumindest für das Basiselement frühzeitig detaillierte anterograde Informationen verfügbar sein.

Aufgrund der Tatsache, dass nur bei sehr ähnlichen Projekten davon ausgegangen werden kann, dass ein konstantes Verhältnis der Kostenstruktur besteht [KHL+06, S. 144], ist das **Anwendungsspektrum** der Verhältnisverfahren sehr begrenzt. Bei Entwicklungsvorhaben, die für das jeweilige Unternehmen einen gewissen Neuheitsgrad aufweisen, oder bei Änderungen der Randbedingungen gegenüber vorherigen Projekten lassen sich die Verhältnisverfahren nicht einsetzen.

Bei Änderungen des Entwicklungsumfangs muss eine erneute Kostenermittlung für die Basisgröße durchgeführt werden. Das ist, je nachdem wie diese ermittelt wird, mit unterschiedlich hohem Aufwand verbunden. Nach der Neubewertung der Basisgröße kann mit geringem Aufwand eine Neuberechnung der Gesamtprojektkosten vorgenommen werden. Die Forderung nach einer hohen **Flexibilität** der Methode ist daher teilweise erfüllt.

4.3 Relationsverfahren

Bei den Relationsverfahren erfolgt die Aufwandsermittlung auf der Grundlage retrograder Kostenwerte bereits durchgeführter Entwicklungsvorhaben. Zunächst wird nach einem abgeschlossenen Vergleichsprojekt gesucht, das eine möglichst große Ähnlichkeit zu dem Neuprojekt aufweisen sollte. Anschließend müssen die Unterschiede zwischen Vergleichsprojekt und abzuschätzendem Projekt definiert und bewertet werden. Hierbei werden nur die Kostenbestandteile betrachtet, die sich vom ursprünglichen Projekt unterscheiden [VDI2235, S. 33]. Aus diesem Grund werden die Relationsverfahren in der Fachliteratur auch als Vergleichs- oder Unterschiedskalkulation bezeichnet¹. Die Kostenprognose resultiert aus den Kostenwerten des Vergleichsprojektes und den Differenzkosten infolge der Unterschiede zwischen Alt- und Neuprojekt [Krc05, S. 160] (siehe Gleichung 4-4).

$$K_2 = K_1 \pm \Delta K$$

Gleichung 4-4: Berechnung des Projektaufwands mit Hilfe des Relationsverfahrens

K_2 : Kosten des Neuprojektes

K_1 : Kosten des Vergleichsprojektes

ΔK : Kostendifferenz zwischen Alt- und Neuprojekt

Für den Vergleich zwischen Alt- und Neuprojekt müssen Kriterien definiert werden. SNEED nennt im Zusammenhang mit der Vergleichbarkeit von Projekten den Projektumfang, das Produkt, die Qualifizierung der eingesetzten Mitarbeiter sowie die externen und internen Projekteinflussfaktoren als Beurteilungskriterien [Sne05, S. 80]. Die Einschätzung, ob die oben genannten Kriterien bei den zu vergleichenden Projekten als gleich zu bewerten sind, obliegt dem subjektiven Urteil des Methodenanwenders.

Liegen die Daten mehrerer abgeschlossener Projekte mit entsprechendem Ähnlichkeitsgrad vor, können bei der Festlegung der Referenzkosten Mittelwerte gebildet werden [Fis08, S. 143]. Als Quellen für Referenzprojekte kommen Erfahrungsdatenbanken, empirische Untersuchungen und Benchmarks in Frage [DH10, S. 161]. Vor allem, wenn größere Mengen retrograder Informationen vorliegen, ist es hilfreich, wenn diese systematisch in Datenbanken gespeichert werden. Neben den Kosteninformationen sollte eine anhand der oben genannten Vergleichskriterien erstellte Kategorisierung und eine Kurzbeschreibung des Projektes in der Datenbank gespeichert sein. Relationsverfahren, die bei der Auswahl von Referenzprojekten auf eine computerunterstützte Projektdatenbank zurückgreifen, werden unter anderem als Erfahrungsdatenbank-Verfahren bezeichnet.

¹ Siehe hierzu [VDI2235]

4.3.1 Erfahrungsdatenbank-Verfahren

Zum Aufbau einer Erfahrungsdatenbank müssen Informationen aus einer Vielzahl abgeschlossener Projekte vorliegen. Diese retrograden Informationen werden mit Hilfe einer Datenbank systematisch aufbereitet und klassifiziert. Anhand definierter Vergleichsmerkmale (Deskriptoren) kann in der Datenbank nach Referenzprojekten mit möglichst hohem Ähnlichkeitsgrad gesucht werden [Bur08, S. 178]. Die Suche kann, je nach Automatisierungsgrad, manuell oder mit Hilfe von EDV erfolgen [Schu95, S. 117]. Bei der automatisierten Suche werden algorithmische Vergleichsroutinen zur Auswahl geeigneter Referenzprojekte eingesetzt. Hierbei wird der Abstand der Merkmalsausprägungen zwischen Alt- und Neuprojekt als Maß für die Ähnlichkeit herangezogen [Bur08, S. 231]. Die Abbildung 4-6 zeigt, wie der Abgleich der Kriterien des Neuprojektes mit den in der Datenbank hinterlegten Vergleichsprojekten stattfindet. Das Ergebnis der Suche kann auch als Rangliste ausgegeben werden, in der die in Frage kommenden Vergleichsprojekte nach dem Rang ihrer Übereinstimmung aufgelistet werden.

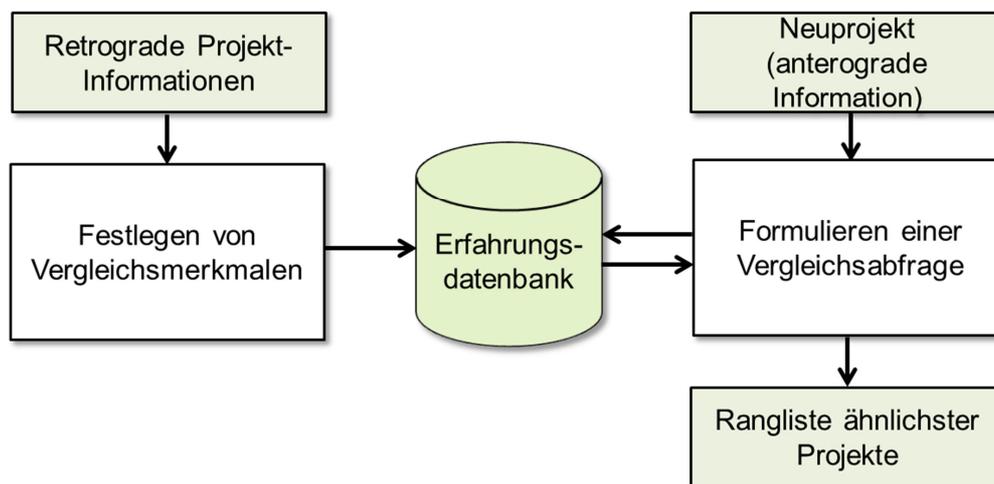


Bild 4-6: Prinzipdarstellung der Kostenermittlung durch Relationsverfahren auf Grundlage von Erfahrungsdatenbanken (nach: [Bur08])

4.3.2 Prozesskosten-Verfahren nach HOLLAX

Ein Verfahren, das auf einer Kombination von Erfahrungsdatenbanken und subjektiven Beurteilungsverfahren beruht, ist das Prozesskosten-Verfahren¹ nach HOLLAX [Hol99]. Bei diesem Ansatz erfolgt eine Strukturierung des Projektes auf Basis einzelner Prozesse. Das Projekt wird hierbei als Zusammenfassung standardisierter Teilaufgaben (Prozesse) betrachtet, deren Aufwand durch Relationsbildung zu vergangenen Projekten bewertet werden kann. Bei der Auswahl von Referenzprozessen soll eine unternehmensspezifische Erfahrungsdatenbank behilflich sein. Prozesse, für die innerhalb des Unternehmens noch keine Referenzdaten vorliegen, müssen anhand subjektiver Beurteilung durch Experten abgeschätzt werden.

Voraussetzung für die Anwendung des Prozesskosten-Verfahrens ist, dass alle Projekte auf der Basis von Prozessablaufplänen strukturiert werden. Da nicht davon ausgegangen werden kann, dass die Kosteninformationen abgeschlossener Projekte auf Grundlage von Prozessen dokumentiert wurden, muss die Kostenaufteilung mit Hilfe von Expertenbefragungen auf Prozessebene rekonstruiert werden. Um subjektive Einflüsse bei der Befragung gering zu halten, rät HOLLAX dazu, mehrere prozessbeteiligte Mitarbeiter unabhängig voneinander zu befragen. Darüber hinaus sollen auch die Stundenaufschreibungen der Mitarbeiter einbezogen werden. Abbildung 4-7 zeigt den exemplarischen Ablauf des Prozesskosten-Verfahrens.

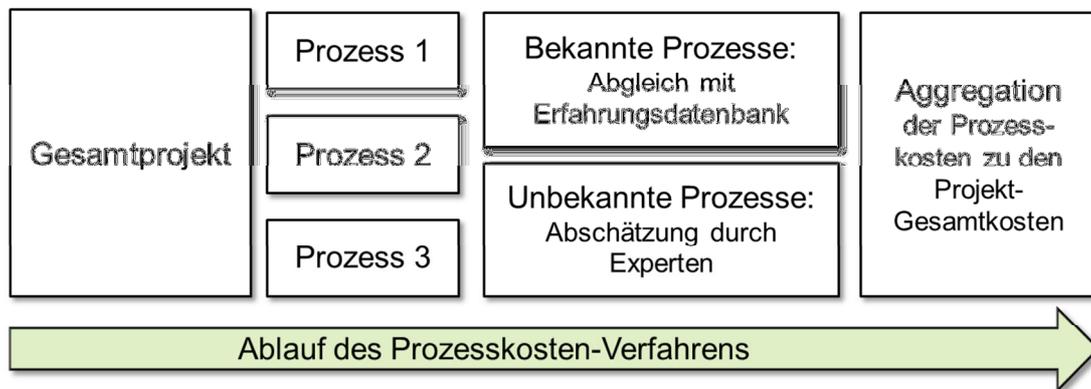


Bild 4-7: *Kostenermittlung mit Hilfe des Prozesskosten-Verfahrens auf Grundlage bekannter und unbekannter Prozesse (nach: [Hol99])*

¹ Ein weiterer Ansatz der Prozesskostenrechnung unter Berücksichtigung des gesamten Produktlebenszyklus (Lebenslaufkosten) ist bei FISCHER et al. [FKH+94] beschrieben. Hier werden neben den Produktentstehungskosten auch die Kosten für Fertigung, Entsorgung und Instandhaltung ermittelt. Ausgehend von der Produktstruktur, der Geometrie und dem Material werden bestimmte Vorgangsprozesse festgelegt. Der Ressourcenverbrauch der einzelnen Prozesse wird anhand von Vergleichsmerkmalen (Kostentreibern) bewertet. Bei dem Aufbau der Prozessstrukturen und der Dokumentation der Prozesskostensätze leistet ein computergestütztes Informationssystem Unterstützung.

4.3.3 Bewertung der Relationsverfahren

Die **Ergebnisqualität** der Relationsverfahren ist davon abhängig, in welchem Umfang auf die Daten eines geeigneten Referenzprojektes zurückgegriffen werden kann. Je größer die Übereinstimmung zwischen Alt- und Neuprojekt ist, desto geringer ist der Anteil der abzuschätzenden Differenzkosten. Daher ist davon auszugehen, dass die Validität des Verfahrens mit steigendem Ähnlichkeitsgrad zwischen Neu- und Referenzprojekt zunimmt. Wenn die Kostenermittlung nur auf den Informationen eines oder sehr weniger Referenzprojekte aufbaut, besteht die Gefahr, dass aufgrund projektspezifischer Einflüsse die Kostendaten nicht repräsentativ für Folgeprojekte sind [Bur08, S. 231]. Aus den genannten Gründen kann die Forderung nach Validität nur teilweise erfüllt werden.

Da sowohl die Beurteilung darüber, welche Projekte als ähnlich einzustufen sind, als auch die Ermittlung der Differenzkosten auf dem subjektiven Urteil des Methodenanwenders beruhen, ist die Reliabilität des Verfahrens als gering einzuschätzen. Durch die Nutzung von Erfahrungsdatenbanken und durch eine systematische Kategorisierung der Projektmerkmale lässt sich der subjektive Einfluss des Methodenanwenders reduzieren.

Auch die Forderung nach einem hohen Informationsgehalt wird durch die Relationsverfahren nur teilweise erfüllt. Da ähnlich wie bei den subjektiven Beurteilungsverfahren keine grundlegende analytische Herleitung der Entwicklungskosten erfolgt [Bur08, S. 174], ist die Prognosegüte des Verfahrens im Vorfeld nicht messbar.

Die Nachvollziehbarkeit der Methode ist maßgeblich davon abhängig, ob sich die Auswahl des Referenzprojektes und die Bildung der Differenzkosten auf Fakten stützen und für Dritte transparent sind. Die in der Literatur erwähnten Ansätze basieren auf einer deterministischen Ergebnisdarstellung. Da die Ergebnisermittlung in weiten Teilen auf einem subjektiven Urteil beruht, ist zu folgern, dass sich im Rahmen einer stochastischen Ergebnisdarstellung lediglich subjektive Wahrscheinlichkeiten berücksichtigen lassen.

Die Relationsverfahren verursachen einen durchschnittlichen **Durchführungsaufwand**. Der Einsatz personeller Ressourcen ist als gering anzusehen, da in den seltensten Fällen mehrere Personen an der Kostenermittlung beteiligt sind. Im Regelfall lassen sich durch Relationsbildung schnell Schätzergebnisse erzielen [DH10, S. 163]. Eine Ausnahme bildet das Prozesskostenverfahren. Da bei größeren Entwicklungsprojekten die Projektplanung aus mehreren hundert Teilprozessen bestehen kann [Sch91, S. 111], sind die Gliederung und der anschließende Abgleich mit Referenzprozessen sehr zeitaufwendig. Darüber hinaus sind bei der Verwendung von Erfahrungsdatenbanken eine kontinuierliche Pflege und Aktualisierung der Daten erforderlich [PR09, S. 259].

Bei den Relationsverfahren muss der Anwender detaillierte Kenntnisse über das aktuelle und die vergangenen Entwicklungsvorhaben besitzen, um eine Einschätzung der Vergleichbarkeit vornehmen zu können. Da die Festlegung der Differenzkosten weitestgehend auf dem Urteil und der Erfahrung einer Person beruht [Lit93, S. 119], stellt das Verfahren hohe Anforderungen an die Benutzerqualifikation.

Relationsverfahren, die nicht auf eine Erfahrungsdatenbank zurückgreifen, besitzen einen geringen Bedarf an materiellen Ressourcen. Erfolgt die Suche nach Referenzprojekten mit Hilfe unternehmensspezifischer Datenbanken, wird eine spezielle Datenbank-Software benötigt, die die gezielte Speicherung und Suche nach Referenzdaten ermöglicht.

Der **Informationsbedarf** der Relationsverfahren ist hoch. Um ein geeignetes Referenzprojekt für die Relationsbildung heranziehen zu können, müssen viele retrograde Informationen aus abgeschlossenen Entwicklungsprojekten vorliegen. Darüber hinaus sollte die Kostenermittlung nach Möglichkeit immer auf der Informationsbasis mehrerer Altprojekte erfolgen. Der Abgleich mit mehreren Referenzdaten reduziert projektspezifische Einflüsse und erhöht somit die Repräsentativität und Genauigkeit des Ergebnisses.

Für das Neuprojekt müssen so viele anterograde Informationen vorliegen, dass dieses mit dem Referenzprojekt verglichen werden kann. Bei den Erfahrungsdatenbank-Verfahren müssen Informationen zu den definierten Projektkriterien vorliegen, auf deren Grundlage die Suche und der Vergleich mit den gespeicherten Referenzprojekten erfolgen können. Noch größer ist der Informationsbedarf bei dem Prozesskostenverfahren. Da das Neuprojekt bereits im Vorfeld detailliert auf der Basis einzelner Prozesse beschrieben werden muss, besteht schon in frühen Phasen vor Beginn des Projektes ein großer Informationsbedarf. Generell kann nicht davon ausgegangen werden, dass derart detaillierten Informationen bereits in solch frühen Stadien von Entwicklungsvorhaben vorliegen [Eit96, S. 21].

Da für die Relationsbildung zwischen Neuprojekt und Referenzprojekt eine große Ähnlichkeit zwischen den Entwicklungsvorhaben bestehen muss, ist eine Kostenermittlung für Projekte mit hohem Neuheitsgrad nicht sinnvoll. Das **Anwendungsspektrum** der Relationsverfahren ist daher gering. Je geringer der Ähnlichkeitsgrad zwischen den Projekten ist, desto größer ist der Anteil der Differenzkosten, der mit Hilfe subjektiver Beurteilungsverfahren abgeschätzt werden muss.

Bei Änderungen des Entwicklungsumfangs muss bei den Relationsverfahren eine Überprüfung darüber erfolgen, ob die Vergleichbarkeit mit dem Referenzprojekt noch gegeben ist. Unter Umständen muss ein neues Projekt für den Vergleich herangezogen werden und eine Neubewertung der Differenzkosten erfolgen. Aus den genannten Gründen wird die Forderung nach einer hohen **Flexibilität** des Verfahrens nur teilweise erfüllt.

4.4 Parametrische Verfahren

Die parametrischen Kostenermittlungsverfahren¹ basieren auf der Annahme, dass ein funktionaler Zusammenhang zwischen den Kosten und einer oder mehreren projektspezifischen Kosteneinflussgrößen besteht [GHS05, S. 133]. Ein solcher Zusammenhang muss empirisch auf der Grundlage retrograder Informationen aus bereits abgeschlossenen Projekten ermittelt werden [Bur08, S. 172]. Hierfür sollten die Informationen aus abgeschlossenen Projekten in einer Datenbank archiviert werden. Mit Hilfe strukturprüfender statistischer Verfahren lassen sich aus diesen Daten die signifikanten Projektgrößen und deren Einfluss auf die Kosten ermitteln. Ist der funktionale Zusammenhang zwischen Einflussgröße und Kosten bekannt, können auf Grundlage der Ausprägung der Einflussgröße die potentiellen Kosten für ein Projekt berechnet werden. Bei der Verwendung von Kostengleichungen wird davon ausgegangen, dass die Kosten zweier Projekte dann gleich sind, wenn auch die signifikanten Eingangsgrößen gleich ausgeprägt sind.

Eine wichtige Voraussetzung ist, dass die Ausprägung der Einflussgröße zum Zeitpunkt der Kostenermittlung entweder bereits bekannt ist oder sich einfacher ermitteln lässt, als die Projektkosten selbst [Erl72, S. 90]. Darüber hinaus sollte die Einflussgröße für eine möglichst große Anzahl von Projekten repräsentativ und in den retrograden Kostenaufzeichnungen abgeschlossener Projekte dokumentiert sein [Lit05, S. 493].

Auch bei der Kostenermittlung mit Hilfe parametrischer Verfahren findet im Regelfall eine vorherige Projektstrukturierung in Unterbestandteile statt. Für jedes Unterbestandteil lässt sich eine individuelle Kostengleichung definieren. Die Ermittlung der Gesamtkosten erfolgt durch die Aggregation der verschiedenen Kostengleichungen. Werden mehrere Kostengleichungen so zusammengefasst, dass sie eine vollständige Kostenermittlung für das Gesamtprojekt ermöglichen, spricht man von Kostenmodellen [DeM04, S. 263].

Neben unternehmensspezifischen Kostenmodellen, bei denen die Ermittlung der Kostenzusammenhänge auf internen Informationen beruht, sind auch allgemeingültige Modelle zur Kostenermittlung verbreitet. Insbesondere sind im Bereich der Softwareentwicklung branchenspezifische Kostenmodelle² zur Ermittlung der Entwicklungskosten verfügbar. Bei der Verwendung vorgegebener Modelle entfällt der Aufwand für die statistische Auswertung der Vergangenheitsdaten. Allerdings ist davon auszugehen, dass bei branchenspezifischen Kostenmodellen die unternehmensspezifischen Einflüsse und Gegebenheiten nicht immer ausreichend berücksichtigt werden [KHL+06, S. 143].

¹ Werden nach DIN 2235 auch als Kurzkalkulationsverfahren bezeichnet [DIN2235, S. 31].

² In diesem Zusammenhang sind unter anderem die COCOMO-Methode und das Function-Point-Verfahren zu nennen, welche auf den folgenden Seiten näher erläutert werden.

In Anhängigkeit von dem kausalem Zusammenhang der Kostenentstehung kann eine oder können mehrere projektspezifische Größen Auswirkungen auf die Kosten haben. Mit Hinblick auf die statistische Ermittlung der Kostengleichung können Gleichungen mit nur einer Einflussgröße mit Hilfe univariater Analyseverfahren¹ erstellt werden. Wenn eine Kostengleichung erforderlich ist, die mehrere Einflussgrößen berücksichtigt, muss die statistische Auswertung auf Grundlage multivariater Verfahren² erfolgen. In Abhängigkeit von der Anzahl der Einflussgrößen und dem Grad der Spezifizierung kann man zwischen Kennzahlenverfahren, unternehmensspezifischen Kostenmodellen und branchenspezifischen Kostenmodellen unterscheiden. Bild 4-8 zeigt ein Portfolio der verschiedenen parametrischen Verfahren, die im Folgenden näher vorgestellt werden sollen.

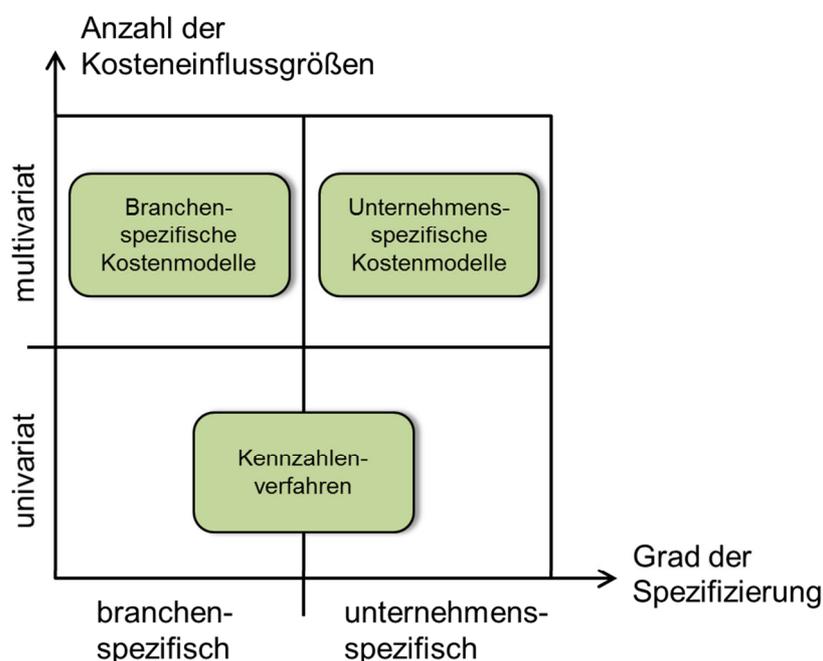


Bild 4-8: Portfolio der parametrischen Kostenermittlungsverfahren

4.4.1 Kennzahlenverfahren

Die Kennzahlenverfahren zeichnen sich dadurch aus, dass die Kostenermittlung nur auf einer Einflussgröße beruht [Fis08, S. 151], [Sch95, S. 97]. Der Zusammenhang zwischen der Einflussgröße und den Kosten kann entweder anhand branchenspezifischer Richtwerte oder auf der Grundlage retrograder Informationen, die für das jeweilige Unternehmen spezifisch sind, ermittelt werden.

¹ Ein weitverbreitetes univariates Auswerteverfahren stellt die einfache Regressionsanalyse dar.

² Zu den multivariaten Verfahren zählen unter anderem die multivariate Regressionsanalyse und die Neuronalen Netze (siehe Kapitel 5.2).

Bei der Erstellung spezifischer Kostengleichungen mit nur einer Einflussgröße kommen univariate Analyseverfahren, wie beispielsweise die einfache Regressionsanalyse, zum Einsatz. Das Bild 4-9 zeigt beispielhaft, wie sich mit Hilfe der einfachen linearen Regressionsanalyse der funktionale Zusammenhang (Korrelation) zwischen einer projektspezifischen Einflussgröße und den Kosten darstellen lässt.

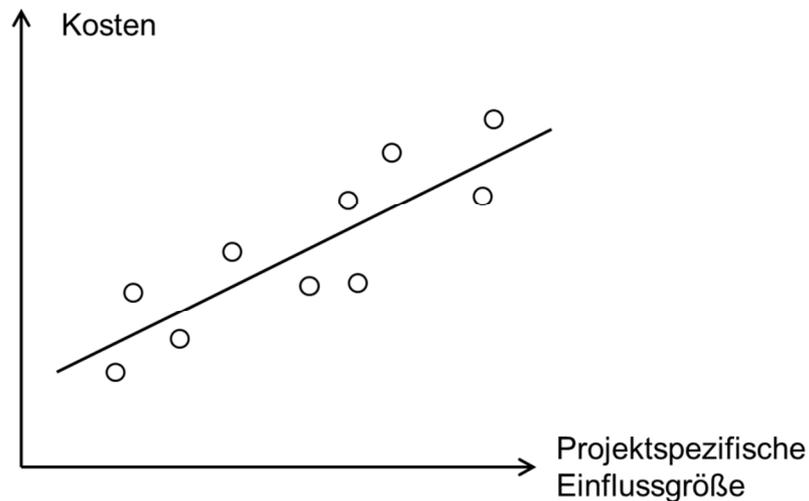


Bild 4-9: Darstellung des Zusammenhangs von Projektaufwand und einer projektspezifischen Einflussgröße anhand eines Streudiagramms

Die aus bereits abgeschlossenen Projekten dokumentierten Werte für Kosten und Einflussgröße werden in einem Streudiagramm erfasst. Im nächsten Schritt wird rechnerisch eine Regressionsgerade ermittelt, bei der die Quadratsumme der Abweichungen¹ zwischen Wertepunkten und Geradenpunkten ein Minimum besitzt [Fer85, S. 233]. Je geringer die Streuung der Punkte gegenüber der Geraden ist, umso stärker ist die Korrelation zwischen den Werten. Der funktionale Zusammenhang der beiden Variablen lässt sich durch die Geradengleichung der Regressionsgeraden beschreiben und wird als Kostengleichung bezeichnet (siehe Gleichung 4-5).

$$y = a + (x \cdot f)$$

Gleichung 4-5: Berechnung der Projektkosten auf Basis der Regressionsgeraden

- y: Gesamtkosten
- a: konstanter Kostenanteil
- x: Ausprägung der Einflussgröße
- f: Einflussgrößenkoeffizient

¹ Die Abweichungen/Abstände der beobachteten Werte zur Regressionsgeraden bezeichnen sich als Residuen. Die Quadratsumme der Residuen wird auch als Fehlerquadratsumme bezeichnet.

Als Einflussgrößen werden im Regelfall branchenübliche Werte und Leistungseinheiten, wie z.B. Gewicht, Anzahl der Programmierzeilen oder die Anzahl von Bauteilen herangezogen [GHS05, S. 133]. In Verbindung mit der Herstellkostenermittlung wird in der einschlägigen Literatur vor allem das Kilo-Kosten-Verfahren erwähnt (siehe Gleichung 4-6) [Brn08, S. 90], [EKL05, S. 455].

$$HK = G \cdot KK$$

Gleichung 4-6: Herstellkostenermittlung mit Hilfe des Kilo-Kosten-Verfahrens

HK: Herstellkosten [€]

G: Gewicht [kg]

KK: Kilokosten [€/kg]

4.4.2 Unternehmensspezifische multivariate Kostenmodelle

Wenn sich die kausalen Zusammenhänge der Kostenentstehung aufgrund ihrer Komplexität nicht mehr anhand nur einer Kennzahl beschreiben lassen, müssen mehrere Einflussgrößen bei der Kostenermittlung berücksichtigt werden. Die Einbeziehung mehrerer Einflussgrößen ermöglicht eine genauere Bewertung der projektspezifischen Voraussetzungen und Gegebenheiten.

Für die Erstellung einer multivariaten Kostengleichung muss zunächst eine Auswahl der signifikanten Einflussgrößen erfolgen [Lit93, S. 121]. Hierbei werden jene Größen ausgewählt, die die größte Korrelation mit den Kosten besitzen. Mit zunehmender Anzahl der in der Kostengleichung berücksichtigten Einflussgrößen steigt der Bedarf an retrograden Daten für die statistische Auswertung [SH06, S. 243]. Auch der Aufwand für die Erstellung und Anwendung des Kostenmodells steigt mit der Anzahl der Einflussgrößen. Insofern sollten bei der Modellbildung die Berücksichtigung möglichst vieler Einflussgrößen und die daraus resultierenden Nachteile infolge steigender Modellkomplexität gegeneinander abgewägt werden.

Die Erstellung der Kostengleichung erfolgt mit Hilfe multivariater Analyseverfahren, wie beispielsweise der multiplen linearen Regressionsanalyse. Anders als bei der univariaten Regressionsanalyse ist der Graph der Kostenfunktion bei zwei Einflussgrößen eine Regressionsebene (siehe Bild 4-10). Bei mehr als zwei Einflussgrößen ergibt sich eine Regressionshyperebene, die graphisch nicht mehr darstellbar ist [Gru97, S. 3].

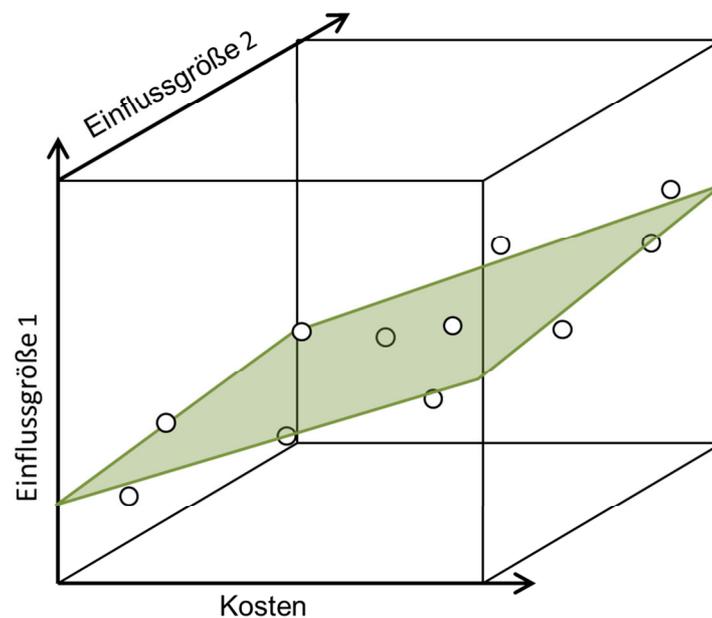


Bild 4-10: *Dreidimensionales Streudiagramm zur Darstellung des Zusammenhangs zwischen zwei Einflussgrößen und den Projektkosten (die Regressionsebene ist grün dargestellt)*

Die Kostengleichung entspricht im Fall der multiplen Regressionsanalyse der Gleichung der Regressionsebene (siehe Gleichung 4-7) und basiert wie bei der einfachen Regressionsanalyse auf einer Minimierung der Residuen.

$$y = a + (x_1 \cdot f_1) + (x_2 \cdot f_2) + \dots + (x_n \cdot f_n)$$

Gleichung 4-7: *Lineare multiple Regressionsgleichung mit n Einflussfaktoren*

y: Kosten

a: konstanter Kostenanteil

$x_1 - x_n$: Kosteneinflussfaktoren 1 bis n

$f_1 - f_n$: Koeffizienten der Einflussfaktoren 1 bis n

Neben der multiplen Regressionsanalyse stehen auch andere strukturprüfende multivariate Analyseverfahren für die Erstellung des Kostenmodells zur Auswahl. Einige dieser Verfahren sollen in Kapitel 5.2 näher vorgestellt werden.

4.4.3 Branchenspezifische Verfahren

Die Gruppe der branchenspezifischen Verfahren umfasst die Methoden zur Kostenermittlung, bei denen anstelle eines unternehmensspezifischen Kostenmodells auf vorgefertigte und allgemeingültige Werte und Zusammenhänge bei der Kostenermittlung

zurückgegriffen wird. Die meisten branchenspezifischen Verfahren wurden ursprünglich von großen Unternehmen für die eigene Nutzung konzipiert und sind im Laufe der Zeit auch auf andere Unternehmen übertragen worden [Sch95, S. 134].

Branchenspezifische Verfahren sind vor allem im Zusammenhang mit der Kostenermittlung für die Softwareentwicklung verbreitet. Einige Verfahren erlauben es dem Anwender, neben den allgemeinen Vorgaben unternehmensspezifische Anpassungen, wie beispielsweise die Kalibrierung und Gewichtung einzelner Einflussgrößen, vorzunehmen.

Im Folgenden sollen das Function-Point- und das COCOMO-Verfahren näher beschrieben werden.

4.4.3.1 Function-Point-Verfahren

Das Function-Point-Verfahren wurde in den 80er Jahren von IBM für die Kostenermittlung von Softwareprojekten entwickelt. Das Verfahren bemisst den Aufwand, der bei der Projektdurchführung entsteht, nicht an dem fertigen Produkt, sondern an den Aufgabenstellungen des Anwenders [Hue05, S. 12]. Im ersten Schritt der Aufwandsermittlung werden insgesamt fünf softwarespezifische Einflussfaktoren betrachtet [Bur08, S. 215]. Hierzu zählen unter anderem die Dateneingabe, die Datenausgabe und die Art der Datenabfrage. Für jeden dieser Einflussfaktoren muss eine Einschätzung bezüglich der Komplexität vorgenommen werden. In Abhängigkeit davon, ob die Komplexität für den jeweiligen Faktor niedrig, durchschnittlich oder hoch ausgeprägt ist, wird eine definierte Anzahl von Function-Points vergeben. Um den subjektiven Einfluss bei der Bewertung zu minimieren, existiert für jede Merkmalsausprägung eine Kurzbeschreibung, anhand derer sich der Anwender des Verfahrens bei der Bewertung orientieren kann. Durch Addition der Function-Points aller fünf Einflussfaktoren ergibt sich die Summe der unbewerteten Function-Points.

Im nächsten Schritt werden 14 Einflussfaktoren, die die Infrastruktur des Systems widerspiegeln sollen, anhand eines vorgegebenen Punktekatalogs bewertet. Auf Basis der Punktevergabe wird ein Bewertungsfaktor¹ (Value Adjustment Factor) errechnet.

Durch Multiplikation der Function-Points mit dem Bewertungsfaktor erhält man die Summe der gewichteten Function-Points. Anhand dieser Anzahl an Function-Points kann auf den voraussichtlichen Personalaufwand für das jeweilige Entwicklungsvorhaben geschlossen werden. Der funktionale Zusammenhang zwischen Function-Points und Projektaufwand in Mannmonaten wird durch die Function-Point-Kurve beschrieben (siehe Bild 4-11).

¹ Der Value Adjustment Factor kann Werte zwischen 0,65 und 1,35 annehmen [Che09, S. 80ff.].

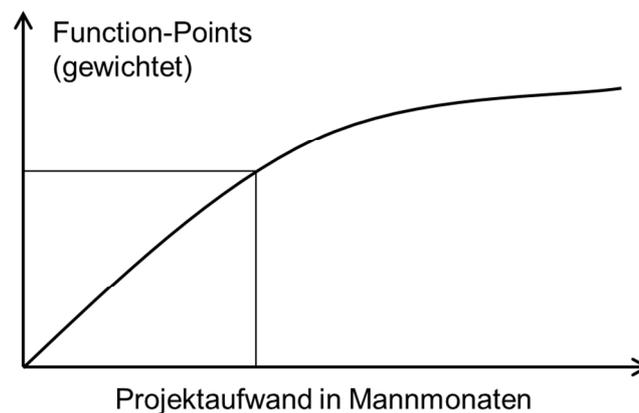


Bild 4-11: Zusammenhang zwischen der Anzahl der Function-Points und dem Projektaufwand in Mannmonaten

Allgemeingültige Graphen für die Function-Point-Funktion sind in der einschlägigen Literatur erwähnt¹. Darüber hinaus besteht aber auch die Möglichkeit, auf Basis retrograder Projektinformationen eine unternehmensspezifische Function-Point-Funktion zu erstellen [Lit93, S. 129].

4.4.3.2 COCOMO-Verfahren

Das COCOMO (COConstructive-COst-MOdel)-Verfahren wurde in den 80er Jahren von BARRY W. BOEHM für das Unternehmen Boeing entwickelt. Das Verfahren basiert auf einem parametrischen Modell, mit dem sich anhand definierter Einflussgrößen die Kosten für Software-Entwicklungen ermitteln lassen. Die Gleichungen des Kostenmodells und die Gewichtung der Einflussgrößen stützen sich beim COCOMO-Verfahren auf die statistische Auswertung von über 60 Software-Entwicklungsprojekten [Bur08, S. 173].

Als Kosteneinflussgröße dient insbesondere die Anzahl der erforderlichen Codezeilen (KDSI)². Darüber hinaus wird anhand charakteristischer Kriterien die Komplexität des Entwicklungsvorhabens bewertet. Je nach Komplexitätsgrad unterscheidet BOEHM zwischen den drei Entwicklungsmodi: *organic*, *semi-detached* und *embedded*³ [Hum11, S. 71].

Gleichung 4-8 veranschaulicht, wie sich für die unterschiedlichen Entwicklungsmodi der Projektaufwand auf Basis der Codezeilenanzahl berechnen lässt.

¹ Siehe hierzu [NK86] und [Hue05]

² Die Anzahl der Codezeilen wird im Zusammenhang mit der COCOMO-Methode in KDSI (Kilo Delivered Source Instructions) gemessen.

³ Anstelle von *organic*, *semi-detached* und *embedded* findet man in der Literatur auch die Bezeichnungen *einfach*, *mittelschwer* und *komplex*, siehe hierzu [Bur08, S. 185].

$$\begin{aligned} \text{PM}_{\text{organic}} &= 2,4 \cdot \text{KDSI}^{1,05} \\ \text{PM}_{\text{semi-detached}} &= 3,0 \cdot \text{KDSI}^{1,12} \\ \text{PM}_{\text{embedded}} &= 3,6 \cdot \text{KDSI}^{1,20} \end{aligned}$$

Gleichung 4-8: *Berechnung des Projektaufwands in Personenmonaten mit Hilfe der COCOMO-Methode (nach: [Hum11])*

PM: Personenmonate

KDSI: Anzahl erforderlicher Codezeilen

Wie man anhand des Exponenten der Codezeilen erkennen kann, besteht ein nichtlinearer Zusammenhang zwischen dem Projektaufwand und der Anzahl der Codezeilen. Dieser negative Skaleneffekt lässt sich dadurch erklären, dass bei steigender Projektgröße der Interaktionsaufwand innerhalb des Projektteams überproportional ansteigt [Krc05, S. 158].

Eine Weiterentwicklung des COCOMO-Verfahrens (Intermediate COCOMO) berücksichtigt neben der Anzahl der Codezeilen und der Komplexität weitere 15 Kosteneinflussgrößen. Hierzu zählen beispielsweise die erforderliche Zuverlässigkeit des Programms, die Fähigkeiten und Kenntnisse der Programmierenden oder die Größe der Datenbank. Für jede Einflussgröße stehen sechs Bewertungsstufen von sehr niedrig bis extrem hoch zur Auswahl [Bur08, S. 186]. Durch die Bewertung der Einflussgrößen ergibt sich ein Korrekturfaktor¹, mit dem die Anzahl der Personenmonate multipliziert wird.

Ähnlich wie bei dem Function-Point-Verfahren besteht auch bei COCOMO die Möglichkeit, unternehmensspezifische Anpassungen am Kostenmodell vorzunehmen. Hierfür ist zunächst eine statistische Auswertung der retrograden Kosteninformationen des jeweiligen Unternehmens erforderlich. Auf Grundlage dieser Auswertung kann eine Kalibrierung der branchenspezifischen Bewertungs- und Korrekturfaktoren vorgenommen werden [Ros09, S. 15].

Im Jahr 1995 wurde eine Weiterentwicklung des COCOMO-Verfahrens, das COCOMO II-Verfahren², eingeführt. Gegenüber dem ursprünglichen Verfahren kann bei COCOMO II auch die Wiederverwendung bestehender Software-Module und die objektorientierte Programmierung berücksichtigt werden [Krc05, S. 157].

¹ Der Korrekturfaktor kann Werte zwischen 0,7 und 1,66 annehmen [Hum11, S. 73].

² Für mehr Informationen zu COCOMO II siehe [BAB00].

4.4.4 Bewertung der parametrischen Verfahren

Die parametrischen Kostenermittlungsverfahren weisen eine im Vergleich zu den anderen Verfahrensgruppen hohe **Ergebnisqualität** auf [VDI2235, S. 31]. Wenn das Kostenmodell auf der Grundlage unternehmensspezifischer Daten generiert wurde und die vorliegenden Kostenzusammenhänge ausreichend gut widerspiegelt, kann von einer hohen Validität ausgegangen werden. Durch die statistische Modellbildung anhand retrograder Informationen kann eine höhere Genauigkeit erzielt werden als bei pauschalen Kostenschätzungen [Brn08, S. 74]. Da bei den univariaten Kennzahlenverfahren nur eine Kosteneinflussgröße berücksichtigt wird, muss bei diesen Verfahren von einer geringeren Ergebnisqualität ausgegangen werden. Gleiches gilt für die branchenspezifischen Verfahren. Bei diesen Verfahren werden die unternehmensspezifischen Gegebenheiten nicht immer ausreichend berücksichtigt. Vor der Anwendung branchenspezifischer Modelle muss daher zunächst überprüft werden, ob das Modell auf das jeweilige Unternehmen übertragbar ist [VDI2235, S. 41].

Durch die Verwendung festgelegter Kostengleichungen und Abläufe ist die subjektive Beeinflussbarkeit bei den parametrischen Verfahren gering. Auch wenn unterschiedliche Personen das Modell anwenden, sollte eine ausreichende Reliabilität gegeben sein.

Im Rahmen der Erstellung des Kostenmodells lässt sich auf Grundlage der retrograden Informationen objektiv ermitteln, wie gut das Kostenmodell die tatsächliche Kostenentstehung widerspiegelt. Mit Hilfe statistischer Kennzahlen¹ kann die Prognosegüte vor der Anwendung des Modells gemessen werden.

Vor allem bei den unternehmensspezifischen Modellen lässt sich der kausale Zusammenhang zwischen Einflussgröße und Kosten gut nachvollziehen und sollte innerhalb des Unternehmens auf breite Akzeptanz stoßen. Bei den branchenspezifischen Modellen sind die Wirkweise des Modells und die Abhängigkeiten zwischen den Größen nicht immer nachvollziehbar und können den Charakter einer 'Black Box' besitzen [Bur08, S. 206].

Bezüglich des **Durchführungsaufwands** muss bei den parametrischen Verfahren zwischen dem Aufwand, der bei der einmaligen Erstellung des Kostenmodells entsteht, und dem Aufwand, der bei der bloßen Anwendung des Modells anfällt, unterschieden werden. Insbesondere bei der Erstellung unternehmensspezifischer Kostenmodelle ist ein größerer Einsatz personeller Ressourcen für die Aufbereitung retrograder Projektinformationen und für die statistische Auswertung erforderlich. Liegt das Modell bereits vor, kann mit geringem Aufwand eine Kosteneinschätzung für ein zukünftiges Projekt vorgenommen werden. Auch bei der Benutzerqualifikation muss zwischen

¹ Als Gütekriterien für statistische Zusammenhänge lassen sich unter anderem das Bestimmtheitsmaß (R^2) und die Standardabweichung (σ) heranziehen.

Modellerstellung und –anwendung unterschieden werden. Die Erstellung spezifischer Kostenmodelle erfordert Fachwissen im Bereich der Statistik. Bei der Anwendung des Modells geht es primär darum, die Werte der signifikanten Einflussgrößen korrekt zu ermitteln. Der Einsatz von materiellen Ressourcen ist im Vergleich zu den anderen Verfahrensgruppen etwas höher ausgeprägt, da neben einer Projektdatenbank auch Statistiksoftware für die Auswertung der Daten erforderlich ist.

Auch der **Informationsbedarf** variiert je nach Art des Verfahrens. Je mehr Eingangsgrößen innerhalb des Kostenmodells berücksichtigt werden sollen, desto mehr retrograde Datensätze sind für die statistische Auswertung erforderlich [SH06, S. 243]. Insofern weisen multivariate Verfahren einen größeren Informationsbedarf als univariate Kennzahlenverfahren auf. Bei der Verwendung unternehmensspezifischer Verfahren muss nicht auf retrograde Kostenaufzeichnungen zurückgegriffen werden, da bereits existierende Kostenmodelle übernommen werden.

Um das jeweilige Kostenmodell anwenden zu können, müssen für alle berücksichtigten Einflussgrößen anterograde Informationen verfügbar sein. Daher sollten nur Einflussgrößen in das Kostenmodell aufgenommen werden, deren Ausprägung zum Zeitpunkt der Kostenermittlung bekannt ist oder sich mit geringem Aufwand ermitteln lässt. Für die Anwendung des COCOMO-Verfahrens muss beispielsweise die potentielle Anzahl an Codezeilen (KDSI) im Vorfeld bekannt sein. Eine solche pauschale Schätzung birgt die Gefahr großer Abweichungen, die auf diese Weise in das Kostenmodell übertragen werden.

Bei den univariaten Verfahren müssen lediglich Informationen zu einer Einflussgröße bekannt sein. Bei den multivariaten und den branchenspezifischen Verfahren ist der Informationsbedarf bedingt durch die größere Anzahl von Variablen entsprechend höher.

Die Forderung nach einem großen **Anwendungsspektrum** der Methode wird von den Verfahrensgruppen unterschiedlich gut erfüllt. Univariaten Verfahren können mit nur einer Einflussgröße angepasst werden und sind daher hinsichtlich des Anwendungsspektrums stark eingeschränkt. Bei den multivariaten Verfahren können durch die Einbeziehung mehrerer Einflussgrößen zahlreiche projektspezifische Gegebenheiten berücksichtigt werden und besitzen somit ein großes Anwendungsspektrum.

Durch den parametrischen Aufbau der Kostenmodelle können Änderungen schnell und einfach durch Anpassung der Kosteneinflussgrößen vorgenommen werden. Damit ist eine hohe **Flexibilität** in Bezug auf Änderungen gegeben.

4.5 Zusammenfassende Bewertung und Fazit

Stellt man alle in dieser Arbeit erwähnten Methoden zur Kostenermittlung gegenüber, zeigt sich, dass vor allem die parametrischen multivariaten Verfahren die Anforderungen hinsichtlich **Ergebnisqualität und Informationsgehalt** sehr gut erfüllen. Kein anderes Verfahren weist eine ähnlich hohe Bewertung bezüglich Validität und Reliabilität auf. Bei der Erstellung der Bewertungsmatrix ist bewusst auf eine Gewichtung der Anforderungskriterien verzichtet worden, es kann aber vorausgesetzt werden, dass die Ergebnisqualität die wichtigste Anforderung an ein Verfahren darstellt.

Der **Durchführungsaufwand** ist bei den Verhältnisverfahren am geringsten. Zwar ist die reine Anwendung der Methode aufgrund der Verwendung festgelegter Gleichungssysteme ähnlich aufwendig wie bei den parametrischen Verfahren, der einmalige Aufwand für die Modellerstellung ist aber geringer. Ein besonders hoher Durchführungsaufwand besteht bei den subjektiven Beurteilungsverfahren, da die Kostenermittlung im Regelfall für jeden Kostenermittlungsprozess grundlegend neu durchgeführt werden muss und dabei nur selten auf standardisierte Hilfsmittel zurückgegriffen werden kann.

In Bezug auf den **Informationsbedarf** lässt sich kein eindeutiger Favorit unter den aufgeführten Verfahren ermitteln. Der Bedarf an retrograden Informationen ist bei den subjektiven Beurteilungsverfahren und den branchenspezifischen parametrischen Verfahren am geringsten ausgeprägt. Viele der anderen Verfahren, bei denen sich die Kostenermittlung auf Erfahrungswerte aus abgeschlossenen Projekten stützt, weisen einen größeren Bedarf an retrograden Informationen auf.

Der Bedarf an anterograden Informationen ist bei den subjektiven Beurteilungsverfahren hoch ausgeprägt, da im Regelfall eine detaillierte Strukturierung der Projektabläufe vorgenommen wird¹. Besser schneiden in dieser Hinsicht die parametrischen Verfahren, die Verhältnisverfahren und die Erfahrungsdatenbank-Verfahren ab, da hier nur Informationen zu den kostenrelevanten Einflussgrößen vorliegen müssen.

Das **Anwendungsspektrum** ist bei den subjektiven Beurteilungsverfahren und den parametrischen Verfahren, die auf mehreren Einflussgrößen basieren, am größten. Die Verhältnis- und die Erfahrungsdatenbank-Verfahren können nur angewendet werden, wenn eine starke Ähnlichkeit zwischen dem neuen Entwicklungsvorhaben und den bereits durchgeführten Projekten besteht.

Hinsichtlich der **Flexibilität** besitzen die parametrischen Verfahren deutliche Vorteile gegenüber den anderen Verfahrensgruppen. Die Verwendung bestehender Gleichungssysteme ermöglicht eine schnelle Anpassung in Bezug auf Änderungen.

¹ Eine Ausnahme hiervon bilden pauschale Schätzungen, die nicht auf einer vorhergehenden Strukturierung des Projektes beruhen.

Unter Zugrundelegung der genannten Bewertungskriterien lässt sich sagen, dass die multivariate parametrische Kostenermittlung den geeignetsten Ansatz für eine Kostenermittlungsmethode darstellt. Vor allem im Hinblick auf die Ergebnisqualität und die Flexibilität erfüllt keine andere der aufgeführten Verfahrensgruppen die Anforderungen in gleicher Weise.

Die in Tabelle 4-1 dargestellte Bewertungsmatrix gibt einen Überblick über die in dieser Arbeit untersuchten Verfahren und deren Eignung für die frühzeitige Ermittlung der Produktentstehungskosten.

4.6 Handlungsbedarf

Bei der vorangegangenen Bewertung der Kostenermittlungsverfahren hat sich gezeigt, dass ein Nachteil der multivariaten parametrischen Verfahren in ihrem großen Bedarf an retrograden Projektinformationen besteht. Mit zunehmender Anzahl der Kosteneinflussgrößen erhöht sich auch die Anzahl der Datensätze, die für die statistische Auswertung benötigt werden [SH06, S. 243]. Die Berücksichtigung mehrerer Variablen ist aber wiederum erforderlich, um das Kostenmodell möglichst gut an das jeweilige Entwicklungsvorhaben anzupassen und um die zahlreichen projektspezifischen Einflussgrößen bei der Kostenermittlung einzubeziehen. Wenn ein Unternehmen nicht auf die benötigte Datenmenge zurückgreifen kann, können entweder nur wenige Variablen in dem Modell berücksichtigt werden oder ist die Erstellung eines spezifischen Kostenmodells mitunter gar nicht möglich. Ein Ziel dieser Arbeit ist es, den Bedarf an retrograden Informationen, der mit der Erstellung des Kostenmodells einhergeht, durch geeignete Maßnahmen zu verringern.

Der überwiegende Teil der Kostenermittlungsverfahren basiert auf einer deterministischen Ermittlung der Projektkosten. Diese Form der Ergebnisdarstellung berücksichtigt die im Vorfeld nicht planbaren Einflussmöglichkeiten und die Vielzahl von Risiken, die im Zusammenhang mit einer frühzeitigen Kostenermittlung bestehen, nur unzureichend [DeM04, S. 262], [BG08, S. 227]. Die Angabe eines festen Ergebniswertes spiegelt diese Risiken nicht wider und täuscht dem Methodenanwender Sicherheit und Eindeutigkeit vor, die durch die Methode im Regelfall nicht gegeben sind. Die Unkenntnis des Abweichungsrisikos kann zu falschen Interpretationen und unternehmerischen Fehlentscheidungen führen. Daher soll im Rahmen dieser Arbeit eine Möglichkeit aufgezeigt werden, wie Unsicherheiten bei der Kostenermittlung mit Hilfe einer stochastischen Ergebnisdarstellung berücksichtigt werden können.

Ein weiterer Nachteil der parametrischen Verfahren besteht in ihrem Durchführungsaufwand. Wie in Kapitel 4.4.4 bereits erläutert wurde, ist in diesem Zusammenhang eher die generelle Erstellung des Kostenmodells zu nennen als die spätere Anwendung der Kostengleichungen. Sowohl der Einsatz an personellen Ressourcen, als auch die erforderliche Benutzerqualifikation bieten Optimierungspotential. Im weiteren Verlauf dieser Arbeit soll ein systematischer Ansatz zur Erstellung eines Kostenmodells erarbeitet werden, der als Leitfaden für die Erstellung zukünftiger Kostenmodelle dienen kann. Anhand dieser Vorgaben und Hinweise soll der Aufwand bei der Modellerstellung verringert werden.

Verbesserungsansätze im Überblick:

- Verringerung des Bedarfs an retrograden Projektinformationen
- Stochastische Ergebnisermittlung im Rahmen eines Kostenmodells
- Reduzierung des Durchführungsaufwands und systematische Vorgehensweise zur Modellerstellung

5 Modellbildung mit Hilfe strukturprüfender multivariater Statistik

Um eine Verbesserung der bereits bestehenden Methoden der parametrischen Kostenermittlung erzielen zu können, sollen zunächst die Grundlagen und Randbedingungen der parametrischen Modellbildung genauer untersucht werden.

Die theoretische Modellbildung versucht, durch Abstraktion und Vereinfachung reale Probleme in einem mathematisch formalisierten Modell abzubilden. Im Hinblick auf die Kostenermittlung dient das Modell dazu, die technisch-wirtschaftlichen Zusammenhänge der Kostenentstehung zu beschreiben und nachzuvollziehen. Die Kenntnis über die Wirkzusammenhänge innerhalb des Modells erlaubt es, zukünftige Entwicklungen frühzeitig zu prognostizieren.

Den Ausgangspunkt für die Modellerstellung bildet das *hypothetische Modell* (siehe Bild 5.1). Hier werden zunächst theoretische Annahmen über die kausalen Abhängigkeiten und Wirkzusammenhänge innerhalb des Modells aufgestellt. Dabei wird vorausgesetzt, dass diese Zusammenhänge *a priori* bekannt sind. Im Hinblick auf ein Kostenmodell besteht die Zielsetzung mit Hilfe signifikanter Einflussgrößen auf die Zielgröße 'Kosten' oder eine kostenmäßig zu bewertende Größe zu schließen [Eit96, S. 19]. Im nächsten Schritt wird versucht, die Hypothese im Rahmen des *Erklärungsmodells* empirisch zu belegen [Cle11, S. 12f.]. Die Beschreibung der formalen Zusammenhänge und Abhängigkeiten innerhalb des Modells erfolgt mit Hilfe strukturprüfender statistischer Analyseverfahren. Aus dem Ergebnis dieser Analyse resultiert im Regelfall ein Gleichungssystem, das die Modellvariablen (Eingangs- und Ausgangsgrößen) und deren mathematische Abhängigkeiten formal wiedergibt [MS77, S. 34ff.]. Wenn das Erklärungsmodell zur Vorhersage zukünftiger Entwicklungen eingesetzt wird, wird dieses als *Prognosemodell* bezeichnet. Auf der Grundlage der Ausprägung der Einflussgrößen (anterograde Information) kann anhand der Lösung des Gleichungssystems auf den Wert der zukünftigen Ausgangsgröße geschlossen werden.

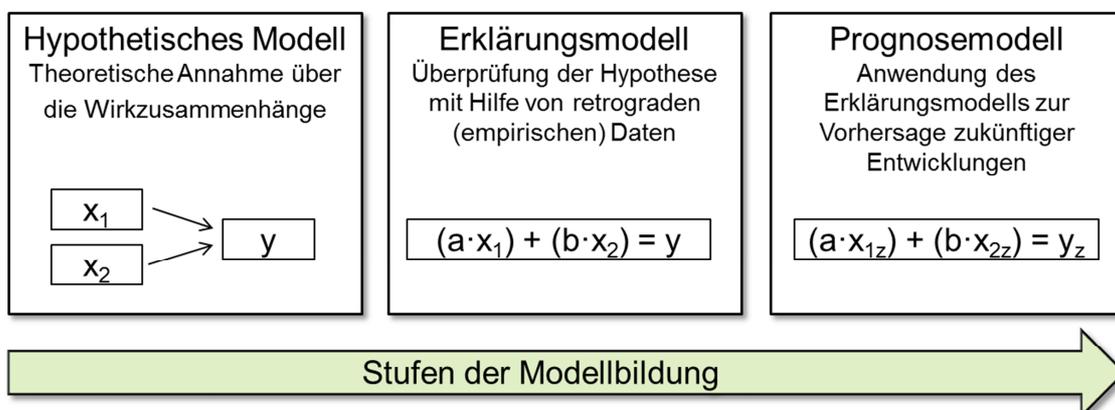


Bild 5-1: Stufen der Modellbildung, vom hypothetischen Modell zum Prognosemodell (nach: [Cle11])

Die Auswahl geeigneter Einflussgrößen ist eine wesentliche Voraussetzung für die Erstellung des Prognosemodells. Aufgrund der in der Realität vorherrschenden Komplexität ist eine vollständige Abbildung aller bestehenden Wirkzusammenhänge im Rahmen des Modells nicht möglich. Die vollständige Strukturgleichheit zwischen Realität und Modell bezeichnet sich als *isomorph* und stellt einen nicht erreichbaren Idealzustand dar [Cle11, S. 9]. Da mit zunehmender Anzahl der im Modell abgebildeten Zusammenhänge der Aufwand für die Erstellung und die Komplexität des Modells überproportional anwächst, muss die Auswahl der Einflussgrößen sorgfältig abgewägt werden. In der Praxis finden im Regelfall *homomorphe* Modelle Anwendung, bei denen nur die Einflussgrößen in das Modell einbezogen werden, die für die Erklärung der Wirkzusammenhänge am besten geeignet sind [Bau82, S. 20], [Cro10, S. 71].

Bei der Erstellung des Erklärungsmodells werden statistische Analyseverfahren eingesetzt. Im Zusammenhang mit den Methoden der strukturprüfenden Statistik bezeichnen sich die Eingangsgrößen als *unabhängige Variablen* und die Ausgangsgröße als *abhängige Variable*¹. Werden innerhalb des Modells nur eine unabhängige und eine abhängige Variable abgebildet, lässt sich das Erklärungsmodell mit Hilfe univariater statistischer Verfahren beschreiben. Bei vielen Problemstellungen wird hingegen die Ausgangsgröße von mehr als einer Variablen beeinflusst [BEP11, S. 56]. Muss innerhalb eines Modells mehr als eine unabhängige Variable berücksichtigt werden, ist für die statistische Beschreibung der Einsatz multivariater Analyseverfahren erforderlich.

Bild 5-2 zeigt beispielhaft den multivariaten Wirkzusammenhang (hypothetisches Modell) zwischen drei unabhängigen und einer abhängigen Variablen.

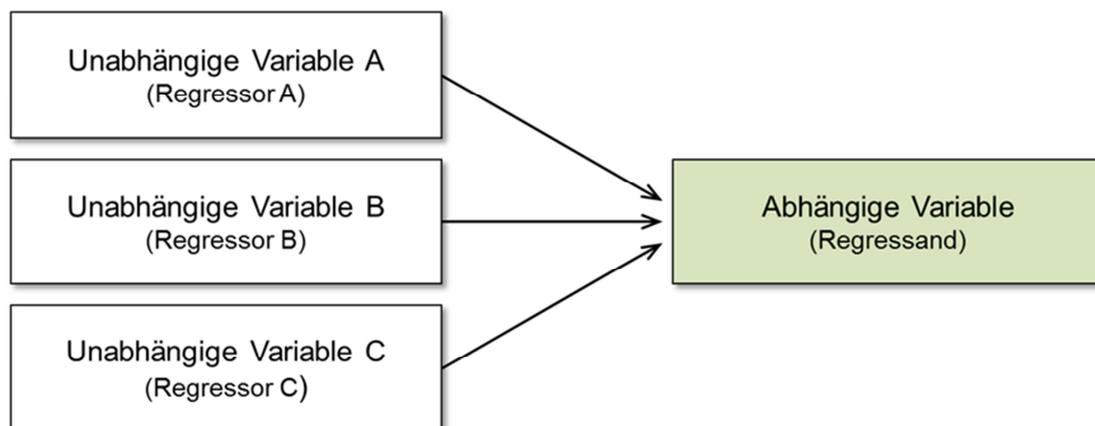


Bild 5-2: Hypothetisches Modell mit einer abhängigen Variablen und drei Regressoren

¹ Die unabhängigen Variablen werden auch als Regressoren und die abhängige Variable als Regressand bezeichnet [BEP+11, S. 59].

5.1 Ausprägung und Wirkzusammenhänge der Modellvariablen

Neben der Anzahl der innerhalb eines Modells zu berücksichtigen Variablen müssen im Rahmen der Modellbildung auch die funktionalen Wirkzusammenhänge und die Ausprägung der einzelnen Variablen berücksichtigt werden. In Abhängigkeit davon, welche Zusammenhänge in der praktischen Problemstellung vorliegen, sollten diese auch innerhalb des Modells widergespiegelt werden können. Die unterschiedlichen statistischen Analyseverfahren unterscheiden sich in ihrer Fähigkeit, die jeweiligen Besonderheiten innerhalb des Erklärungsmodells darzustellen. Daher muss vor der Auswahl eines Analyseverfahrens Klarheit bezüglich der wesentlichen Modellzusammenhänge herrschen. Diese werden im Folgenden kurz erläutert.

5.1.1 Funktionaler Zusammenhang der Variablen

Die Abhängigkeiten zwischen den Variablen können sowohl linear als auch nichtlinear sein. Die meisten in der betriebswirtschaftlichen Praxis auftretenden Zusammenhänge sind nichtlinear [Cro10, S. 81].

Die statistische Auswertung nichtlinearer Zusammenhänge ist mit Hilfe vieler Analyseverfahren entweder gar nicht oder nur indirekt (über die Transformation von Variablen) möglich. Eine direkte Lösung kann ausschließlich mit numerisch arbeitenden Verfahren erzielt werden, die sich dem Ergebnis in vielen Iterationsschritten, ausgehend von einem zuvor festgelegten Startwert, annähern. Hierbei ist nicht immer garantiert, dass der Lösungsalgorithmus konvergiert und zu einem optimalen Ergebnis gelangt. Die Startwerte müssen im Vorfeld durch den Methodenanwender vorgegeben werden. Da keine allgemeingültigen Regeln zum Auffinden geeigneter Startwerte existieren, erfolgt die Auswahl häufig auf der Grundlage eines `Trial-and-Error`-Verfahrens [BEW11, S. 29].

Aufgrund der genannten Nachteile, die im Zusammenhang mit der Analyse nichtlinearer Modelle bestehen, werden in der betriebswirtschaftlichen Praxis nichtlineare Zusammenhänge fast ausschließlich durch lineare Modelle abgebildet [Cro10, S. 81]. BACKHAUS et al. vertreten die These, dass es zu Gunsten der Komplexität und des Erstellungsaufwands des Modells für viele Aufgabenstellungen ausreichend ist, nichtlineare Zusammenhänge durch lineare Modelle zu approximieren [BEP+11, S. 509].

5.1.2 Skalenniveau

In Abhängigkeit von den Modellgrößen (abhängige und unabhängige Variablen) müssen zur Messung und Darstellung der jeweiligen Ausprägung der Variablen unterschiedliche Skalen herangezogen werden. So kann beispielsweise die Kosteneinflussgröße *Anzahl zu entwickelnder Bauteile* problemlos als Zahlenwert ausgedrückt werden. Die Beschreibung der Modellgrößen *Bauteilkomplexität* und *Motivation des Projektteams* gestaltet sich hingegen schwieriger. Je nachdem in welcher Weise die Ausprägung eines

Objektes ausgedrückt werden kann, unterscheidet man Skalen mit unterschiedlichem Skalenniveau¹ [BEP+11, S. 10].

Nominalskalen stellen die primitivste Form der Datenskalierung dar. Nominalskalierte Daten können lediglich auf Gleichheit oder Ungleichheit hin untersucht werden.

Die *Ordinalskala* besitzt gegenüber der Nominalskala ein höheres Skalenniveau. Ordinalskalierte Daten lassen sich ebenfalls auf Gleichheit hin untersuchen, darüber hinaus können die Skalenwerte in eine natürliche Reihenfolge gebracht werden. Die Abstände zwischen den unterschiedlichen Ausprägungsstufen müssen hierbei nicht zwangsläufig gleich groß sein. Da sich die Ausprägung ordinalskalierten Daten nicht mit Hilfe mathematischer Zahlenwerte beschreiben lässt, spricht man in diesem Zusammenhang auch von qualitativen Größen.

Die qualifizierteste Skalenart stellt die *metrische Skala* dar. Bei den metrischen Skalen sind als Skalenwerte die reellen Zahlen abgetragen. Neben der Möglichkeit der Unterscheidung und der Rangordnung besteht aufgrund der konstanten Abstände zwischen den Skalenwerten die Möglichkeit, Differenzen oder Quotienten der Zahlenwerte zu bilden [May08, S. 71]. Bei metrisch skalierten Daten spricht man auch von quantitativen Größen.

Bild 5-3 gibt einen Überblick über die verschiedenen Skalenniveaus und die möglichen Ausprägungen der Modellvariablen.

Skalen	Beispiele
Nominalskala	Kunde (Kunde A - Kunde B)
	Produkt (Produkt A - Produkt B)
Ordinalskala	Komplexität (hoch - mittel - gering)
	Qualitätsanforderungen (hoch - mittel - gering)
Metrische Skala (Kardinalskala)	Teileanzahl (in Stück)
	Kosten (in €)

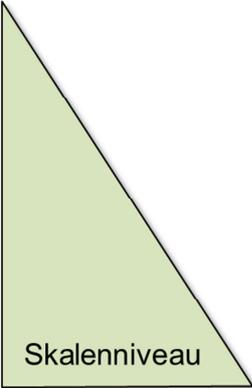


Bild 5-3: *Unterschiedliche Skalen mit Beispielen für Modellgrößen und deren Ausprägung*

Viele statistische Analyseverfahren sind bezüglich der Einbeziehung von Variablen mit unterschiedlichem Skalenniveau eingeschränkt. Daher muss vor der Auswahl des Analyseverfahrens geprüft werden, in welcher Skala die unabhängigen und abhängigen Variablen gemessen werden können [BV08, S. 8].

¹ Das Skalenniveau bestimmt sich aus dem Informationsgehalt der Daten einer Skala sowie deren Anwendbarkeit für weiterführende Rechenoperationen [BEP+11, S. 10].

5.1.3 Dependenzstruktur

Bei der Erstellung des hypothetischen Modells wird unterstellt, dass es unabhängige Eingangsgrößen gibt, die die abhängige Ausgangsgröße beeinflussen. In der Praxis kann allerdings nicht immer von einseitigen Wirkbeziehungen ausgegangen werden. Mit steigender Anzahl unabhängiger Variablen steigt auch die Wahrscheinlichkeit von Korrelationen zwischen den unabhängigen Variablen. Vor allem bei der Auswertung ökonomischer Zusammenhänge kann es vorkommen, dass sich die Eingangsgrößen¹ auch untereinander beeinflussen [AKK09, S. 222ff.]. In solchen Fällen spricht man von *interdependenten*² Modellstrukturen.

Bild 5-4 zeigt schematisch die wechselseitige Abhängigkeit interdependenter Modellvariablen.

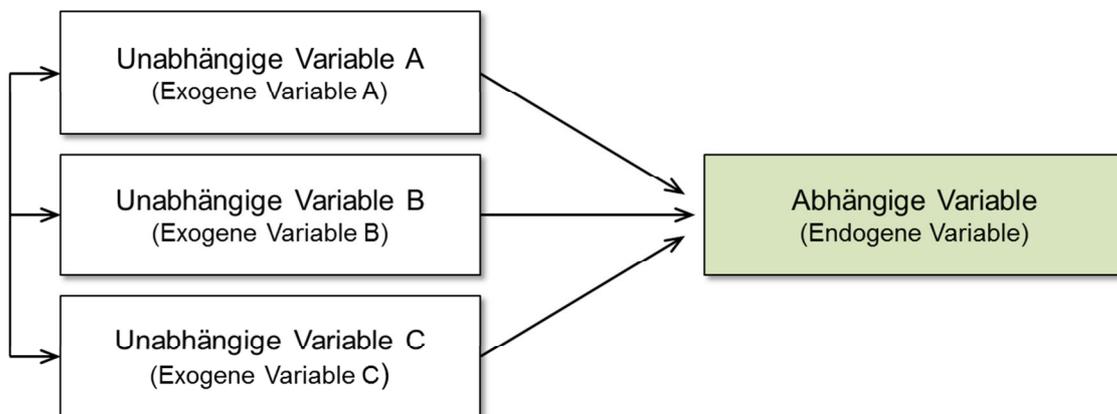


Bild 5-4: Hypothetisches Modell mit interdependenter Wirkstruktur

Die Analyse interdependenter Modelle erfordert eine simultane Prüfung aller Beziehungen [BEP11, S. 517]. Nur die wenigsten Analyseverfahren eignen sich für die Auswertung interdependenter Modellzusammenhänge [AW91, S. 4]. Im Regelfall werden zu diesem Zweck komplizierte Strukturgleichungsmodelle herangezogen, die eine numerische Lösung des Modells auf der Grundlage vieler Optimierungsschritte ausführen.

Insofern muss vor der Auswahl eines Analyseverfahrens zunächst geprüft werden, ob Interdependenzen zwischen den unabhängigen Modellvariablen bestehen.

¹ Bei interdependenten Modellen wird nicht mehr zwischen abhängigen und unabhängigen Variablen, sondern zwischen endogenen und exogenen Variablen unterschieden.

² Die wechselseitige Abhängigkeit von unabhängigen Variablen wird auch als Multikollinearität bezeichnet.

5.1.4 Deterministische und stochastische Prognosemodelle

Mit Hilfe des Prognosemodells lässt sich auf der Grundlage der Eingangsgrößen (unabhängige Variablen) auf die Ausgangsgröße (abhängige Variable) schließen. In Bezug auf die Kostenermittlung für Entwicklungsvorhaben ist davon auszugehen, dass die Ausgangsgröße ein metrisch skalierter Kosten- oder Stundenwert ist, der die Höhe der potentiell anfallenden Kosten widerspiegelt. Modelle mit deterministischer Ergebnisdarstellung geben als Ergebnis lediglich einen festen Zahlenwert aus. Wie bereits in Kapitel 2.3.3 beschrieben wurde, besteht insbesondere bei der frühzeitigen Kostenermittlung das Risiko, dass die tatsächlich anfallenden Kosten von dem Prognoseergebnis abweichen. Die Unsicherheit des Modells und das damit verbundene Risiko von Ergebnisabweichungen lassen sich durch eine deterministische Ausgabe des Ergebnisses nicht darstellen.

Im Gegensatz hierzu wird in stochastischen Modellen der Versuch unternommen, neben dem Ergebniswert auch die entsprechende Eintrittswahrscheinlichkeit abzuschätzen [Cle11, S. 12]. In diesem Fall wird das Modellergebnis nicht mehr als fester Zahlenwert, sondern als Verteilung oder Ergebnisintervall ausgegeben (siehe Bild 5-5).

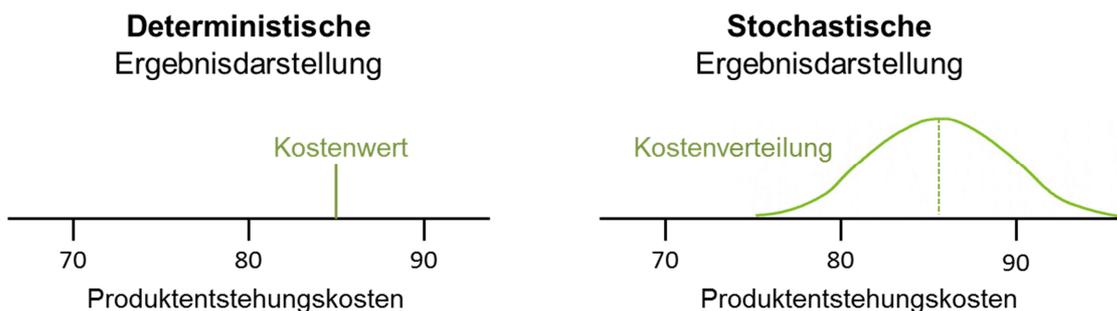


Bild 5-5: Vergleich von deterministischer und stochastischer Darstellung des Prognoseergebnisses

Bei stochastischen Prognosemodellen lässt sich anhand der Ausprägung der Kostenverteilung ersehen, wie groß das Abweichungsrisiko in Bezug auf den Ergebniswert ist. Die Streuung des Ergebniswertes wird im Regelfall durch mehrere Faktoren beeinflusst.

Ein möglicher Grund für Unsicherheiten bei der Kostenermittlung können Fehler oder Streuungen innerhalb des Erklärungsmodells sein. KLASMEIER unterscheidet in diesem Zusammenhang zwischen zufälligen und systematischen Fehlern [Kla85, S. 85]. Zufällige Fehler resultieren aus Abweichungen zwischen der Kostenfunktion des Modells und den retrograden Modellinformationen. So werden beispielsweise zwischen der Regressionsgeraden des Modells und den retrograden Modellwerten immer leichte Abwei-

chungen bestehen¹. Das Risiko von zufälligen Fehlern lässt sich mit Hilfe der Standardabweichung von Kostenfunktion und retrograden Datenwerten beschreiben.

Systematische Fehler entstehen dann, wenn grundlegende Unterschiede zwischen den retrograden Referenzobjekten und dem Prognoseobjekt bestehen. Bei der Kostenermittlung würde beispielsweise die Erhöhung des Stundenverrechnungssatzes oder eine plötzliche Steigerung der Qualitätsanforderungen zu späteren Abweichungen zwischen den Ist- und Prognosewerten führen. Systematische Fehler können große und unvorhersehbare Ergebnisabweichungen verursachen und müssen daher bei der Modellbildung unbedingt vermieden werden.

Eine weitere Ursache für Ergebnisabweichungen kann darin bestehen, dass die Werte der Eingangsgrößen des Prognosemodells (unabhängige Variable) falsch abgeschätzt wurden. Diese Abschätzung muss frühzeitig durch den Methodenanwender für das zu prognostizierende Objekt erfolgen. Aufgrund des in frühen Phasen von Entwicklungsprojekten bestehenden Informationsdefizits ist auch die Ausprägung der anterograden Eingangsgrößen mit Unsicherheiten behaftet.

Bild 5-6 zeigt anhand eines Beispiels, wie die Unsicherheiten bei der Abschätzung der Eingangsgrößen und die Standardabweichung des Modells (zufälliger Fehler) das Prognoseergebnis beeinflussen können.

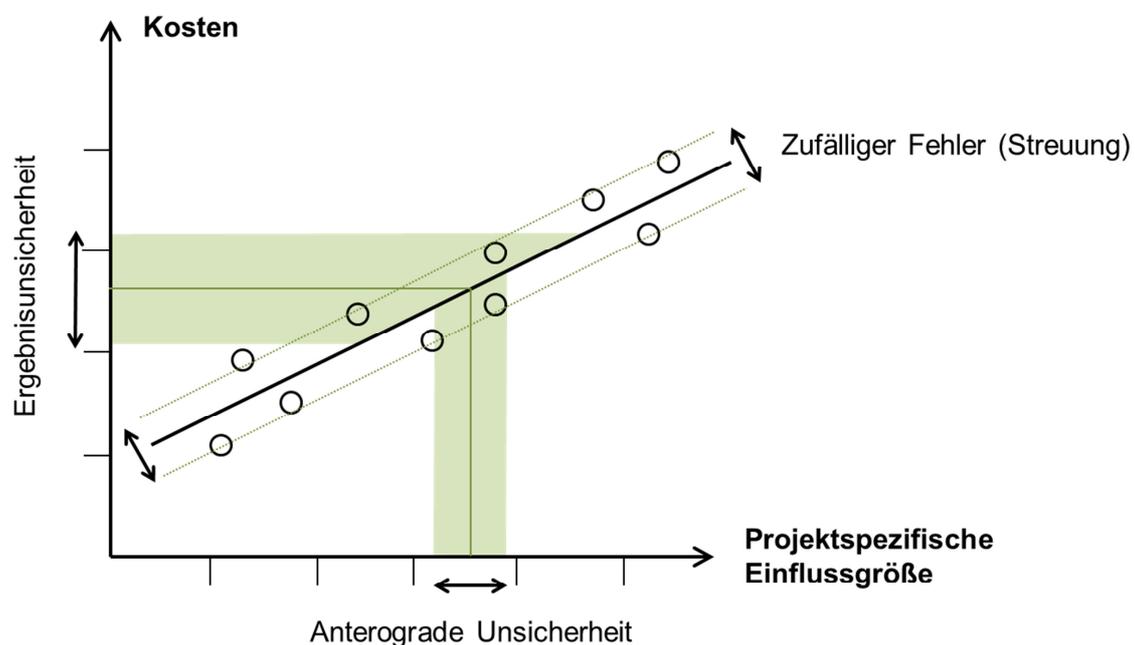


Bild 5-6: Aggregation von Unsicherheiten bei der Bestimmung der Projekteinflussgrößen und der Standardabweichung des Kostenmodells

¹ Die Regressionsgerade wird so gewählt, dass die Quadratsumme der Abweichung zu den Wertepunkten minimal ist (siehe Kapitel 4.4.1). Insofern muss immer von einer Streuung der Wertepunkte um die Regressionsgerade ausgegangen werden.

Um die Ergebniswahrscheinlichkeit innerhalb des stochastischen Prognosemodells darstellen zu können, müssen die gegebenen Unsicherheiten und die zufällige Modellstreuung bekannt sein. In Abhängigkeit davon, ob die entsprechenden Wahrscheinlichkeitswerte aus der subjektiven Einschätzung des Methodenanwenders resultieren oder empirisch belegt wurden, unterscheidet man zwischen subjektiven und objektiven Wahrscheinlichkeiten [EW03, S. 155].

Die Ermittlung der Ergebnisunsicherheit kann anhand einer analytischen Untersuchung oder mit Hilfe von Computersimulationen erfolgen [Lit93, S. 154].

5.2 Strukturprüfende multivariate Analyseverfahren

Die in der einschlägigen Literatur beschriebenen strukturprüfenden multivariaten Analyseverfahren lassen sich in drei Gruppen untergliedern. Die unterschiedlichen Verfahrensgruppen unterscheiden sich in ihren Anwendungsmöglichkeiten, ihren Vorgehensweisen bei der Ergebnisermittlung und in ihren Aussagefähigkeiten. Bild 5-7 gibt einen Überblick über die grundlegenden Ansätze der multivariaten Analyseverfahren.

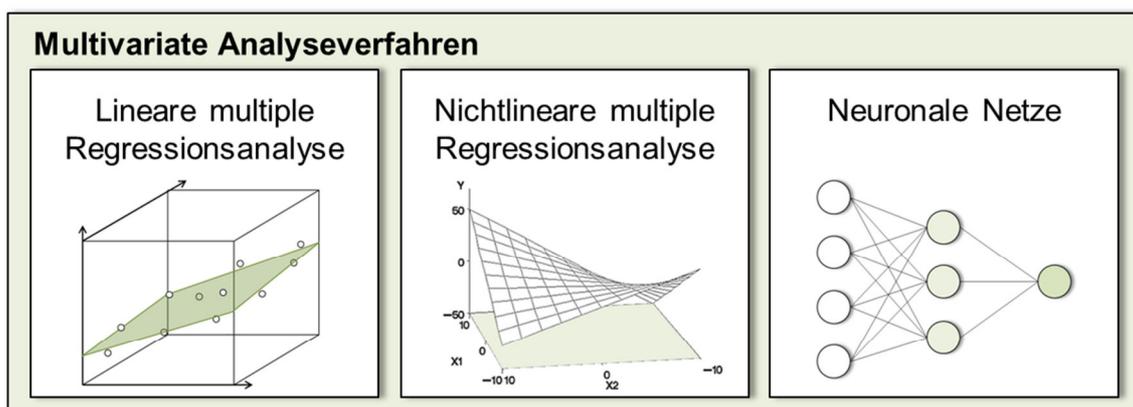


Bild 5-7: Übersicht der Verfahrensansätze der strukturprüfenden multivariaten Datenanalyse

5.2.1 Lineare multiple Regressionsanalyse

Die lineare Regressionsanalyse ist eines der flexibelsten und am häufigsten eingesetzten statistischen Analyseverfahren [BEP+11, S. 56]. Mit Hilfe der multiplen Regressionsanalyse lässt sich der Zusammenhang zwischen einer abhängigen Variablen (y) und mehreren unabhängigen Variablen (x_1, x_2, \dots, x_j) quantitativ beschreiben. Gleichung 5-1 zeigt eine lineare Regressionsgleichung mit $n = J$ unabhängigen Variablen. Der Formelansatz zwischen den unabhängigen Variablen kann sowohl additiv als auch multiplikativ sein, jedoch nie gemischt [Bau82, S. 102].

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_jx_j + \dots + b_Jx_J + e$$

Gleichung 5-1: *Lineare multiple Regressionsgleichung mit additivem Formelansatz*

y: Wert der abhängigen Variablen

b₀: Konstantes Glied

b_j: Regressionskoeffizienten (j = 1, 2, ..., J)

x_j: Werte der unabhängigen Variablen (j = 1, 2, ..., J)

J: Anzahl der unabhängigen Variablen

e: Wert der Residualgröße

Durch Multiplikation der unabhängigen Variablen mit den jeweiligen Regressionskoeffizienten und anschließender Summenbildung erhält man den Wert für die abhängige Variable (y). Der Wert des Regressionskoeffizienten ist ein Indikator dafür, wie stark der Einfluss der jeweiligen Variablen auf das Ergebnis ist. In der Regressionsgleichung wird die Annahme getroffen, dass die Zielgröße (y) keine Zufallsvariable ist, sondern einen deterministischen Wert darstellt. Der zufällige Einfluss wird durch die Residualgröße (e) beschrieben [Beu07, S. 295f.]. Eine Streuung der Ergebniswerte kann zum einen aus Beobachtungs- und Messfehlern resultieren, zum anderen kann es zu Streuungen kommen, wenn relevante Einflussgrößen nicht in der Regressionsgleichung berücksichtigt wurden [BEP+11, S. 65]. Die Regressionsgleichung stellt ein homomorphes Erklärungsmodell¹ dar. Sie wird auf der Grundlage des theoretischen Modells erstellt, in dem die kausalen Abhängigkeiten und Wirkzusammenhänge *a priori* beschrieben wurden. Die Ermittlung der Regressionsgleichung erfolgt mit Hilfe einer Schätzfunktion. In vielen Fällen wird als Schätzfunktion die *Methode der kleinsten Quadrate* eingesetzt². Dies ist ein mathematisches Lösungsverfahren, das eine Regressionsebene³ sucht, die möglichst gut an die retrograden Datenwerte angepasst ist. Als Maß für die Anpassung wird die Ausprägung der Residualgröße herangezogen. Die Methode der kleinsten Quadrate sucht diejenige Ebenenfunktion, für die die Summe der quadrierten Residuen

¹ Siehe hierzu Kapitel 5 'Modellbildung mit Hilfe strukturprüfender multivariater Statistik'

² Andere Schätzfunktionen sind die *Maximum-Likelihood* und die *Momentenmethode*. Da es bei der Anwendung von Maximum-Likelihood-Schätzern bei kleineren Stichproben zu Verzerrungen kommt (siehe hierzu [SH06, S. 247] und [WB10, S. 205]) und im Zusammenhang mit der Kostenermittlung für Produktentstehungsprojekte mit kleinen Stichprobengrößen zu rechnen ist (siehe Kapitel 3.3), sollen Maximum-Likelihood-Schätzer an dieser Stelle nicht weiter betrachtet werden. Ein Nachteil der Momentenmethode besteht darin, dass die Ergebnisse nicht immer erwartungsgetreu sind [BG05, S. 109]. Aufgrund der genannten Einschränkungen anderer Schätzfunktionen soll im Rahmen dieser Arbeit primär die Kleinste-Quadrate-Schätzfunktion betrachtet werden.

³ Bei mehr als zwei unabhängigen Variablen liegt eine Regressionshyperebene vor. Siehe hierzu auch Kapitel 4.4.2

minimal ist (siehe Gleichung 5-2). Die Quadrierung der Residuen bewirkt, dass größere Abweichungen stärker ins Gewicht fallen als kleinere. Darüber hinaus wird vermieden, dass sich positive und negative Abweichungen gegeneinander aufheben.

$$\sum_{n=1}^N e_n^2 = \sum_{n=1}^N [y_n - (b_0 + b_1 x_{1n} + b_2 x_{2n} + \dots + b_j x_{jn} + \dots + b_J x_{Jn})]^2 \rightarrow \min$$

Gleichung 5-2: Zielfunktion der multiplen Regressionsfunktion (Methode der kleinsten Quadrate) (nach: [Fis08])

e_n : Wert der Residualgröße ($n = 1, 2, \dots, N$)

y_n : Wert der abhängigen Variablen ($n = 1, 2, \dots, N$)

b_0 : Konstantes Glied

b_j : Regressionskoeffizienten ($j = 1, 2, \dots, J$)

x_{jn} : Werte der unabhängigen Variablen ($j = 1, 2, \dots, J$; $n = 1, 2, \dots, N$)

J : Anzahl der unabhängigen Variablen

N : Anzahl der Beobachtungen (retrograde Datensätze)

Durch partielle Ableitung und Nullsetzen der Normalgleichung gelangt man von der Zielfunktion (Gleichung 5-2) zur Regressionsgleichung (Gleichung 5-1) [TH08, S. 175].

Das Bestimmtheitsmaß (R^2) ist ein Indikator für den Grad der Übereinstimmung zwischen den retrograden Wertepunkten und der Regressionsfunktion. Dem Bestimmtheitsmaß liegt der Gedanke zugrunde, dass sich die Gesamtstreuung der Wertepunkte aus einem Anteil zusammensetzt, der sich durch die Regressionsgleichung erklären lässt und einem Anteil, der nicht durch die Gleichung beschrieben wird (Residuum). Setzt man die erklärte Streuung ins Verhältnis zur Gesamtstreuung, erhält man den Wert für das Bestimmtheitsmaß (siehe Gleichung 5-3). Die Verlässlichkeit der Regressionsfunktion ist umso höher, je näher der Wert des Bestimmtheitsmaßes bei 1 liegt [Fis08, S. 155].

$$R^2 = \frac{\sum_{n=1}^N (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{n=1}^N (y_i - \bar{y})^2} = \frac{\text{erklärte Streuung}}{\text{Gesamtstreuung}}$$

Gleichung 5-3: Berechnung des Bestimmtheitsmaßes (nach: [BEP+11])

y_i : Beobachtungswerte der einzelnen Stichproben

\hat{y}_i : Geschätzter Regressionswert

\bar{y} : arithmetischer Mittelwert

Das Bestimmtheitsmaß ist eine wichtige, aber keine hinreichende Prüfgröße für die Qualität eines Regressionsmodells. Für die Anwendung der Regressionsanalyse müssen weitere Voraussetzungen erfüllt sein, da es sonst bei der Modellbildung zu Verzerrungen¹ und Ineffizienz² kommen kann.

Tabelle 5-1 gibt einen Überblick über die wesentlichen Modellanforderungen, die im Zusammenhang mit der linearen Regressionsanalyse beachtet werden müssen.

Tabelle 5-1: Modellvoraussetzungen für die lineare multiple Regressionsanalyse (nach: [FKL09], [Gru97], [BEP+11], [RA00])

Modellvoraussetzungen für die lineare multiple Regressionsanalyse	Formaler Zusammenhang
Es muss ein linearer Zusammenhang zwischen der abhängigen Variablen "y" und den unabhängigen Variablen "x _i " bestehen	$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + e$
Das Modell sollte alle relevanten unabhängigen Variablen enthalten (aussagekräftiger Wert des Bestimmtheitsmaßes "R ² ")	$R^2 \rightarrow 1$
Die Anzahl der retrograden Datensätze "N" muss größer oder gleich der Anzahl der unabhängigen Variablen "J" sein	$N \geq J$
Es darf keine Interdependenz zwischen den unabhängigen Variablen bestehen	$\text{Cov}(x_i, x_j) = 0$
Das Residuum „e“ muss eine konstante Varianz besitzen (Homoskedazität)	$\text{Var}(e_i) = \sigma^2$
Die Residuen müssen unkorreliert sein (keine Autokorrelation)	$\text{Cov}(e_i, e_j) = 0$
Der Erwartungswert "E" der Störgröße "e" muss im Mittelwert Null betragen	$E(e_i) = 0$

Die oben beschriebenen Modelluntersuchungen und Gütekriterien beschreiben, wie gut die Regressionsfunktion an die beobachteten Daten angepasst ist. Des Weiteren muss aber auch geprüft werden, ob das geschätzte Modell über die Stichprobe hinaus für die Grundgesamtheit Gültigkeit besitzt [BEP+11, S. 76]. Ein wichtiges Kriterium hierfür stellt die statistische Signifikanz des Modells und der einzelnen Variablen dar. Üblicherweise findet sowohl ein Signifikanztest für das Gesamtmodell (F-Test) als auch für jede unabhängige Variable separat (t-Test) statt.

Ein Modell wird dann als signifikant erachtet, wenn die Wahrscheinlichkeit, dass die innerhalb des Modells unterstellten Zusammenhänge nur zufällig bestehen, unterhalb

¹ Verzerrungen (engl. Bias) liegen dann vor, wenn der Mittelwert der Stichprobenverteilung nicht mit dem Ergebnis der Schätzfunktion zusammenfällt.

² Die Effizienz ist ein Maß für die Varianz eines Schätzers. Ein Schätzer ist umso effizienter, je geringer seine Varianz ist.

einer festgelegten Schwelle¹ liegt. Die Überprüfung des Modells erfolgt auf Grundlage einer Hypothese H_0 (Nullhypothese), die besagt, dass kein Zusammenhang zwischen den abhängigen und unabhängigen Variablen besteht und somit alle Regressionskoeffizienten den Wert Null annehmen. Liegt die Wahrscheinlichkeit für das Zutreffen der Nullhypothese unterhalb des Schwellenwertes, wird diese verworfen, und es kann davon ausgegangen werden, dass ein signifikanter Zusammenhang besteht. Liegt die Wahrscheinlichkeit für das Zutreffen oberhalb der Schwelle, ist dies noch kein hinreichender Beweis dafür, dass die Zusammenhänge nicht signifikant sind. Hier kann eine Überlagerung mit anderen Einflussgrößen oder ein zu geringer Stichprobenumfang ursächlich dafür sein, dass die Nullhypothese nicht verworfen werden kann [SH06, S. 305ff.].

5.2.2 Nichtlineare multiple Regressionsanalyse

Im Zusammenhang mit der Regressionsanalyse unterscheidet man lineare, intrinsisch lineare und intrinsisch nichtlineare Modelle [BEW11, S. 23]. Nachfolgend sollen anhand dreier Beispielgleichungen die Unterschiede zwischen diesen Ausprägungen aufgezeigt werden.

- 1) $y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + e \quad \rightarrow \quad \text{lineares Modell}$
- 2) $y = b_0 + b_1x_1 + b_2(x_2)^{0,5} + e \quad \rightarrow \quad \text{intrinsisch lineares Modell}$
- 3) $y = b_0 + b_1x_1 + b_2(x_2)^\beta + e \quad \rightarrow \quad \text{intrinsisch nichtlineares Modell}$

Gleichung (1) stellt das klassische lineare Regressionsmodell dar, welches bereits in Kapitel 5.2.1 beschrieben wurde.

Gleichung (2) ist linear in Bezug auf die Parameter, aber nicht hinsichtlich der Variablen x_2 . Mittels einer Transformation ($x_2' = x_2^{0,5}$) lässt sich das Modell linearisieren und kann mit Hilfe der linearen Regressionsanalyse berechnet werden. Modelle, die durch Transformation in lineare Modelle überführbar sind, bezeichnen sich auch als Potenzmodelle [Schz07, S. 163].

In Gleichung (3) erkennt man, dass die Regressionsfunktion von einem Parameter β nichtlinear abhängig ist. In diesem Fall ist eine Transformation in ein lineares Gleichungsmodell nicht mehr möglich und der Einsatz der nichtlinearen Regressionsanalyse wird unumgänglich [BEW11, S. 23].

¹ Die Schwelle bezeichnet sich auch als Signifikanzniveau. Das Signifikanzniveau wird vom Methoden-anwender festgelegt und kann je nach Anwendungsfall des Modells variieren. Übliche Signifikanzniveaus liegen zwischen 0,1-10% [BEP+11]. In der Literatur wird in diesem Zusammenhang auch oftmals der Begriff Vertrauenswahrscheinlichkeit verwendet. Eine Vertrauenswahrscheinlichkeit von 95% entspricht einem Signifikanzniveau von 5%.

Die Identifizierung eines intrinsisch nichtlinearen Modells anhand der retrograden Datenwerte ist mitunter nicht einfach. Bei univariaten Zusammenhängen wird dazu geraten, den funktionalen Zusammenhang der Variablen mit Hilfe eines Streudiagramms zu bewerten [Sto07, S. 263]. Bei multivariaten Modellen lassen sich Zusammenhänge von mehr als zwei unabhängigen Variablen nicht mehr graphisch darstellen. Eine Untersuchung des Streudiagramms ist in diesem Fall nicht mehr möglich. Neben der graphischen Auswertung des funktionalen Zusammenhangs kann auf verschiedene Linearitätstests¹ zurückgegriffen werden, die aufzeigen, wann der Einsatz der nichtlinearen Regressionsanalyse notwendig ist.

Bild 5-8 zeigt beispielhaft den nichtlinearen Zusammenhang zwischen zwei unabhängigen und einer abhängigen Variablen anhand eines dreidimensionalen Regressionsdiagramms.

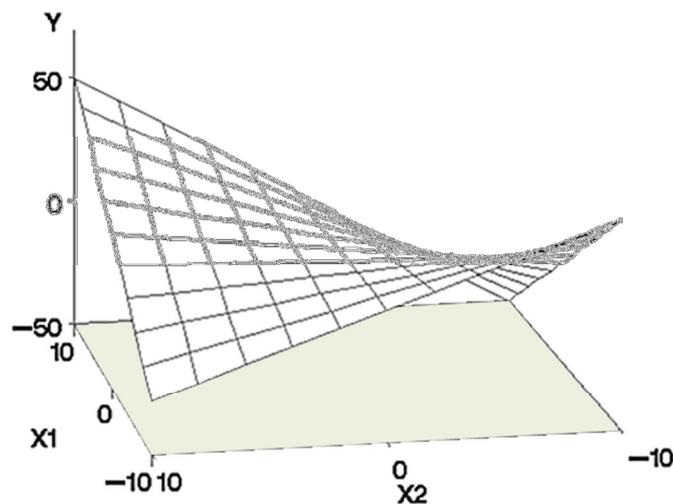


Bild 5-8: Darstellung der nichtlinearen Regressionsfläche zweier unabhängiger Variablen (x_1 und x_2) und einer abhängigen Variablen (y)

Auch bei der nichtlinearen Regressionsanalyse kann als Schätzfunktion die Kleinst-Quadrate-Methode eingesetzt werden. Gegenüber der linearen Analyse gelangt man zu einem nichtlinearen Gleichungssystem, welches sich im Allgemeinen nicht mehr mit Hilfe der Differentialrechnung lösen lässt, sondern den Einsatz von numerischen Algorithmen² zur Lösung erfordert.

Für die Minimierung der Zielfunktion (Minimum der Summe der quadrierten Residuen) wird ein numerisches Optimierungsverfahren verwendet. Hierbei soll sich das Optimie-

¹ Als bekannte Beispiele für Linearitätstests sind die Tests nach MENDEL und FISHER zu nennen. Darüber hinaus lässt sich die Linearität auch anhand eines Residuen-Streudiagramms beurteilen (siehe hierzu [UM08, S. 204ff.]).

² Als Rechenalgorithmus für eine numerische Minimierung der quadrierten Residuen wird unter anderem das Levenberg-Marquardt- oder das Newton-Raphson-Verfahren eingesetzt.

rungsverfahren, ausgehend von einem durch den Methodenanwender definierten Startwert, durch mehrere iterative Anpassungen der Parameter einem Minimum annähern. Stochastische Optimierungsverfahren führen die Parameteroptimierung rein zufällig durch und benötigen entsprechend viele Iterationsschleifen, um zu einer Lösung zu gelangen. Deterministische Verfahren optimieren die Parameter gezielt in Richtung eines Minimums und folgen dieser Richtung, bis sich der Ergebniswert wieder verschlechtert [Eit96, S. 65]. Bei beiden Optimierungsansätzen werden so viele Iterationen durchgeführt, bis ein zuvor festgelegtes Abbruchkriterium¹ erfüllt ist [Alt02, S. 26ff.].

Auf Basis der Optimierungsverfahren lassen sich nur lokale Minima berechnen. Welches Minimum berechnet wird, ist von der Auswahl der Startwerte abhängig. Insofern muss durch den Methodenanwender immer überprüft werden, ob das jeweilige Ergebnis eine brauchbare Lösung darstellt.

Ein Vorteil der nichtlinearen Regressionsanalyse besteht in den geringen Beschränkungen bezüglich ihres Aufbaus. So lassen sich neben nichtlinearen Funktionszusammenhängen auch gemischte Gleichungsansätze von multiplikativ und additiv verknüpften Einflussgrößen untersuchen [EKL05, S. 464].

Von Nachteil sind der mitunter große Rechenaufwand und die Schwierigkeit, für den Methodenanwender geeignete Startwerte für die Optimierungsrechnung festzulegen [Bau82, S. 103]. Darüber hinaus besteht immer das Risiko, dass der Lösungsalgorithmus nicht konvergiert und zu keinem optimalen Ergebnis gelangt.

5.2.3 Neuronale Netze

Der Oberbegriff Neuronale Netze (NN) steht stellvertretend für eine Gruppe von Analyseverfahren, die je nach Ausprägung strukturprüfend oder strukturentdeckend sein können. Alle Verfahrenstypen der Neuronalen Netze haben gemein, dass sie auf einem künstlichen Netz basieren, dessen Struktur und Art der Datenverarbeitung den Neuronen des menschlichen Gehirns ähneln.

Neuronale Netze finden bei zahlreichen Problemstellungen Anwendung, wie beispielsweise die Signalverarbeitung, die Mustererkennung in großen Datenmengen, aber auch die Approximation von funktionalen Zusammenhängen [And96, S. 1ff.]. In dem letztgenannten Anwendungsbereich besitzen die Neuronalen Netze eine Relevanz für die Erstellung parametrischer Kostenmodelle.

Es existieren zahlreiche Netztypen, die sich in Bezug auf die Lernregeln, die Struktur und die Existenz von Rückkopplungen unterscheiden. Im Zusammenhang mit der strukturprüfenden Statistik ist das *Multi-Layer-Perceptron* (MLP) einer der am häufigsten

¹ Als Abbruchkriterium kann beispielsweise die Erreichung einer definierten Standardabweichung herangezogen werden.

verbreiteten Netztypen. Das MLP bildet – ähnlich wie die Regressionsanalyse – den Zusammenhang zwischen unabhängigen Eingangsgrößen und abhängigen Ausgangsgrößen ab [Fis08, S. 156]. Bild 5-9 zeigt den strukturellen Aufbau eines Neuronalen Netzes. Die unabhängigen Variablen (x_i) werden als *Input-Units* bezeichnet; diese sind mit den mittig angeordneten *Hidden-Units* verbunden. Die Ergebnisausgabe des Netzes erfolgt mit Hilfe der *Output-Unit*. In Analogie zur Regressionsanalyse ist die Output-Unit gleichbedeutend mit der abhängigen Variablen (y).

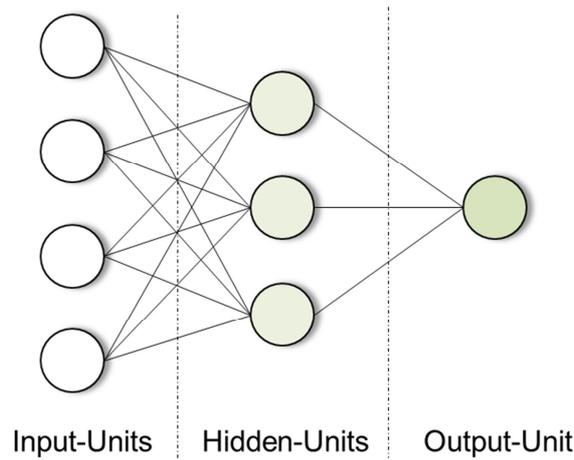


Bild 5-9: Struktureller Aufbau eines Neuronalen Netzes

Parallel angeordnete Units einer Gruppe bezeichnen sich als *Schichten*. Innerhalb eines neuronalen Netzes existieren nur jeweils eine Input- und eine Output-Schicht. Im Unterschied hierzu kann die Anzahl der Hidden-Schichten variieren und muss im Rahmen der Analyse durch den Methodenanwender festgelegt werden¹ [RW11, S. 15].

Die Units unterschiedlicher Schichten sind durch sogenannte *Links* miteinander verbunden. Jede Verbindung besitzt - je nach Stärke des Zusammenhangs - ein bestimmtes Gewicht. Jedes Neuron² erhält von den Neuronen der vorhergehenden (sendenden) Schicht ein Input-Signal. Der Inputwert ist zum einen von dem Gewicht der Verbindung und zum anderen von dem Wert der sendenden Unit abhängig [Bra91, S. 39]. Bild 5-10 zeigt anhand eines Beispiels, wie sich der Input-Wert eines Neurons aus den Werten und Gewichten der vorgelagerten Neuronen berechnet.

¹ Gegenüber den mehrschichtigen Systemen (MLP) bezeichnen sich Neuronale Netze ohne Hidden-Schichten als *Perceptrons*.

² Die Elemente eines Neuronalen Netzes bezeichnen sich, unabhängig von ihrer jeweiligen Schicht, auch als Neuronen.

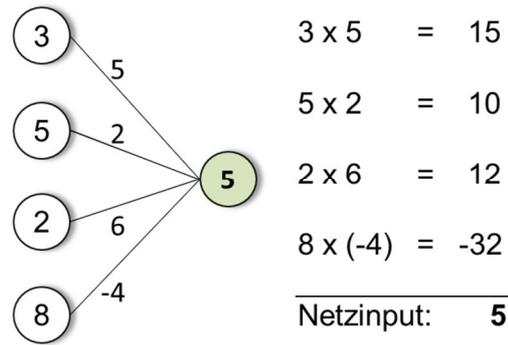


Bild 5-10: Berechnung des Netinputs anhand der Werte der Input-Units und den entsprechenden Gewichtungen der Links (nach: [RW11])

Nach der Berechnung des Input-Wertes wird dieser mit Hilfe einer Aktivitätsfunktion einem bestimmten Aktivitätslevel zugeordnet. Dieser Aktivitätslevel entspricht im Regelfall dem Ausgabewert der Output-Unit. Im Zusammenhang mit Neuronalen Netzen existieren zahlreiche Aktivitätsfunktionen. Für gewöhnlich wird innerhalb einer Schicht oder sogar innerhalb des gesamten Netzes eine bestimmte Funktion verwendet [RW11, S. 18ff.]. Bild 5-11 zeigt schematisch den Ablauf zur Ermittlung des Aktivitätslevels und der Output-Werte. Als Aktivitätsfunktionen finden unter anderem lineare, binäre, sigmoide oder normalverteilte Funktionen Anwendung. Alle gängigen Aktivitätsfunktionen können mit Schwellen versehen werden, eine Ausgabe des Ergebniswertes erfolgt in diesem Fall erst bei Überschreitung eines definierten Schwellenwertes [NKK96, S. 21].

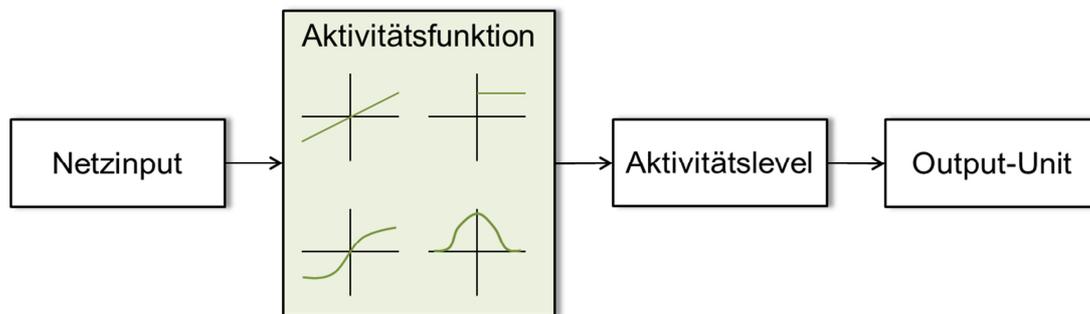


Bild 5-11: Vom Netinput über die Aktivitätsfunktion zum Output-Wert (nach: [RW11])

Bei der Erstellung eines Neuronalen Netzes werden zunächst retrograde Datenwerte für die Input- und Output-Unit(s) eingesetzt.

Auf der Grundlage der vorgegebenen Datenwerte werden die Gewichtungswerte iterativ so lange variiert, bis die Berechnung des Netzinputs die vorgegebenen Werte für die Output-Unit (abhängige Variable) möglichst exakt wiedergibt¹[NKK96, S. 28ff.].

Die iterative Anpassung der Netzgewichte bezeichnet sich in Anlehnung an die Vorgänge im menschlichen Gehirn als *Lernen*.

Da der Lernvorgang Neuronaler Netze auf der Grundlage numerischer Optimierungsalgorithmen erfolgt, besteht - ähnlich wie bei den nichtlinearen Regressionsfunktionen - keine Garantie, dass der Algorithmus konvergiert. Darüber hinaus herrscht auch hier stets Unsicherheit, ob das gefundene (lokale) Minimum dem globalen Minimum der Funktion entspricht.

Wenn die 'Einstellung' der Neuronengewichte abgeschlossen ist, lässt sich das MLP für die Prognose zukünftiger Ergebniswerte heranziehen. Im Gegensatz zu den Koeffizienten der Regressionsanalyse besitzen die Gewichtungswerte eines Neuronalen Netzes keine theoretisch fundierte Bedeutung und sind für den Methodenanwender nicht einsehbar [And96, S. 47]. Aufgrund der Tatsache, dass der funktionale Zusammenhang des Netzes im Verborgenen bleibt, werden die Verfahren der NN auch oftmals als 'Black Box' bezeichnet [Fis08, S. 159].

Neben der Undurchsichtigkeit bei der Festlegung der Netzparameter besteht der weitere Nachteil, dass die Konfiguration und Anpassung von NN viel Erfahrung seitens des Methodenanwenders erfordert [KGH+95, S. 30]. So muss beispielsweise die Anzahl der Hidden-Schichten im Vorfeld durch den Anwender festgelegt werden. Mit zunehmender Anzahl der Schichten steigt die Varianz des Ergebnisses. Werden zu wenige Schichten verwendet, verschlechtert sich die Eigenschaft des Netzes, bestimmte Funktionen abbilden zu können, das Netz liefert somit verzerrte Ergebnisse [And96, S. 8ff.]. Dieses Beispiel verdeutlicht, wie sehr Qualität und Aussagefähigkeit Neuronaler Netze von dem Erfahrungswissen und Einschätzungsvermögen des Methodenanwenders abhängig sind.

Die Vorteile Neuronaler Netze bestehen in ihrer Robustheit und der Möglichkeit, beliebige lineare und nichtlineare Funktionsverläufe abzubilden [Brn08, S. 111].

¹ Die iterative Ermittlung der Gewichtungswerte anhand vorgegebener Zielwerte bezeichnet sich als 'supervised learning' [And96, S. 2]. Als Schätzfunktion zur Anpassung der Ergebniswerte an die retrograden Datenvorgaben werden bei den Neuronalen Netzen ebenfalls die Kleinste-Quadrate- oder die Maximum-Likelihood-Methode eingesetzt. Die Lösung der Schätzfunktionen erfolgt numerisch, für gewöhnlich mit Hilfe eines Gradientenabstiegsverfahrens.

6 Methode und Anwendung eines Modells zur Vorhersage der Produktentstehungskosten

Im Mittelpunkt dieses Kapitels steht die Beschreibung und Anwendung einer Methode zur Ermittlung der Produktentstehungskosten. Ziel der hier beschriebenen Vorgehensweise ist eine Verbesserung der parametrischen Kostenermittlung gegenüber dem derzeitigen Stand der Technik. Als Ausgangspunkt für die Optimierung der Methodik dienen die in Kapitel 4.6 abgeleiteten Verbesserungsansätze.

- Verringerung des Bedarfs an retrograden Projektinformationen
- Stochastische Ergebnisermittlung im Rahmen eines Kostenmodells
- Reduzierung des Durchführungsaufwands und systematische Vorgehensweise zur Modellerstellung

Der prinzipielle Ablauf des Verfahrens lässt sich anhand des in Bild 6-1 dargestellten Phasen-/Meilensteindiagramms erläutern. Im ersten Schritt erfolgt die Strukturierung des Projektes in einzelne Projektsegmente. Das Ergebnis bildet die Kostenstruktur des Gesamtprojektes. In der zweiten Phase wird für jedes Projektsegment eine Hypothese über die wesentlichen Kosteneinflussgrößen und ihre Wirkzusammenhänge aufgestellt. Hieraus resultiert das hypothetische Modell, das alle in Bezug auf die Kostenentstehung relevanten Eingangs- und Ausgangsgrößen beinhaltet. Darüber hinaus erfolgt in dieser Phase die Bündelung mehrerer Einflussgrößen zu repräsentativen Multivariablen. Die dritte Phase dient der Erstellung des Erklärungsmodells. Auf Grundlage empirischer Daten wird versucht, die im Rahmen der Hypothese vermuteten Zusammenhänge statistisch zu belegen und formal zu beschreiben. Neben den Kostengleichungen der einzelnen Projektsegmente erhält man in Abhängigkeit von dem jeweiligen Analyseverfahren auch Information über die Güte der statistischen Auswertung (Streuung, Signifikanz, Bestimmtheitsmaß). Deuten die Gütemaße darauf hin, dass sich der vermutete Zusammenhang zwischen Einflussgrößen und Kosten statistisch nicht belegen lässt, muss eine Überarbeitung des hypothetischen Kostenmodells erfolgen. Die Phasen eins bis drei dienen der grundlegenden Erstellung des Kostenmodells und werden im Regelfall nur einmalig von der mit der Modellerstellung betrauten Person durchgeführt. In der vierten Phase wird das Kostenmodell für die Prognose zukünftiger Produktentstehungsvorhaben angewandt. Durch Einsetzen der anterograden Werte der Projekteinflussgrößen lässt sich der potentielle Entwicklungsaufwand separat für jedes Kostensegment berechnen. Die im Zusammenhang mit der Kostenprognose bestehenden Unsicherheiten werden bei der Ergebnisermittlung simuliert. Abschließend erfolgt die Aggregation der einzelnen Segmentkosten zu den Projektgesamtkosten. Das Ergebnis wird stochastisch, auf Grundlage einer Kostenverteilungsfunktion, ausgegeben. Die Erstellung des Prognosemodells erfolgt durch den jeweiligen Methodenanwender und muss für jedes zu prognostizierende Produktentstehungsvorhaben separat vorgenommen werden.

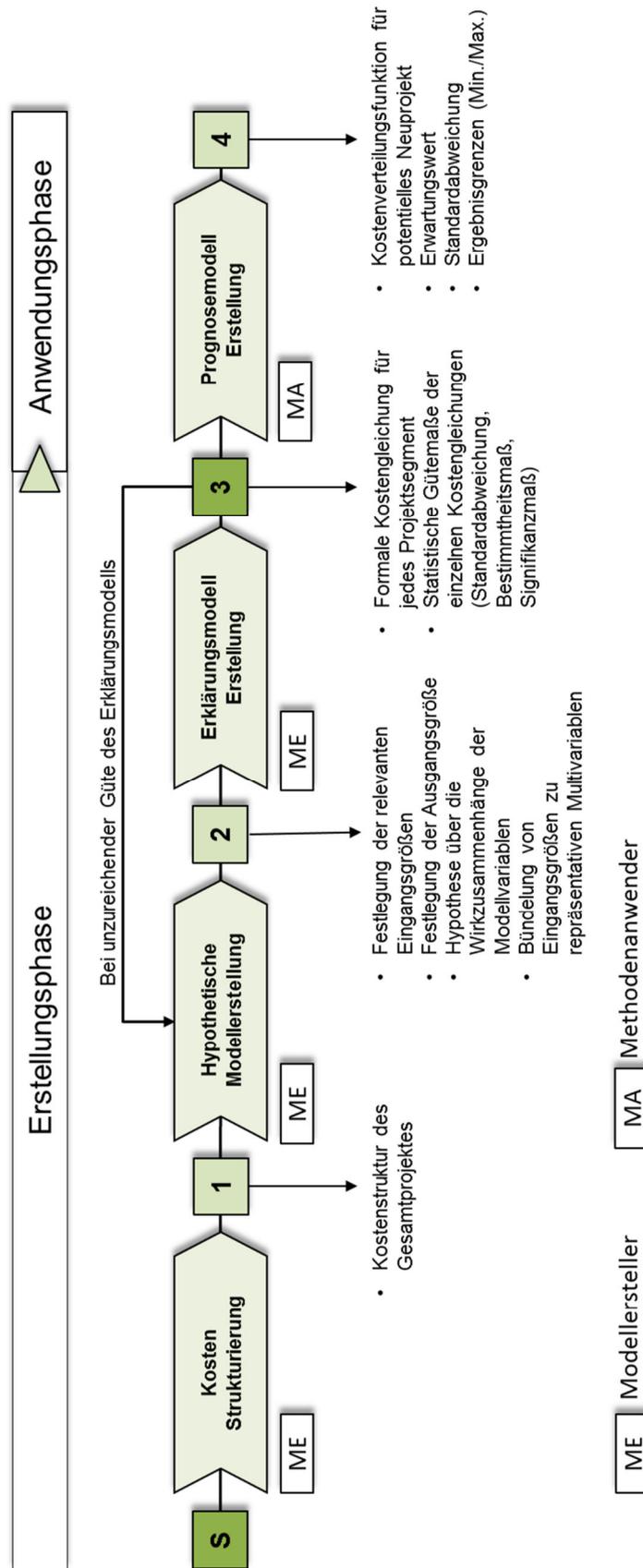


Bild 6-1: Phasen-/Meilensteindiagramm der Modellerstellung und -anwendung zur Prognose der Produktentstehungskosten

Der strukturelle Aufbau dieses Kapitels entspricht den vier Ablaufphasen der Kostenmodellerstellung. Diese werden im Folgenden detailliert beschrieben und am Ende eines jeden Unterkapitels anhand eines durchgängigen Fallbeispiels näher erläutert und empirisch belegt.

Fallbeispiel

Gegenstand des Fallbeispiels ist ein mittelständisches Unternehmen der Automobilzulieferindustrie. Das Unternehmen hat sich auf die Entwicklung und Herstellung von Bauteilen und Systemkomponenten des Fahrzeuginterieurs spezialisiert. Da im Regelfall ähnliche oder wiederkehrende Produktgruppen bei dem Unternehmen beauftragt werden, hat sich im Laufe der Jahre ein festes Produktportfolio ausgebildet. Aufgrund dessen, dass die Entwicklungstätigkeit in dem vorliegenden Unternehmen im Wesentlichen auf bekannten Aufgabenstellungen und Lösungsprinzipien beruht, lässt sich diese anhand der Begriffe *Anpassungsentwicklung* und *Variantenentwicklung* kategorisieren. Eine *Neuentwicklung*, wie sie in Kapitel 2.1 für wirkliche Produktinnovationen beschrieben ist, findet, wie auch in den überwiegenden Fällen praktischer Entwicklungstätigkeit, nicht statt [PB07, S. 94].

Die Bearbeitung von Produktentstehungsvorhaben erfolgt in der Regel in Projektteams in der Größenordnung von 5-10 Personen über einen Zeitraum von 2-3 Jahren. Analog zu dem *Drei-Zyklen-Modell* nach GAUSEMEIER erfolgt simultan zur Produktentwicklung auch die Entwicklung des Produktionssystems für die spätere Serienfertigung.

Im Zusammenhang mit der Kostenermittlung sind für das Unternehmen alle mit dem Produktentstehungsprozess verbundenen Aufwände relevant. Die frühzeitige Kenntnis der voraussichtlich anfallenden Kosten benötigt das Unternehmen für die Angebotserstellung gegenüber dem späteren Auftraggeber, für die Ermittlung des Projektbudgets, als Grundlage für `Make or buy`-Entscheidungen sowie für die Beurteilung von Realisationsalternativen (siehe Kapitel 2.3.1). Aufgrund des starken Wettbewerbs und der kurzen Angebotsfristen in der Zulieferindustrie ist eine möglichst genaue aber auch effiziente Methode zur Kostenermittlung erforderlich.

Mit Rücksicht auf die Vertraulichkeit der im Rahmen dieser Arbeit ausgewerteten Unternehmensdaten werden in den Fallbeispielen die Einheiten für Kosten und Arbeitszeit verschlüsselt dargestellt.

6.1 Kostenstrukturierung

Vor der Erstellung des hypothetischen Kostenmodells soll zunächst eine Strukturierung der Produktentstehungskosten erfolgen. In Kapitel 2.3.2 wurde bereits auf die Vorteile des sogenannten `Bottom up`-Ansatzes eingegangen.

Die Strukturierung der Gesamtkosten kann auf der Grundlage von Arbeitspaketen, Projektunterbestandteilen oder des Arbeitsaufwands bestimmter Personen oder Fachdomä-

nen erfolgen. Die Untergliederung des Projektaufwands ermöglicht es, für jedes Projektsegment separat die Kosten zu ermitteln und anschließend durch Aggregation der jeweiligen Segmentkosten auf die Gesamtprojektkosten zu schließen. Wie in Bild 6-2 zu sehen ist, besteht für jedes Projektsegment die Möglichkeit, eine spezifische Kosten-gleichung (Partialmodell) zu erstellen.

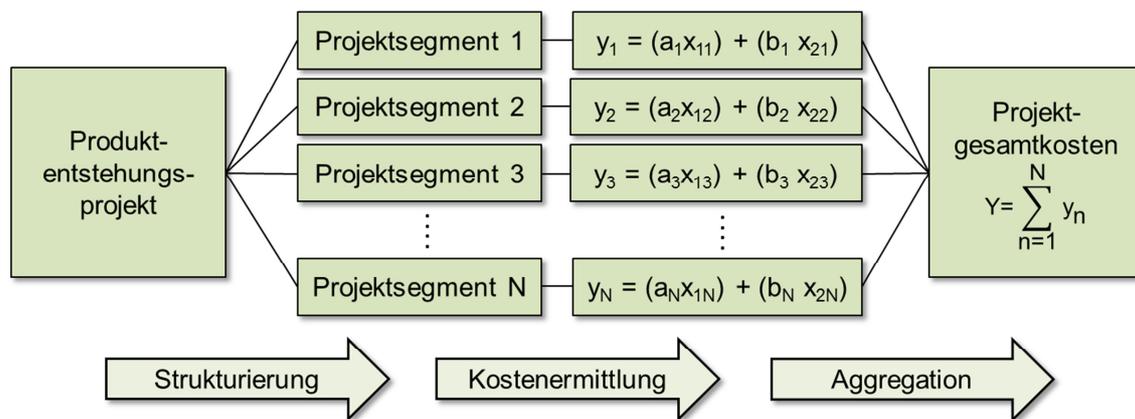


Bild 6-2: Ermittlung der Projektgesamtkosten auf Grundlage einzelner Projektsegmente ('Bottom up'-Ansatz)

Die Kostenplanung auf Grundlage einzelner Projektsegmente ist übersichtlicher als die pauschale Ermittlung der Projektgesamtkosten ('Top down'-Ansatz) und erlaubt es, die Kostenwerte verursachungsgerecht den jeweiligen Projektsegmenten zuzuordnen. Darüber hinaus wird durch die Strukturierung die Möglichkeit geschaffen, das Kostenmodell besser an den jeweiligen Anwendungsfall anzupassen. So kann beispielsweise im Einzelfall entschieden werden, ob der Arbeitsaufwand einer bestimmten Abteilung oder Projektphase überhaupt in das jeweilige Kostenmodell aufgenommen wird.

Ein weiterer Vorteil des 'Bottom up'-Ansatzes besteht darin, dass sich durch die Kostenermittlung auf Basis einzelner Projektsegmente die Ergebnisgenauigkeit der Kostenvorhersage steigern lässt [Kla85, S. 52]. Diese Annahme liegt darin begründet, dass sich die Fehler, die bei der Kostenermittlung für die Projektsegmente entstehen, bei der Aggregation stellenweise gegeneinander aufheben. Dies ist aber nur dann der Fall, wenn die Kostenermittlung keinen methodischen oder systematischen Fehlern unterliegt [Brn08, S. 148]. Die Gleichung 6-1 zeigt, wie sich der relative Fehler der Gesamtkosten durch die Einbeziehung mehrerer Projektsegmente reduzieren lässt¹.

¹ Der Gleichung 6-1 liegt die Annahme zugrunde, dass die Abweichungsfehler der Projektsegmente normalverteilt sind.

$$f_{\text{ges}} = \pm \frac{f_i}{\sqrt{N}}$$

Gleichung 6-1: *Fehlerausgleich bei der Einbeziehung mehrerer Kostensegmente (nach: [VDI2235])*

f_{ges} : relativer Fehler des Gesamtmodells

f_i : relativer Fehler bei der Kostenermittlung für die Projektsegmente

N : Anzahl der Projektsegmente

Bei der Auswahl und Festlegung geeigneter Gliederungselemente muss darauf geachtet werden, dass für jedes Element die erforderlichen Kosteninformationen innerhalb des Unternehmens verfügbar sind. So kann beispielsweise für ein Element eine Kostengleichung nur dann erstellt werden, wenn die retrograden Kosteninformationen bereits abgeschlossener Projekte auch separat für dieses Element dokumentiert wurden. Insofern ist davon auszugehen, dass die Struktur des Kostenmodells der Struktur der Kostendokumentation innerhalb des jeweiligen Unternehmens ähnlich sein wird.

Fallbeispiel: Kostenstrukturierung

In dem Unternehmen des Praxisbeispiels erfolgt die Bearbeitung von Produktentstehungsprojekten durch interdisziplinäre Projektteams, deren Mitglieder unterschiedlichen Fachabteilungen des Unternehmens angehören (Matrixorganisation). Die wesentlichen im Projekt vertretenen Fachabteilungen sind die *Projektleitung*, die *Konstruktion*, die *Technische Planung*¹ und die *Qualitätsplanung*. Die Kosten werden für alle genannten Fachbereiche separat über die gesamte Projektlaufzeit gesteuert und dokumentiert².

Aufgrund der vorliegenden Zuordnung und Dokumentation retrograder Kostenaufzeichnungen bietet sich in dem Fallbeispiel eine Projektstrukturierung auf Grundlage des Arbeitsaufwands der einzelnen Fachabteilungen an. Ein weiterer Aspekt, der für diese Form der Projektgliederung spricht, ist die Möglichkeit, für jede Fachabteilung vor Projektbeginn ein separates Budget zu veranschlagen. Ist die Mitarbeit einer bestimmten Fachabteilung nicht erforderlich oder wird diese durch externe Mitarbeiter übernommen, lässt sich das Kostenmodell mit geringem Aufwand an die vorliegende Situation anpassen.

Bild 6-3 zeigt die Projektstrukturierung des Fallbeispiels.

¹ Die *Technische Planung* ist im Produktentstehungsprojekt für die Industrialisierung der Fertigungsprozesse und Anlagen verantwortlich.

² Die Dokumentation und das Controlling der Kostenwerte erfolgen auf Grundlage von CO-Innenaufträgen im SAP ERP-System.

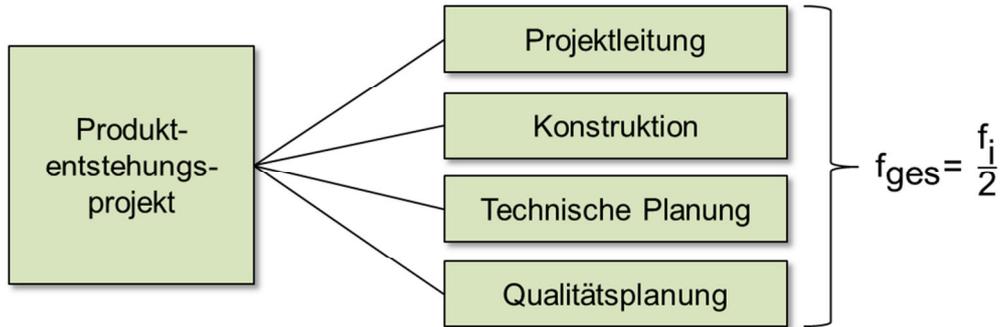


Bild 6-3: Projektstrukturierung auf Grundlage unterschiedlicher Fachabteilungen

Durch die Gliederung des Projektes in vier Segmente können sich die Abweichungsfehler der einzelnen Kostenkalkulationen bei der Berechnung der Gesamtkosten gegeneinander aufheben. Unter Annahme einer Normalverteilung der Abweichungsfehler kann nach Gleichung 6-1 bei vier Segmenten von einer Halbierung des Gesamtfehlers ausgegangen werden.

6.2 Erstellung des hypothetischen Kostenmodells

Nach der Projektstrukturierung erfolgt die Erstellung des hypothetischen Kostenmodells. Hierbei muss für jedes Projektsegment, ausgehend von einer festgelegten Ausgabegröße (abhängige Variable), auf die signifikanten Einflussgrößen (unabhängige Variablen) geschlossen werden. Aufgabe des Modells ist es, die hypothetischen Wirkzusammenhänge der Kostenentstehung abzubilden. Da das Modell zur Vorhersage von Produktentstehungskosten angewandt werden soll, muss als Ausgabegröße ein Kostenwert oder eine in Kosten umrechenbare Größe eingesetzt werden. In diesem Zusammenhang ist darauf zu achten, dass alle Partialmodelle die gleiche Ausgabegröße aufweisen sollten, damit eine spätere Aggregation des Gesamtergebnisses ohne Schwierigkeiten möglich ist.

Im Unterschied zur Ausgabegröße können Art und Anzahl der Einflussgrößen unterschiedlicher Projektsegmente variieren. Wichtig ist, dass alle zur Abbildung der Ursache-Wirkungs-Beziehung relevanten Einflussgrößen im Modell berücksichtigt werden [BEP11, S. 61].

6.2.1 Festlegung der abhängigen Modellvariablen

Wie bereits erwähnt wurde, sollte als abhängige Modellvariable ein Kostenwert oder eine in Kosten umrechenbare Größe verwendet werden. Ein Nachteil in der direkten Veranschlagung von Kostenwerten besteht darin, dass sich bedingt durch Inflation und Lohnsteigerungen die Kosten für bestimmte Leistungen verändern können. Solche Entwicklungen würden zu systematischen Fehlern des Kostenmodells führen. Die ungewollte Wirkung zeitlich abhängiger Einflussfaktoren lässt sich eliminieren, indem man die Schätzung auf Basis einer Größe vornimmt, die über die Zeit als konstant ange-

nommen werden kann. SMITH rät in diesem Zusammenhang dazu, die Projektkosten indirekt über die Anzahl der Arbeitsstunden zu berechnen. Erst zum Abschluss der Kostenermittlung werden die Arbeitsstunden mit den aktuell gültigen Stundenverrechnungssätzen multipliziert [Smi95, S. 16].

Da die Produktentstehungskosten im Wesentlichen auf Personalkosten zurückzuführen sind (siehe Kapitel 2.2), lässt sich über die Ermittlung der Arbeitsstunden der überwiegende Kostenanteil direkt und verursachungsgerecht zurechnen¹. Der verbleibende Kostenanteil (i.d.R. ca. 20%) wird als prozentualer Gemeinkostenzuschlag über den jeweiligen Stundenverrechnungssatz aufgeschlagen.

Unabhängig davon, ob für die abhängige Modelvariable Kostenwerte oder Arbeitsstunden angesetzt werden, ist in beiden Fällen von einem metrischen Skalenniveau auszugehen.

Die in dieser Arbeit vorgestellten multivariaten Analyseverfahren sind durchweg geeignet, abhängige Variablen mit metrischem Skalenniveau zu verarbeiten.

Fallbeispiel: Festlegung der abhängigen Modellvariablen

Auch bei dem Unternehmen des Fallbeispiels resultiert der überwiegende Anteil der Produktentstehungskosten aus den geleisteten Arbeitsstunden. Die nicht direkt zurechenbaren Kostenanteile werden als Gemeinkostenzuschläge im Stundenverrechnungssatz berücksichtigt.

Da in dem genannten Unternehmen die Stundenverrechnungssätze regelmäßig angepasst werden, wäre ein auf Basis von Kostenwerten aufgebautes Modell schnell obsolet und würde systematische Abweichungsfehler erzeugen. Aus diesem Grund wird in dem Fallbeispiel eine indirekte Kostenermittlung auf Grundlage von Arbeitsstunden gewählt. Neben der Verbesserung der Aktualität besteht auch der Vorteil, dass für jedes Projektsegment (Arbeitsaufwand der jeweiligen Fachabteilung) ein unterschiedlicher Stundenverrechnungssatz in die Berechnung einfließen kann.

Bild 6-4 zeigt den schematischen Ablauf der Kostenermittlung auf Grundlage von Arbeitsstunden und anschließende Verrechnung mit den abteilungsspezifischen Stundenverrechnungssätzen.

¹ In der Kostenrechnung werden einem Bezugsobjekt direkt zurechenbare Kosten als *Einzelkosten* bezeichnet.

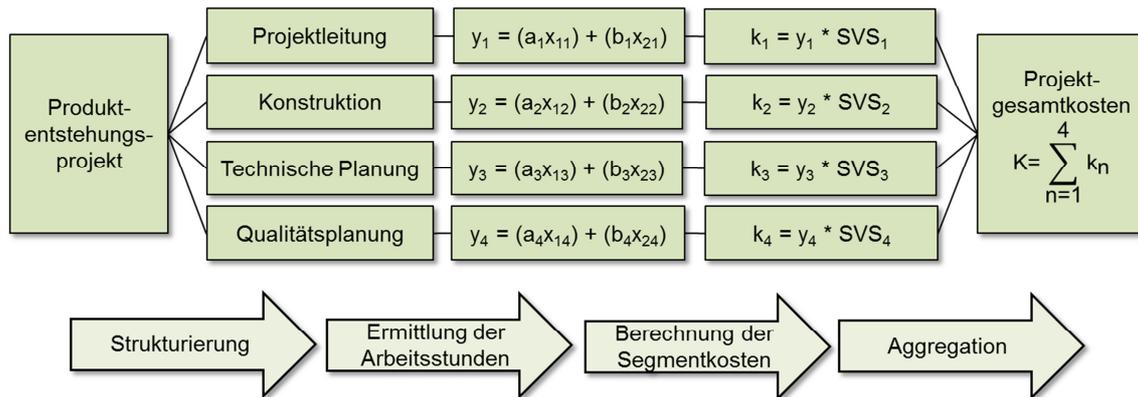


Bild 6-4: Indirekte Ermittlung der Produktentstehungskosten über die segmentweise Berechnung der Arbeitsstunden (y_i) und nachfolgende Verrechnung mit den abteilungsspezifischen Stundenverrechnungssätzen (SVS_i). Abschließend erfolgt die Aggregation der Segmentkosten (k_i) zu den Projektgesamtkosten (K)

6.2.2 Festlegung der unabhängigen Modellvariablen

Bei der Festlegung der unabhängigen Modellvariablen muss *a priori* eine Einschätzung darüber getroffen werden, welche Einflussfaktoren eine Auswirkung auf den Projektaufwand haben. Für jedes Projektsegment wird eine separate Kostengleichung erstellt. Die Ausgabegröße aller Gleichungen ist die Anzahl erforderlicher Arbeitsstunden. Die Einflussfaktoren können hingegen in ihrer Art und Anzahl je nach Projektsegment unterschiedlich sein.

Wie in Kapitel 5 beschrieben wurde, müsste zur vollständigen Abbildung der Realität eine unendlich große Anzahl an Einflussgrößen in das Modell aufgenommen werden. Ein solcher *isomorpher* Ansatz steht für ein theoretisches Ideal, welches sich praktisch nicht umsetzen lässt. In der betrieblichen Praxis finden *homomorphe* Modelle Anwendung, bei denen nur die Einflussfaktoren berücksichtigt werden, die zur Beschreibung des Wirkzusammenhangs am besten geeignet sind [Cro10, S. 71].

In der einschlägigen Literatur sind zahlreiche Einflussfaktoren beschrieben, die sich auf den Entwicklungsaufwand auswirken können. Die Menge der Einflussfaktoren lässt sich – entsprechend ihrer Kausalität – gemäß dem bereits in Kapitel 2.3 beschriebenen Klassifizierungsansatz in *produktspezifische*, *produktionsspezifische* und *projektspezifische* Faktoren gliedern.

Die **produktspezifischen Einflussfaktoren** beziehen sich auf das zu entwickelnde Produkt und auf den jeweiligen Auftraggeber (Kunden) und wirken sich somit vorrangig auf den Zyklus der integrativen Produktentwicklung¹ aus. SNEED und KUSTER et al.

¹ Siehe *Drei-Zyklen-Modell* der Produktentstehung nach GAUSEMEIER (Bild 2-1)

nennen in diesem Zusammenhang die Komplexität und die Qualitätsanforderungen des Kunden als Kernfaktoren [Sne05, S. 81ff.], [KHL+06, S. 144]. Bei ERLENSPIEL et al. werden einige Beispiele für Komplexität in der Produktentwicklung genannt. So können die Anzahl an Unterschiedsteilen, die Anzahl eingesetzter Technologien sowie die Anzahl beteiligter Entwickler und Entwicklungspartner die Komplexität maßgeblich beeinflussen [EKL05, S. 150]. Die an ein Produkt gestellten Qualitätsanforderungen werden im Regelfall im Lastenheft beschrieben und sind vom Verwendungszweck des Produktes und vom jeweiligen Auftraggeber abhängig. Unterschiede zwischen verschiedenen Auftraggebern dürften insbesondere für Entwicklungsdienstleister ins Gewicht fallen. Bei größeren Unternehmen können diese aber auch innerhalb der eigenen Organisation bestehen. Ein weiterer produktspezifischer Einflussfaktor ist die Projektdauer. Üblicherweise ist der Zeitraum, der für die Durchführung des Produktentstehungsprojektes zur Verfügung steht, von Dritten vorgegeben¹. Das Projektteam muss so mit Personal ausgestattet werden, dass eine termingerechte Bearbeitung der Aufgabenstellung möglich ist. Insofern ist die Teamgröße eine Funktion des Projektaufwands und der Bearbeitungsdauer und daher nicht immer 'ideal' (siehe projektspezifische Einflussfaktoren).

Da simultan zum Produkt auch das Produktionssystem entwickelt wird, müssen gleichermaßen **produktionsspezifische Einflussfaktoren** in die Aufwandsermittlung einbezogen werden. Hier sind unter anderem die Fertigungstiefe, die Komplexität der Fertigungsanlagen und Betriebsmittel sowie die geplante Ausbringungsmenge zu nennen. In Abhängigkeit von der in der Serienproduktion ausgebrachten Stückzahl kann die Produktionsstrategie unterschiedlich sein. Produktionssysteme mit großer Ausbringungsmenge zeichnen sich üblicherweise durch einen hohen Automatisierungsgrad und eine Verkettung (Kopplung) der Arbeitssysteme aus. Die größere Komplexität des Produktionssystems erhöht den Entwicklungsaufwand.

Die **projektspezifischen Einflussfaktoren** beziehen sich auf die projekt- bzw. unternehmensinternen Gegebenheiten. Im Gegensatz zu den produkt- und produktionsspezifischen Einflussfaktoren besitzen die projektspezifischen Merkmale weniger Einfluss auf den Arbeitsumfang des Projektes, sondern beeinflussen insbesondere die Produktivität des Projektteams. Die Produktivität² bemisst sich daran, wie viele Arbeitsstunden für die Bearbeitung einer bestimmten Aufgabenstellung aufgewandt werden müssen. DE MARCO nennt menschliche, organisatorische und betriebsmitteltechnische Faktoren als Einflussgrößen für die Produktivität von Projektteams [DeM04, S. 279]. So können beispielsweise der Einsatz von Hilfsmitteln und Tools sowie die Standardisierung von Arbeitsprozessen dabei helfen, die Entwicklungstätigkeit effizienter zu gestalten.

¹ Bei Entwicklungstätigkeiten, bei denen das zu entwickelnde Produkt ein Subbestandteil einer übergeordneten Baugruppe darstellt (z.B. Fahrzeug- und Flugzeugbau), ist im Regelfall der Terminplan des Hauptproduktes maßgeblich.

² Die Produktivität stellt das Verhältnis zwischen Arbeitsleistung (Ausbringungsmenge) und den eingesetzten Arbeitsstunden (Einsatzmenge) dar.

Weitere wichtige Einflussfaktoren bestehen in der Qualifikation¹ und der Motivation der beteiligten Mitarbeiter. Durch das wiederholte Ausüben gleichartiger Tätigkeiten entsteht Erfahrungswissen. Die Kenntnis über Besonderheiten, Fehler und Risiken aus vorangegangenen Entwicklungstätigkeiten kann zu deutlichen Produktivitätssteigerungen in der Projektbearbeitung führen². Das Erfahrungswissen kann zum einen in den 'Köpfen' der Mitarbeiter verankert sein, aber auch mit Hilfe von Wissensmanagement-Systemen gesichert und übertragen werden [Geh08, S. 183f.].

Ein in der Literatur³ oft erwähnter Einflussfaktor besteht in der Größe des Projektteams. Da mit steigender Anzahl der am Projekt beteiligten Mitarbeiter auch die Anzahl der Schnittstellen und Kommunikationsbeziehungen zunimmt, wächst die Produktivität des Teams nicht proportional mit der Anzahl der Mitarbeiter. FIEDLER vertritt den Standpunkt, dass für jedes Projekt eine ideale Anzahl von Projektmitarbeitern existiert, bei deren Einhaltung der zur Projektbearbeitung erforderliche Aufwand ein Minimum einnimmt [Fie08, S. 140]. Wie bereits im Zusammenhang mit den produktspezifischen Einflussfaktoren erwähnt wurde, wird die Teamgröße oftmals durch die Terminvorgaben des Auftraggebers bestimmt. Insofern können Zielkonflikte zwischen 'idealer' und benötigter Teamgröße bestehen.

Die Tabelle 6-1 verschafft einen Überblick über die wesentlichen produkt-, produktions- und projektspezifischen Einflussfaktoren. Wie sich anhand der aufgeführten Beispiele zeigt, können die Einflussgrößen, je nachdem ob sich ihre Ausprägung qualitativ oder quantitativ beschreiben lässt, ein unterschiedliches Skalenniveau besitzen.

¹ DE MARCO vertritt die These, dass sich mit zunehmender Anzahl beteiligter Mitarbeiter das Problem der individuell unterschiedlich hohen Qualifikation ausgleicht. Ab sieben oder mehr beteiligten Personen soll dieser Einflussfaktor nicht mehr ins Gewicht fallen [DeM04, S. 279].

² Der Einfluss von Lerneffekten im Zusammenhang mit der Projektdurchführung ist ausführlich bei ERGENZINGER [Erg06] beschrieben.

³ Siehe hierzu [Sne05, S. 81ff.], [DeM04, S. 298], [Fie08, S. 140]

Tabelle 6-1: Einflussfaktoren der Produktentstehungskosten (erstellt auf Grundlage von: [Hen01], [Fie08], [EKL05], [DeM04], [Sne05], [KHL+06], [Erg06], [Deb06], [Schh05])

Kausalität	Einflussfaktor	Beispiel	Skalenniveau
Produktspezifisch - Produktkomplexität	Anzahl an Unterschiedsteilen	(1, 2, 3, ..., n)	metrisch
	Anzahl an Ausprägungsvarianten	(1, 2, 3, ..., n)	metrisch
	Anzahl eingesetzter Technologien	(1, 2, 3, ..., n); (hoch, durchschnittlich, gering)	metrisch; ordinal
	Funktionale Anforderungen	(hoch, durchschnittlich, gering); (Forderung 1, Forderung 2, Forderung 3)	ordinal; nominal
Produktspezifisch - Produktkomplexität	Einsatz bestimmter Wirkprinzipien / Lösungselemente	(Prinzip A, Prinzip B, Prinzip C)	nominal
	Anzahl der Produktschnittstellen / Schnittstellenintensität	(1, 2, 3, ..., n); (hoch, durchschnittlich, gering)	metrisch; ordinal
	Neuheitsgrad des Produktes	(hoch, durchschnittlich, gering); (Wiederholentwicklung, Variantenentwicklung, Entwicklungsstudie, Anpassungsentwicklung)	ordinal; nominal
	Auftraggeber / Kunde	(Kunde A, Kunde B, Kunde C)	nominal
Produktspezifisch - Anforderungen des Auftraggebers	Lastenheftanforderungen	(gering, durchschnittlich, hoch); (Forderung 1, Forderung 2, Forderung 3)	ordinal; nominal
	Qualitätsanforderungen	(hoch, durchschnittlich, gering)	ordinal
	Projektdauer / Terminvorgaben	(zu kurz, ideal, zu lang)	ordinal
	Dokumentationsintensität	(hoch, durchschnittlich, gering)	ordinal
Produktionsspezifisch	Automatisierungsgrad	(hoch, durchschnittlich, gering)	ordinal
	Anzahl unterschiedlicher Fertigungsverfahren	(1, 2, 3, ..., n); (hoch, durchschnittlich, gering)	metrisch; ordinal
	Verkettung von Arbeitssystemen	(hoch, mittel, gering)	ordinal
	Ausbringungsmenge	(1, 2, 3, ..., n); (Einzelfertigung, Serienfertigung, Massenfertigung)	metrisch; ordinal
Produktionsspezifisch	Komplexität der Betriebsmittel und Anlagen	(hoch, durchschnittlich, gering)	ordinal
	Fertigungstiefe / Anteil der Eigenfertigung	(Prozentsatz); (hoch, durchschnittlich, gering)	metrisch; ordinal
	Dokumentationsintensität / Rückverfolgbarkeit / Prozessüberwachung	(hoch, durchschnittlich, gering)	ordinal
	Einsatz von Hilfsmitteln und Tools	(hoch, durchschnittlich, gering)	ordinal
Projektspezifisch - produktivitätsbeeinflussend	Organisationsstruktur des Unternehmens/Projektes	(Struktur A, Struktur B, Struktur C)	nominal
	Standardisierung von Arbeitsprozessen	(hoch, durchschnittlich, gering)	ordinal
	Erfahrungswissen der Teammitglieder	(hoch, durchschnittlich, gering)	ordinal
	Motivation der Teammitglieder	(hoch, durchschnittlich, gering)	ordinal
Produktspezifisch - produktivitätsbeeinflussend	Schnittstellen zu externen Entwicklungspartnern / Schnittstellenintensität	(1, 2, 3, ..., n); (hoch, durchschnittlich, gering)	metrisch; ordinal
	Anzahl eingesetzter Entwickler / Teamgröße	(1, 2, 3, ..., n); (zu groß, ideal, zu klein)	metrisch; ordinal

Es ist davon auszugehen, dass alle in Tabelle 6-1 aufgeführten Einflussfaktoren implizit oder explizit Einfluss auf den Produktentstehungsaufwand haben. Für die Kostenermittlung sind nur die Einflussfaktoren relevant, die innerhalb der Grundgesamtheit abgeleiteter Projekte variabel sind (explizite Einflussfaktoren). Merkmale, die über alle Produktentstehungsprojekte hinweg als konstant angenommen werden können (implizite Merkmale), werden nur indirekt in der Kostengleichung berücksichtigt. Insofern muss bei der Auswahl der Einflussfaktoren darauf geachtet werden, dass das betreffende Merkmal in seiner Ausprägung variabel ist.

Neben den in Tabelle 6-1 aufgeführten Einflussfaktoren können je nach Unternehmen und Branche weitere spezifische Größen signifikant sein. Darüber hinaus kann es erforderlich sein, die aufgeführten Kriterien weiter zu spezifizieren, um eine möglichst genaue und an die jeweiligen Randbedingungen angepasste Beschreibung des Produktentstehungsprojektes zu gewährleisten. Insbesondere bei produktspezifischen Einflussfaktoren kann die Notwendigkeit bestehen, diese entsprechend den im Produktentstehungsprozess involvierten Fachdomänen¹ anzupassen.

Eine pauschale und vollständige Aufführung aller in Frage kommenden Faktoren kann aufgrund ihrer Vielfalt nicht erfolgen [Tho07, S. 615]. Jedes Unternehmen muss die für sich signifikanten Merkmale für den Produktentstehungsaufwand ermitteln. Diese Merkmale lassen sich im Regelfall nicht uneingeschränkt auf andere Unternehmen übertragen.

Bei genauer Betrachtung der aufgeführten Einflussgrößen wird ersichtlich, dass eine scharfe Abgrenzung der einzelnen Kriterien mitunter schwer fällt. So können beispielsweise produktspezifische Vorgaben einen Einfluss auf die Anzahl der zur Projektbearbeitung benötigten Entwickler haben. Dieses Kriterium wirkt sich wiederum auf die Produktivität des Projektteams aus. Der überwiegende Anteil statistischer Analyseverfahren ist für die Auswertung solch interdependenter Modellzusammenhänge ungeeignet (siehe Kapitel 5.1.3). Aus diesem Grund muss bei der Auswahl der Einflussfaktoren immer hinterfragt werden, ob Interdependenzen zwischen den Modellvariablen bestehen.

LITKE sieht die Schwierigkeit weniger in der Auswahl geeigneter Einflussfaktoren, sondern in deren Quantifizierung [Lit93, S. 131]. Wie sich in der Tabelle 6-1 zeigt, ist für viele Kriterien zunächst nur eine qualitative Bewertung möglich. So ist beispielsweise das *Erfahrungswissen der Teammitglieder* ein Kriterium, das sich nur schwer quantitativ messen lässt. Da sich aus der Analyse qualitativer Daten keine zahlenmäßigen Mengenangaben ableiten lassen, müssen diese anhand einer definierten Vorgehensweise in

¹ Im Zusammenhang mit mechatronischen Produkten sind üblicherweise die Fachdomänen Mechanik, Regelungstechnik, Elektronik und Softwaretechnik in den Produktentstehungsprozess eingebunden (siehe Bild 2-1).

quantitative Daten umgewandelt werden¹. Um die subjektiven Einflüsse bei der Datenbewertung so gering wie möglich zu halten, müssen im Vorfeld genaue Bewertungsregeln definiert werden [ES08, S. 158ff.]. Der Methodenanwender kann für das jeweilige Kriterium zwischen mehreren vorgegebenen Merkmalsausprägungen wählen (geschlossener Lösungsraum). Für das *Erfahrungswissen der Teammitglieder* kämen beispielsweise die Ausprägungen *hoch*, *durchschnittlich* und *gering* in Frage. Die Zuordnung zu der jeweiligen Merkmalsausprägung sollte anhand eines Bewertungskatalogs erfolgen, um die Reproduzierbarkeit des Ergebnisses - auch bei unterschiedlichen Anwendern - zu gewährleisten. Für die statistische Auswertung müssen die Merkmalsausprägungen anschließend auf metrisches Zahlenniveau umgewandelt werden (hoch = 3; durchschnittlich = 2; gering = 1). Nach der Umwandlung der Variablen, können diese von allen in dieser Arbeit aufgeführten Analyseverfahren verarbeitet werden.

Eine weitere Gegebenheit, die bei der Auswahl der Einflussfaktoren berücksichtigt werden muss, ist die Verfügbarkeit der jeweiligen Rohdaten. In Kapitel 3.3 wurde bereits auf den retrograden und anterograden Informationsbedarf von Kostenermittlungsverfahren eingegangen. Für die parametrische Kostenermittlung können nur Einflussfaktoren herangezogen werden, die für bereits abgeschlossene Projekte dokumentiert wurden und deren Ausprägung für zukünftige Projekte frühzeitig und möglichst zuverlässig bekannt ist.

Nachfolgend werden die wichtigsten Fragestellungen für die Auswahl der Projekteinflussgrößen noch einmal stichpunktartig aufgeführt:

- Besteht ein kausaler Zusammenhang zwischen der Einflussgröße und dem Projektaufwand?
- Ist die Einflussgröße über die Grundgesamtheit der Projekte hinweg als variabel einzustufen (explizites Merkmal)?
- Wurde die Ausprägung der Einflussgröße in den retrograden Projektdaten dokumentiert?
- Ist die Ausprägung der Einflussgröße für Neuprojekte frühzeitig und zuverlässig bekannt?
- Können Interdependenzen zu anderen Einflussgrößen des Kostenmodells ausgeschlossen werden?

Bevor eine unabhängige Einflussgröße in das Kostenmodell aufgenommen wird, sollten zuvor alle oben genannten Fragen für diese Größe mit `ja` beantwortet werden können.

¹ Da im Rahmen der Datenanalyse ein quantitatives Ergebnis (Anzahl benötigter Arbeitsstunden) ausgegeben werden soll, ist eine Verarbeitung von qualitativen Einflussgrößen im Kostenmodell nicht möglich.

Ist ein Kriterium nicht erfüllt, sollte der entsprechende Einflussfaktor nicht für die Modellbildung herangezogen werden.

Abhängig vom dem jeweiligen Projektsegment, das mit Hilfe der Einflussfaktoren beschrieben werden soll, kann mitunter eine Vielzahl von Einflussgrößen relevant sein. Je mehr Einflussfaktoren in der Kostengleichung berücksichtigt werden, desto genauer lässt sich das Modell an die vorherrschenden Gegebenheiten anpassen. Der besseren Differenzierbarkeit stehen einige Nachteile im Zusammenhang mit der statistischen Beschreibung des Modells gegenüber. So steigt mit der Anzahl unabhängiger Variablen auch der Bedarf an retrograden Datensätzen (Stichprobengröße), der für die statistische Auswertung erforderlich ist [SH06, S. 243].

In der Literatur finden sich zahlreiche `Faustregeln` mit denen sich die Anzahl retrograder Datensätze in Abhängigkeit von der Anzahl unabhängiger Variablen abschätzen lässt. Bei der linearen Regressionsanalyse auf Grundlage des Kleinste-Quadrate-Schätzansatzes wird dazu geraten, je unabhängige Variable mindestens 2 bis 10 Datensätze für die statistische Analyse vorzuhalten¹. Es kann nicht bei jedem Unternehmen davon ausgegangen werden, dass entsprechend viele Produktentstehungsprojekte abgeschlossen und dokumentiert wurden, um eine ausreichend große Stichprobenanzahl für die Modellbildung bereitstellen zu können. Ein weiterer Nachteil, der mit der Einbeziehung mehrerer Variablen einhergeht, ist, dass mit steigender Anzahl von Variablen das Risiko von Interdependenzen zwischen den Eingangsgrößen zunimmt. Aus den genannten Gründen ist es im Hinblick auf die statistische Auswertung sinnvoll, die Anzahl berücksichtigter Variablen so gering wie möglich zu halten.

Ein Ansatz, dem Zielkonflikt zwischen Stichprobengröße und Anpassungsfähigkeit des Kostenmodells entgegenzuwirken, besteht in der Bündelung mehrerer Einflussgrößen zu einer *Multivariablen*. Hierbei wird die Ausprägung einer Anzahl von Einflussgrößen mit Hilfe einer repräsentativen Modellvariablen ausgedrückt. Bild 6-5 zeigt exemplarisch am Beispiel der *Produktkomplexität* die Zusammenfassung mehrerer projektspezifischer Einflussgrößen zu einer Multivariablen.

¹ Eine Pflichtforderung an lineare Regressionsmodelle besteht darin, dass die Stichprobengröße immer größer/gleich der Anzahl unabhängiger Variablen sein muss (siehe auch Tabelle 5-1). BACKHAUS et al. empfehlen eine Stichprobengröße, die mindestens der doppelten Anzahl der Einflussgrößen entspricht [BEP+11]. HALLER-WEDEL rät dazu, für die erste unabhängige Variable mind. 7 Datensätze und für jede weitere Variable mind. 3 Datensätze in die Analyse einzubeziehen [Hal73]. HARRELL et al. legen nahe, je Variable mindestens 10 retrograde Datensätze in die Modellanalyse einfließen zu lassen [HLM96].

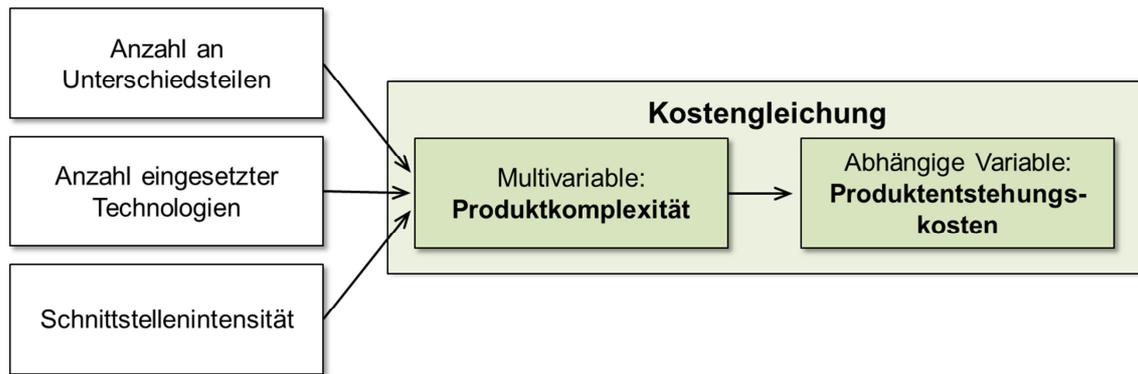


Bild 6-5: Bündelung von projektspezifischen Einflussgrößen zu einer repräsentativen Multivariablen am Beispiel der 'Produktkomplexität'

Die Bildung von Multivariablen setzt voraus, dass für alle einfließenden Faktoren die relative Auswirkung auf den Projektaufwand bekannt ist. So können beispielsweise Erfahrungswerte darüber vorliegen, dass die Entwicklung eines neuen Unterschiedsteils um 30% aufwendiger ist, wenn dieses eine hohe Schnittstellenkomplexität aufweist. Der relative Anteil der Aufwandsbeeinflussung kann zum einen aus den Kostenaufzeichnungen abgeschlossener Entwicklungstätigkeiten und zum anderen aus der Befragung von Fachexperten gewonnen werden. Sind die relativen Auswirkungen der Einflussgrößen zueinander bekannt, lässt sich durch Verhältnisbildung der metrische Ausgabewert für die Multivariable ermitteln. Die prinzipielle Vorgehensweise ähnelt im Ansatz dem in Kapitel 4.4.3.1 vorgestellten Function-Point-Verfahren, bei dem anhand von 14 Einflussfaktoren und einem vorgegebenen Punktekatalog die Summe der Function-Points berechnet wird. Die Summe der Function-Points entspricht in dieser Analogie dem Ausgabewert der Multivariablen. Im Gegensatz zum Function-Point-Verfahren können bei dem in dieser Arbeit vorgestellten Ansatz die Einflussgrößen frei gewählt werden und neben der Multivariablen auch weitere Einflussgrößen direkt in das Kostenmodell aufgenommen werden.

Die Verwendung von Multivariablen ermöglicht es, viele Einflussgrößen in das Kostenmodell aufzunehmen und dabei den Bedarf an retrograden Projektinformationen gering zu halten. Da die bei der Variablenermittlung unterstellten Verhältnisse und Abhängigkeiten zwischen den Einflussgrößen keiner statistischen Überprüfung unterzogen werden können, ist für deren Festlegung viel Erfahrungswissen erforderlich.

Fallbeispiel: Festlegung der unabhängigen Modellvariablen

Im Folgenden soll für das Fallbeispiel eine Auswahl von relevanten Einflussgrößen durchgeführt werden. Für das Unternehmen aus dem Fallbeispiel wurden die Produktentstehungskosten in folgende vier Projektsegmente unterteilt: *Projektleitung*, *Technische Planung*, *Konstruktion* und *Qualitätsplanung*. Für jedes Projektsegment muss die Festlegung der unabhängigen Einflussgrößen separat erfolgen. Es ist allerdings möglich, dass eine Einflussgröße, die für mehrere Segmente relevant ist, auch in mehre-

re Kostengleichungen einbezogen wird. Die Auswahl der unabhängigen Variablen erfolgt anhand der Tabelle 6-1, in der die wesentlichen Einflussfaktoren entsprechend ihrer Kausalität aufgelistet sind.

Bevor ein Einflussfaktor in das Kostenmodell aufgenommen wird, findet der in Kapitel 6.2.2 aufgeführte Fragenkatalog zur Auswahl der Projekteinflussgrößen Anwendung. Hier müssen alle Fragen bezüglich Kausalität, Datenverfügbarkeit und Interdependenz mit `ja` beantwortet werden können. Andernfalls ist die jeweilige Einflussgröße für die Anwendung im Kostenmodell ungeeignet.

Bild 6-6 zeigt die Auswahl der Einflussfaktoren, die im Rahmen des Fallbeispiels in das Kostenmodell aufgenommen werden sollen. Alle aufgeführten Merkmale sind über die Grundgesamtheit der abgeschlossenen Projekte hinweg als variabel einzustufen (explizite Merkmale). Darüber hinaus sind die aufgeführten Faktoren in den retrograden Projektaufzeichnungen dokumentiert und bei potentiellen Neuprojekten bereits frühzeitig bekannt.

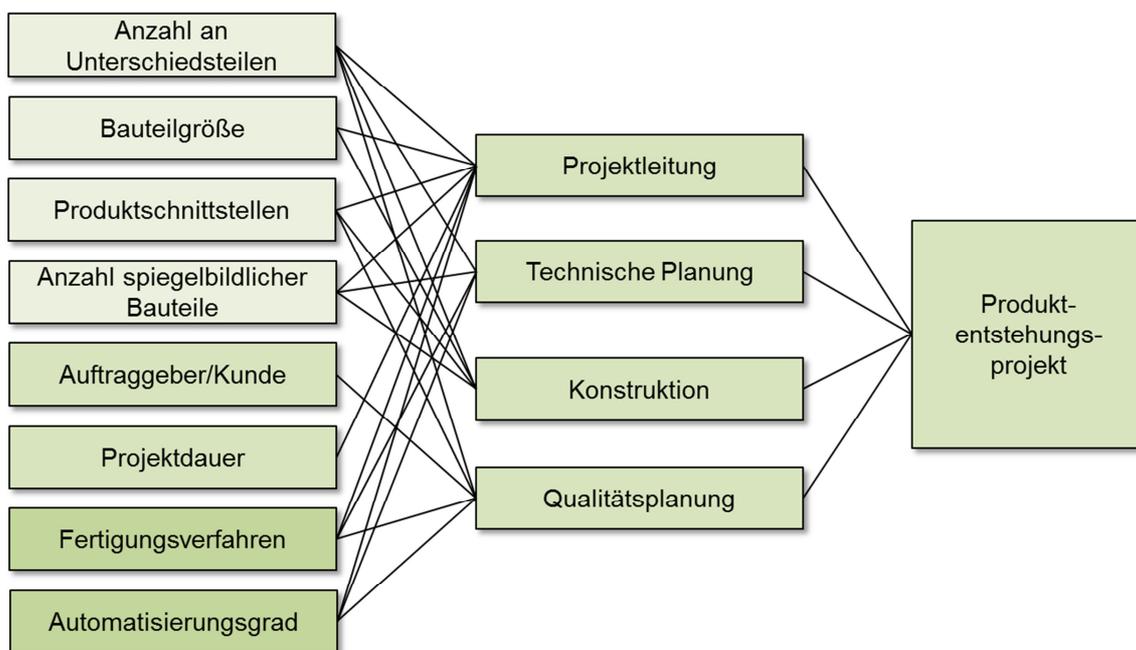


Bild 6-6: Produkt- und produktionsspezifische Einflussfaktoren des Fallbeispiels und deren Zuordnung zu den jeweiligen Projektsegmenten

Wie aus der Abbildung 6-6 ersichtlich wird, sind für die unterschiedlichen Projektsegmente auch unterschiedliche Einflussfaktoren relevant. So sind für die **Projektleitung** nicht nur produktspezifische Einflussgrößen, wie die Anzahl an Unterschiedsteilen und deren Komplexität, relevant, auch produktionsspezifische Faktoren, wie Fertigungsverfahren und Automatisierungsgrad, können den Aufwand der Projektleitung beeinflussen. Der Projektleiter ist von Projektanfang bis -ende in das Projekt eingebunden, wohingegen die Mitarbeiter aus den anderen Fachabteilungen nur temporär an dem Projekt mitarbeiten. Insofern kann davon ausgegangen werden, dass die Projektdauer einen Ein-

fluss auf den Aufwand der Fachabteilung besitzt. Bei dem im Fallbeispiel betrachteten Unternehmen erfolgt die Produktentstehung im Kundenauftrag. Termine für den Start der Entwicklungstätigkeit (SOE) und das Ende der Produkt- und Produktionssystementwicklung (SOP) sind daher bereits frühzeitig bekannt und vertraglich festgelegt.

Da die Abteilung **technische Planung** im Produktentstehungsprojekt für die Entwicklung des Produktionssystems und die Implementierung der Fertigungsprozesse zuständig ist, stehen im Zusammenhang mit der Aufwandsermittlung die produktionsspezifischen Einflussgrößen im Vordergrund. Da bei spiegelbildlichen Bauteilen eine bestehende Planung mit wenig Aufwand übertragen werden kann, ist auch hier der Anteil von Unterschiedsteilen und spiegelbildlichen Bauteilen für die Kostenermittlung relevant.

Der Aufwand des Projektsegments **Konstruktion** ist im Wesentlichen von produktspezifischen Einflussfaktoren abhängig. Hier spielen vor allem Anzahl, Komplexität und Größe der zu konstruierenden Bauteile eine Rolle. Der Anteil spiegelbildlicher Bauteile ist ebenfalls von großer Relevanz. Das im Fallbeispiel untersuchte Unternehmen entwickelt Bauteile und Komponenten des Fahrzeuginterieurs. In diesem Produktspektrum kommen häufig spiegelbildliche Bauteile für Fahrer- und Beifahrerseite des Fahrzeugs zum Einsatz. Auch bei der Variantenbildung von Linkslenker- zu Rechtslenkerfahrzeugen kommen oftmals spiegelbildliche Bauteile zur Anwendung.

Das Projektsegment **Qualitätsplanung** wird sowohl von produkt- als auch produktionsspezifischen Faktoren beeinflusst. Die Anzahl an Unterschiedsteilen, die Bauteilkomplexität, aber auch die Produktionsprozesse und Veredelungsschritte des Produktes wirken sich auf den Aufwand der Fachabteilung aus. So bedingt jeder zusätzliche Fertigungsprozess eine eingehende Risikountersuchung (FMEA), eine Überprüfung der Qualitätsanforderungen (Validierung) sowie den Nachweis der Prozessstabilität und Reproduzierbarkeit (Fähigkeitsuntersuchung). Da es sich im Fallbeispiel um ein Unternehmen der Zulieferindustrie handelt, richtet sich die Art und Intensität der Qualitätsüberprüfung und Dokumentation im Wesentlichen an den Anforderungen des Auftraggebers aus. Hier ist davon auszugehen, dass die unterschiedlichen Anforderungen der jeweiligen Kunden einen Einfluss auf den Aufwand der Fachabteilung besitzen.

Wie anhand der Abbildung 6-6 deutlich wird, werden im Rahmen des Fallbeispiels keine projektspezifischen Einflussfaktoren berücksichtigt. Dies liegt zum einen daran, dass Kriterien, wie der Einsatz von Hilfsmitteln und Tools sowie die Standardisierung von Arbeitsprozessen, über die Grundgesamtheit der ausgewerteten Projekte als gleich angenommen werden können. Sie stellen somit implizite Merkmale dar, die nicht in das Kostenmodell einbezogen werden dürfen. Zum anderen wurden Einflussfaktoren, wie das Erfahrungswissen der Teammitglieder oder die Motivation des Projektteams, für die abgeschlossenen Projekte nicht dokumentiert und sind für Neuprojekte nur schwer abzuschätzen, da die genaue Zusammensetzung des Projektteams zu dem entsprechenden Zeitpunkt für gewöhnlich noch nicht bekannt ist.

Ein weiterer Aspekt, der bei der Festlegung der unabhängigen Variablen deutlich wird, ist, dass einige Einflussgrößen nur schwer durch einen einzigen Wert zu beschreiben sind. Für die Abbildung des jeweiligen Fertigungsverfahrens oder der Bauteilkomplexität wäre eine Vielzahl von Variablen notwendig. Mit steigender Anzahl zu berücksichtigender Einflussgrößen steigt auch der Bedarf an retrograden Datensätzen, die für die statistische Auswertung notwendig sind. In dem vorliegenden Fallbeispiel stehen die Daten 15 abgeschlossener Projekte für die Auswertung zur Verfügung. Diese Stichprobengröße ist gemäß der auf Seite 98 beschriebenen 'Faustwerte' für die erforderliche Stichprobenanzahl zu gering, um alle für das Fallbeispiel relevanten Einflussgrößen in das Modell aufnehmen zu können.

Wie in diesem Kapitel bereits beschrieben wurde, kann durch die Bündelung mehrerer Einflussgrößen zu einer *Multivariablen* der Zielkonflikt zwischen Stichprobengröße und Anpassungsfähigkeit des Kostenmodells behoben werden.

In dem vorliegenden Fallbeispiel soll jeweils eine repräsentative Multivariable für die produkt- und eine für die produktionsspezifischen Einflussgrößen gebildet werden.

Die Abbildung 6-7 zeigt, wie die Multivariable **Produktkomplexität** anhand eines festgelegten Bewertungsablaufs ermittelt wird. Zunächst erfolgt eine Einordnung aller im Rahmen des Produktentstehungsprojektes zu entwickelnder Bauteile in eine der drei Komplexitätsklassen. Die Komplexität eines Bauteils richtet sich nach dessen Größe sowie der Anzahl an Schnittstellen und Anbindungspunkten. Um die Zuordnung zu vereinfachen und reproduzierbare Ergebnisse zu erzielen, wurde zu diesem Zweck ein Bauteilkatalog erstellt, der Referenzbauteile und deren zugehörige Komplexitätseinstufung wiedergibt. Entsprechend der jeweiligen Zuordnung werden für jedes Bauteil Komplexitätswerte von eins bis drei vergeben. Spiegelbildliche Bauteile sollen aufgrund des geringeren Entwicklungsaufwands nur mit 25% des Basiswertes in die Berechnung der Multivariablen eingehen. Die Summierung aller Einzelwerte ergibt den projektspezifischen Gesamtwert für die Multivariable *Produktkomplexität*.

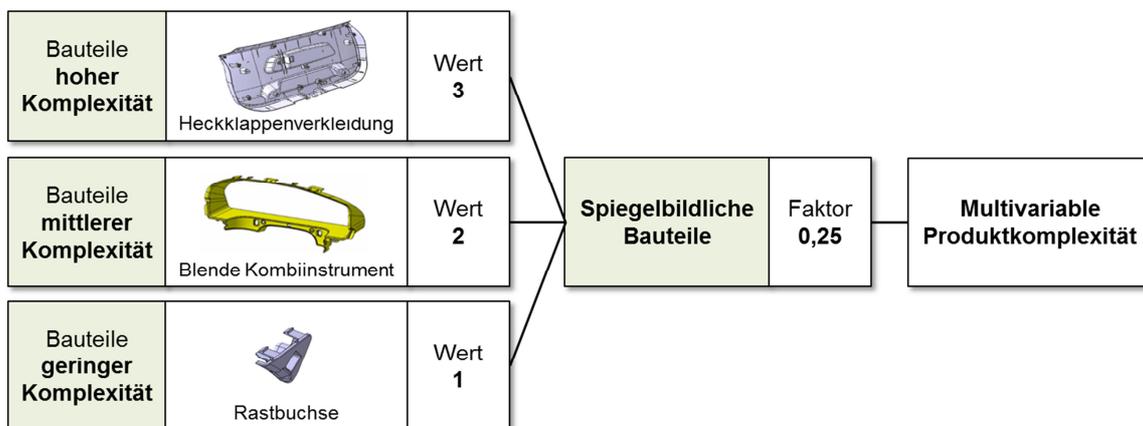


Bild 6-7: Schematische Darstellung: Berechnung der Multivariablen 'Produktkomplexität'

Die Multivariable **Produktionskomplexität** soll die zu entwickelnden Fertigungsverfahren und -prozesse, deren Automatisierungsgrad und ebenfalls die Anzahl spiegelbildlicher Bauteile repräsentieren. Zu diesem Zweck wurde im Rahmen des Fallbeispiels eine relative Aufwandsbewertung für alle gebräuchlichen Fertigungsprozesse durchgeführt. Die Abbildung 6-8 zeigt die im Fallbeispiel berücksichtigten Fertigungsprozesse mit ihren entsprechenden Komplexitätswerten. Die Festlegung der jeweiligen Aufwandswerte resultiert aus den Erfahrungswerten abgeschlossener Projekte und der Einschätzung von Fachexperten. In Abhängigkeit davon, ob ein Fertigungsprozess manuell oder automatisiert durchgeführt wird, wurden unterschiedliche Komplexitätswerte zu Grunde gelegt. Je nach Ausprägung können für ein Bauteil mehrere Produktionsschritte erforderlich sein. Die Berechnung der Multivariablen soll anhand des folgenden Beispiels verdeutlicht werden: Ein Bauteil wird im Spritzgussverfahren hergestellt (Wert: 1), anschließend wird dieses automatisiert lackiert (Wert: 0,7). Als letzter Arbeitsschritt wird eine manuelle Montage durchgeführt (Wert: 0,2). Die Summe aller Einzelwerte ergibt den Wert für die *Produktionskomplexität* (Summe = 1,9). Analog zur *Produktionskomplexität* sollen gespiegelte Bauteile nur mit 25% des Basiswertes in die Berechnung einfließen.

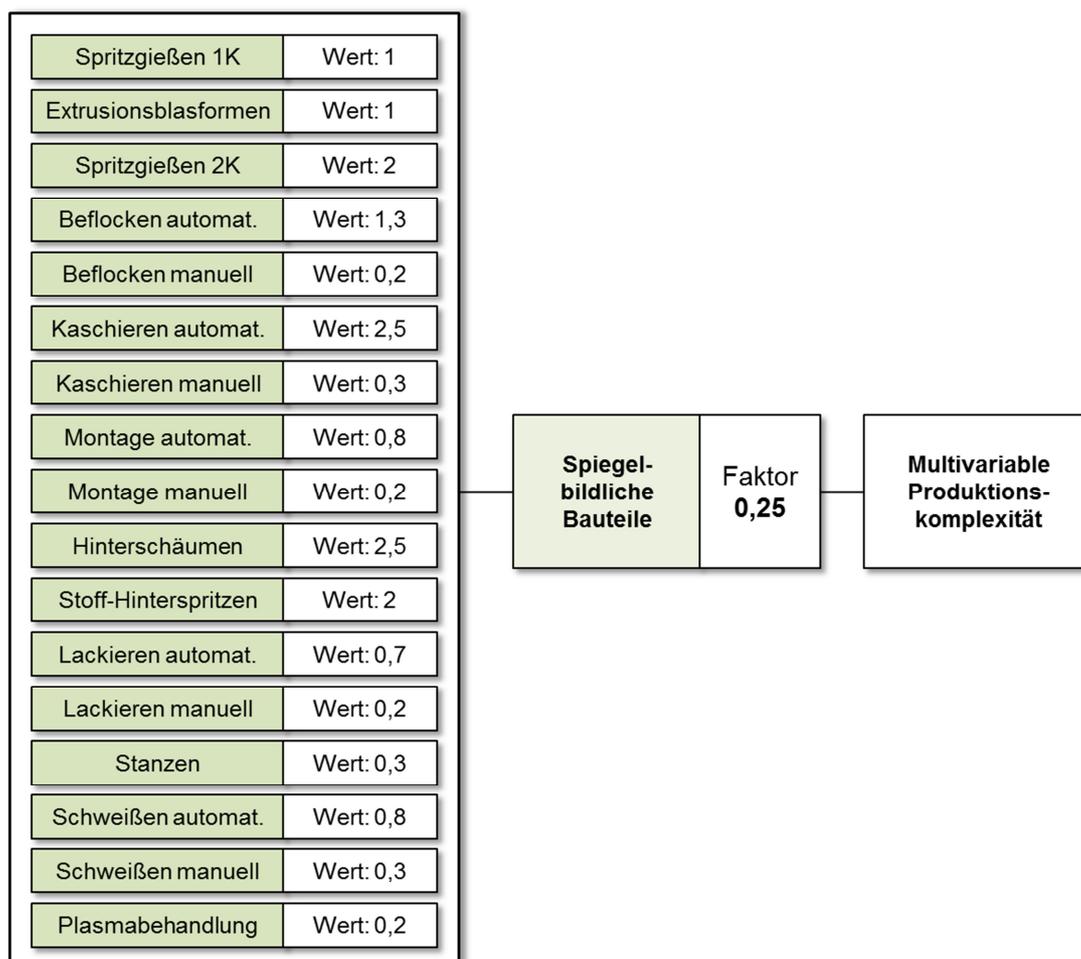


Bild 6-8: Schematische Darstellung: Berechnung der Multivariablen 'Produktionskomplexität'

Abbildung 6-9 zeigt das hypothetische Kostenmodell unter Verwendung der Multivariablen *Produktkomplexität* und *Produktionskomplexität*. Gegenüber dem ursprünglichen Modell (Bild 6-6) zeigt sich, dass sich die Anzahl der unabhängigen Einflussgrößen durch den Einsatz der Multivariablen deutlich reduzieren ließ. Hieraus ergibt sich in Bezug auf die statistische Auswertung ein erheblich geringerer Bedarf an retrograden Projektinformationen. Darüber hinaus reduziert sich mit abnehmender Anzahl der Projekteinflussgrößen das Risiko interdependenter Modellstrukturen.

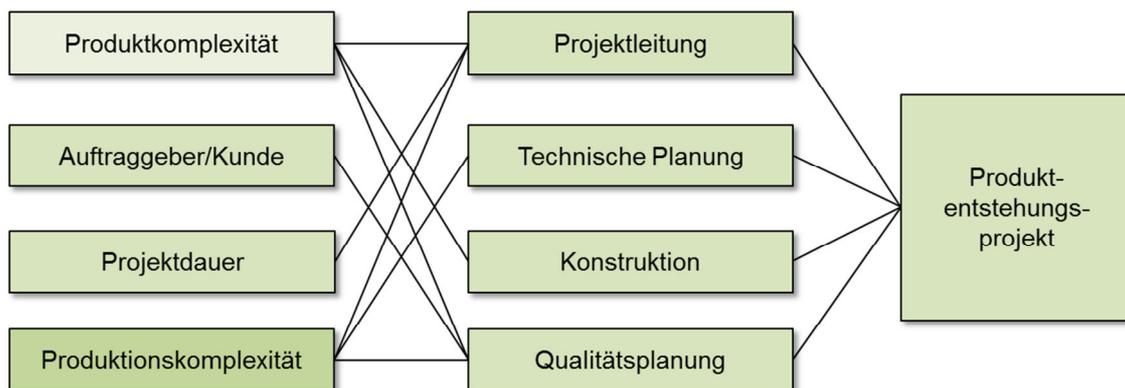


Bild 6-9: Hypothetisches Kostenmodell des Fallbeispiels unter Berücksichtigung der Multivariablen `Produktkomplexität` und `Produktionskomplexität`

6.3 Erstellung des Erklärungsmodells

Im Rahmen des Erklärungsmodells soll die zuvor erstellte Hypothese über die Wirkzusammenhänge des Kostenmodells empirisch belegt werden. Vor der statistischen Analyse der retrograden Kosteninformationen muss zunächst eine Festlegung erfolgen, welche Datensätze in die Grundgesamtheit der zu untersuchenden Elemente¹ aufgenommen werden. Es sollen nur Datensätze Berücksichtigung finden, die repräsentativ für das neu abzuschätzende Entwicklungsvorhaben sind. Um eine ausreichende Ähnlichkeit und damit auch Repräsentativität der Grundgesamtheit zu gewährleisten, sollte eine präzise Definition der Kriterien der einfließenden Datensätze erfolgen [TH08, S. 3]. BANKHOFFER und VOGEL empfehlen in diesem Zusammenhang eine *sachliche, zeitliche* und *räumliche* Abgrenzung der Untersuchungseinheiten [BV08, S. 5].

Wenn eine repräsentative und möglichst homogene Grundgesamtheit retrograder Projektdaten vorliegt, folgt die Auswertung mittels strukturprüfender statistischer Verfahren. In Kapitel 5-2 wurden die nachstehenden multivariaten Analyseverfahren vorgestellt und in Bezug auf ihre Anwendbarkeit untersucht:

¹ Die Datenelemente der Grundgesamtheit werden auch als Merkmalsträger oder Untersuchungseinheiten bezeichnet.

- Lineare multiple Regressionsanalyse
- Nichtlineare multiple Regressionsanalyse
- Neuronale Netze

Für die Auswahl eines der oben genannten Verfahren müssen zunächst die vorliegenden Gegebenheiten und Randbedingungen überprüft werden. Liegen beispielsweise nur wenige retrograde Datensätze für die Auswertung vor, empfiehlt es sich, ein Verfahren anzuwenden, das auf einem analytischen Lösungsansatz beruht (siehe Kapitel 5.2).

Da die lineare Regressionsanalyse zu den verbreitetsten und flexibelsten Auswerteverfahren gehört und sich am ehesten für die Auswertung kleiner Stichprobengrößen eignet, sollte dieses Verfahren bevorzugt für die Erstellung des Erklärungsmodells herangezogen werden. Zeigt sich bei der Datenauswertung, dass sich kein zufriedenstellendes Ergebnis erzielen lässt, weil z.B. Nichtlinearität (intrinsisch nichtlineares Modell) vorliegt, sollte ein anderes der genannten Verfahren zum Einsatz kommen.

Das Resultat des Erklärungsmodells ist im Regelfall ein Gleichungssystem, das die mathematischen Abhängigkeiten zwischen den Eingangs- und Ausgangsgrößen des Kostenmodells formal wiedergibt¹. Mit Hilfe statistischer Gütemaße² lässt sich zeigen, ob der im Rahmen der hypothetischen Modellbildung unterstellte Zusammenhang zwischen Kosteneinflussgröße/n und dem Projektaufwand statistisch belastbar und signifikant ist. So kann beispielsweise anhand des Bestimmtheitsmaßes (R^2) abgelesen werden, zu welchem Anteil sich die Kostenentstehung durch das Modell erklären lässt³. Unzureichende Ergebniswerte für Bestimmtheitsmaß und Standardabweichung deuten darauf hin, dass im Rahmen der hypothetischen Modellbildung entweder falsche oder nicht alle wesentlichen Projekteinflussgrößen in das Kostenmodell aufgenommen wurden. In diesem Fall muss eine Überprüfung und Überarbeitung des hypothetischen Kostenmodells erfolgen.

Wenn eine ausreichende Signifikanz der Kostengleichungen des Erklärungsmodells nachgewiesen werden konnte, können diese Gleichungen als Grundlage für die Kostenprognose angewandt werden.

¹ Im Falle der Neuronalen Netze bleibt der funktionale Zusammenhang der Variablen für den Anwender verborgen.

² Als typische Gütemaße sind unter anderem die in Kapitel 5.2.1 beschriebenen Kriterien Standardabweichung (σ), Bestimmtheitsmaß (R^2), F-Test und t-Test zu nennen.

³ Die Verlässlichkeit der Kostenfunktion ist umso höher, je mehr der Wert des Bestimmtheitsmaßes bei 1 liegt. Ein Bestimmtheitsmaß von 0,5 drückt aus, dass lediglich 50% der Ergebnisstreuung mit Hilfe der im Kostenmodell enthaltenen Einflussgrößen erklärt werden kann.

Fallbeispiel: Erstellung des Erklärungsmodells

Für das Unternehmen des Fallbeispiels wurden die Daten 15 abgeschlossener Produktentstehungsprojekte in die Grundgesamtheit der zu untersuchenden Elemente aufgenommen. Als Abgrenzungsmerkmale für die Zuordnung zur Grundgesamtheit wurden die folgenden Kriterien definiert:

- *Sachlich*: Produktentstehungsprojekt für Bauteile und Komponenten des Fahrzeuginterieurs (Anpassungsentwicklung oder Variantenentwicklung)
- *Zeitlich*: nicht älter als 8 Jahre
- *Räumlich*: gleicher Entwicklungsstandort

Die Auswertung wurde auf Grundlage der linearen Regressionsanalyse mit Hilfe der Statistiksoftware MINITAB 16 vorgenommen. Die Ermittlung der Regressionsgleichung erfolgt über einen analytischen Lösungsansatz auf Basis der Kleinste-Quadrate-Schätzfunktion. Bild 6-10 zeigt die einzelnen Korrelationsdiagramme zwischen dem Zeitaufwand der Fachabteilung **Projektleitung** und den unabhängigen Modellvariablen. Da bei mehr als zwei unabhängigen Einflussgrößen die Regressionsebene nicht mehr graphisch abgebildet werden kann, erfolgt für jede Modellvariable eine separate Darstellung. Die Diagramme machen deutlich, dass sich der vorliegende Zusammenhang für alle Modellvariablen mit Hilfe eines linearen Auswerteverfahrens abbilden lässt.

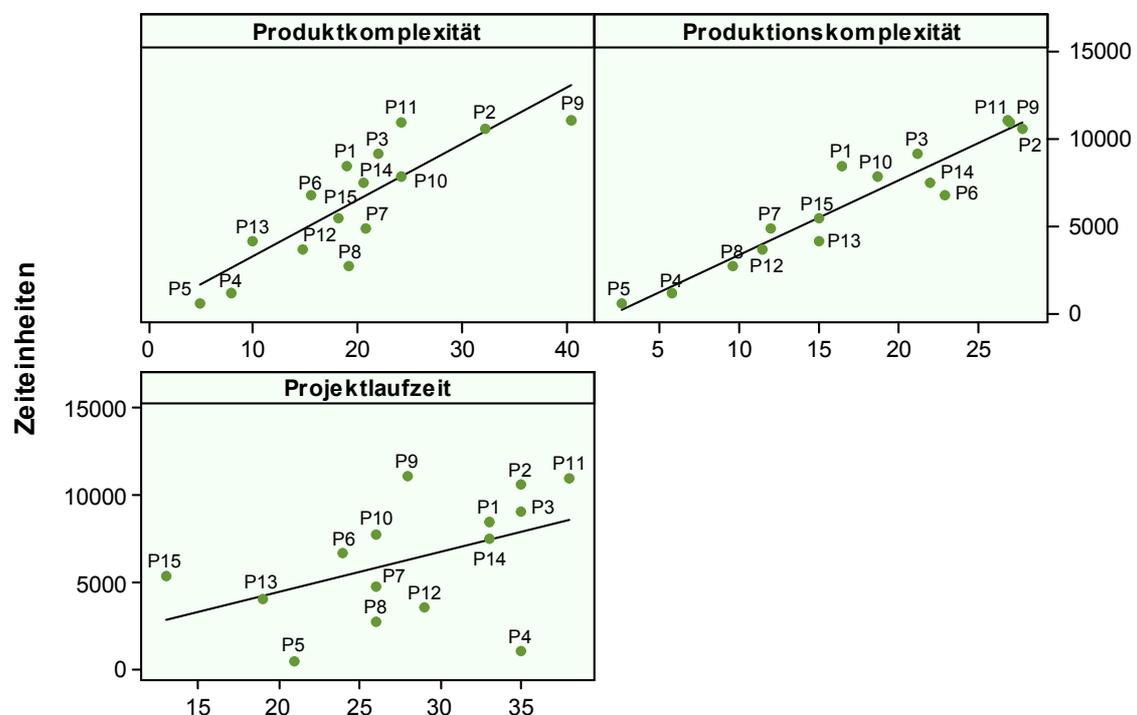


Bild 6-10: Korrelationsdiagramme zwischen dem Zeitaufwand der 'Projektleitung' und den unabhängigen Einflussgrößen 'Produktkomplexität', 'Produktionskomplexität' und 'Projektlaufzeit'

Durch die Minimierung der quadrierten Residuen wird eine bestmögliche Anpassung der Regressionsebene an die Datenwerte angestrebt. Die Gleichung der Regressionsebene liefert die Kostengleichung des Partialmodells (siehe Gleichung 6-2). Für das Projektsegment *Projektleitung* ergibt sich ein Bestimmtheitsmaß von 0,92. Dies bedeutet, dass sich 92% der Streuung der Wertepunkte durch die unabhängigen Modellvariablen erklären lassen. Die Standardabweichung beträgt 1008 Zeiteinheiten. Die nähere Betrachtung der Regressionskoeffizienten zeigt, dass alle unabhängigen Einflussgrößen eine Auswirkung auf den Produktentstehungsaufwand besitzen¹.

$$- 2300^{**} + 94x^{**} + 320c^{***} + 48,3z^* = Ze_{PI} \quad [R^2_{(kor.)}: 0,92; \sigma: 1008; p: 0,00]$$

Gleichung 6-2: *Kostengleichung für das Projektsegment `Projektleitung`²*

x: Produktkomplexität

c: Produktionskomplexität

z: Projektlaufzeit

Ze_{PI} : Zeiteinheiten für Projektsegment `Projektleitung`

Die Ergebnisdarstellung der Signifikanztests für die Regressionsgleichung (F-Test) und die unabhängigen Variablen (t-Test) erfolgt im Programm MINITAB 16 mit Hilfe des p-Werts (Signifikanzwert). Der p-Wert gibt die Überschreitungswahrscheinlichkeit an, mit der man sich irrt, wenn man die Nullhypothese H_0 ablehnt [SH06, S. 323]. Der p-Wert kann Werte zwischen Null und Eins annehmen. Eine Überschreitungswahrscheinlichkeit nahe Null deutet darauf hin, dass die Nullhypothese verworfen werden kann und der betreffende Zusammenhang signifikant ist. Als Signifikanzniveau wurde in dieser Arbeit ein Wert von 10% ($p < 0,1$) zugrunde gelegt.

Der p-Wert für die Regressionsgleichung 6-2 beträgt 0,00, die Gleichung ist somit hochsignifikant. Die p-Werte für die einzelnen unabhängigen Variablen liegen mit Ausnahme der unabhängigen Variablen *Projektlaufzeit* unterhalb des 10%-Signifikanzniveaus. Die Überschreitung des Signifikanzniveaus ist aber noch kein hinreichender Beweis dafür, dass der betreffende Parameter nicht signifikant ist [BEP+11, S. 80]. Angesichts der im Verhältnis zu der Anzahl unabhängiger Variablen geringen Stichprobengröße deutet vieles darauf hin, dass das Signifikanzniveau in Folge der geringen Stichprobengröße überschritten wird. Aufgrund des großen Anteils, den der Parameter *Projektlaufzeit* zur Erklärung der Aufwandsentstehung beiträgt, und der eindeutigen Kausalität soll der Parameter dennoch im Kostenmodell verbleiben.

¹ Wenn der Regressionskoeffizient einen Wert nahe Null annimmt, besitzt die entsprechende Variable keinen Einfluss auf das Ergebnis und muss aus dem Modell entfernt werden.

² [*] $p > 0,1$; [**] $0,1 \geq p > 0,01$; [***] $p \leq 0,01$

Für das Projektsegment **Technische Planung** soll der statistische Zusammenhang zwischen der unabhängigen Variablen *Produktionskomplexität* und der abhängigen Variablen *Zeiteinheiten* beschrieben werden. Auch hier zeigt das Streudiagramm (Bild 6-11) eine deutliche lineare Abhängigkeit zwischen den beiden Größen.

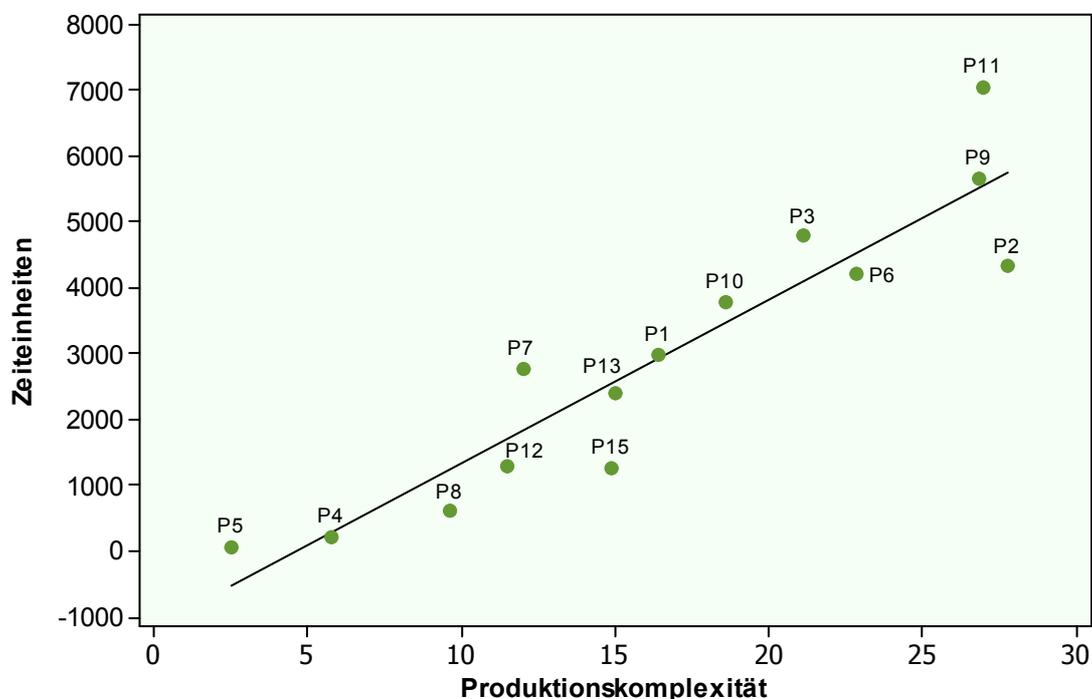


Bild 6-11: Korrelationsdiagramm zwischen dem Zeitaufwand der `Technische Planung` und der unabhängigen Einflussgröße `Produktionskomplexität`

Die Kostengleichung des Projektsegments (Gleichung 6-3) kann 84% der Streuung der Wertepunkte erklären. Die Standardabweichung beträgt 841 Zeiteinheiten. Sowohl die Regressionsgleichung als auch die unabhängigen Variablen sind als signifikant einzu-stufen¹.

$$- 1156^{**} + 248c^{***} = Ze_{TP} \quad [R^2_{(kor.)} = 0,84; \sigma = 841; p = 0,00]$$

Gleichung 6-3: Kostengleichung für das Projektsegment `Technische Planung`

c: Produktionskomplexität

Ze_{TP} : Zeiteinheiten für Projektsegment `Technische Planung`

Im Rahmen der hypothetischen Modellbildung wurde von einem Zusammenhang zwischen dem Zeitaufwand des Projektsegments **Konstruktion** und der Multivariablen *Produktkomplexität* ausgegangen. Die Abbildung 6-12 zeigt eine starke lineare Abhän-

¹ Bei Annahme eines Signifikanzniveaus von 10%.

gigkeit zwischen beiden Größen und bestätigt somit die Annahme des hypothetischen Kostenmodells.

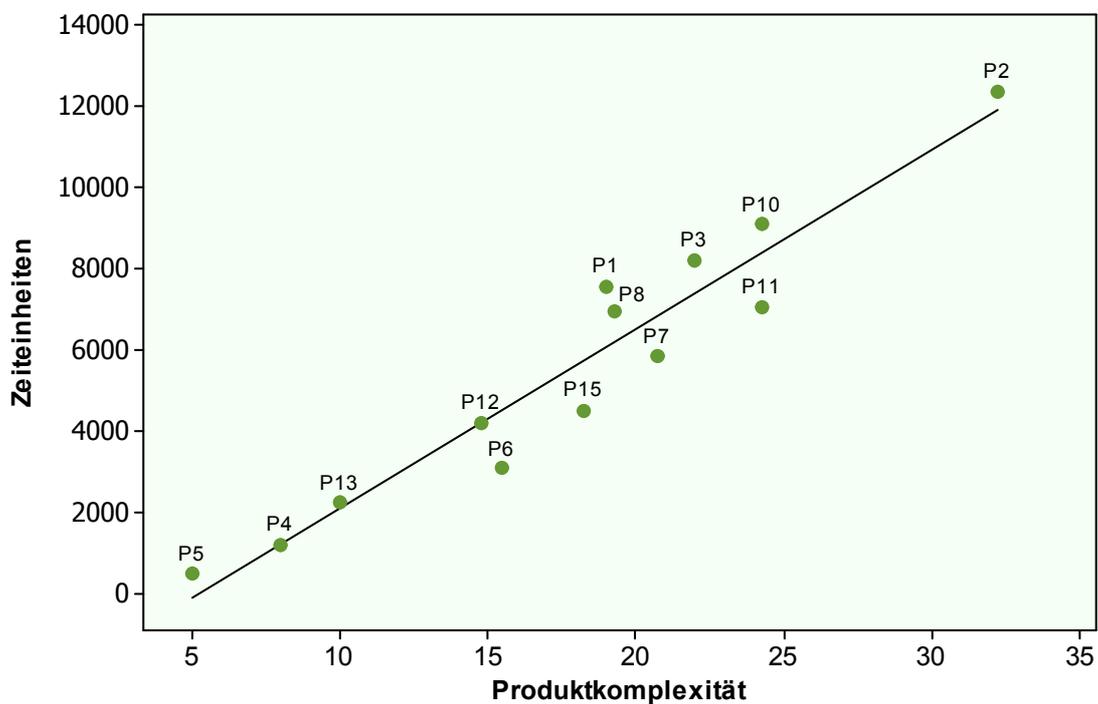


Bild 6-12: Korrelationsdiagramm zwischen dem Zeitaufwand der 'Konstruktion' und der unabhängigen Einflussgröße 'Produktkomplexität'

Mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,91 liegt der Anteil der erklärten Streuung sehr hoch. Die Standardabweichung der Kostengleichung (Gleichung 6-4) beträgt 995 Zeiteinheiten. Auch hier deutet der p-Wert der Regressionsgleichung und der unabhängigen Variablen darauf hin, dass die Nullhypothese H_0 abgelehnt werden kann, der Zusammenhang ist somit als signifikant einzustufen.

$$- 2321^{**} + 441x^{***} = Ze_{Ko} \quad [R^2_{(kor.)} = 0,91; \sigma = 995; p = 0,00]$$

Gleichung 6-4: Kostengleichung für das Projektsegment 'Konstruktion'

x: Produktkomplexität

Ze_{Ko} : Zeiteinheiten für Projektsegment 'Konstruktion'

Die Abbildung 6-13 zeigt den Einfluss der unabhängigen Variablen *Produktkomplexität*, *Produktionskomplexität* und *Kunde* auf den Zeitaufwand des Projektsegments **Qualitätsplanung**. Die Einflussgröße *Kunde* stellt ein qualitatives nominalskaliertes Merkmal dar, welches sich nur auf Gleichheit oder Ungleichheit hin untersuchen lässt. In den untersuchten Kostenaufzeichnungen des Fallbeispiels sind drei unterschiedliche Kunden aufgeführt (Kunden: A, B, C). Um alle drei Merkmalsausprägungen in dem Kostenmodell abbilden zu können, müssen binäre Indikatorvariablen (Dummy-Variablen) einge-

setzt werden. Diese geben für die jeweilige Ausprägung (z.B.: Kunde A) an, ob diese zutreffend ist oder nicht (ja = 1; nein = 0). Wie die Tabelle 6-2 zeigt, benötigt man zur Abbildung von n Variablenausprägungen $n-1$ Indikatorvariablen.

Tabelle 6-2: Anwendung von binären Indikatorvariablen zur Abbildung der unabhängigen Einflussgröße 'Kunde'

Indikatorvariable: Kunde A	Indikatorvariable: Kunde B	Ausprägung der unabhängigen Variablen
1	0	Kunde A
0	1	Kunde B
0	0	Kunde C

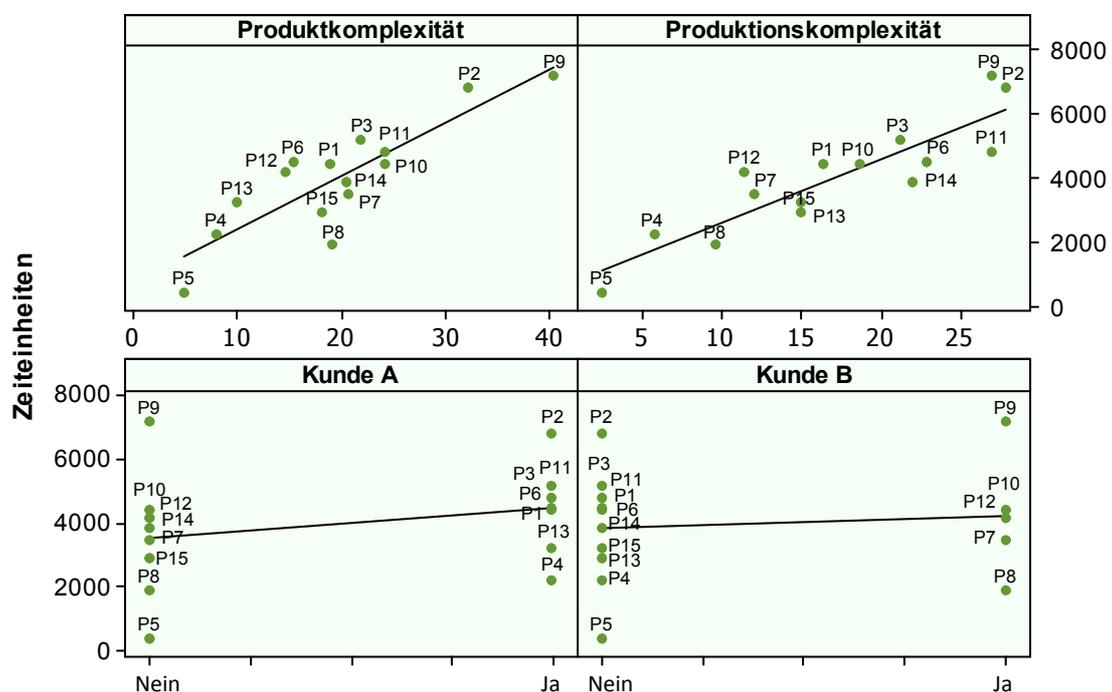


Bild 6-13: Korrelationsdiagramm zwischen dem Zeitaufwand der 'Qualitätsplanung' und den unabhängigen Einflussgrößen 'Produktkomplexität', 'Produktionskomplexität' und den Indikatorvariablen 'Kunde A' und 'Kunde B'

Die Regressionsgleichung des Projektsegments *Qualitätsplanung* besitzt ein Bestimmtheitsmaß von 86% (siehe Gleichung 6-5). Die Standardabweichung beträgt 664 Zeiteinheiten. Die nähere Betrachtung der p-Werte zeigt, dass es für die unabhängige Variable *Kunde B* nicht gelang, die Nullhypothese auf dem 10%-Signifikanzniveau abzulehnen. Aufgrund der bereits im Zusammenhang mit der Variablen *Projektlaufzeit* genannten Argumente soll diese Variable dennoch im Kostenmodell verbleiben.

$$- 234x + 87,5x^{**} + 104c^{**} + 1062k_a^{**} + 763k_b^* = Ze_{Qp}$$

$$[R^2_{(kor.)} = 0,86; \sigma = 664 p = 0,00]$$

Gleichung 6-5: Kostengleichung für das Projektsegment `Qualitätsplanung`

x: Produktkomplexität

c: Produktionskomplexität

k_a: Kunde A

k_b: Kunde B

Ze_{Qp}: Zeiteinheiten für Projektsegment `Qualitätsplanung`

Die Abbildung 6-14 zeigt zusammenfassend für alle Projektsegmente des Fallbeispiels das Erklärungsmodell der Produktentstehungskosten. Die im hypothetischen Modell vermuteten Abhängigkeiten konnten mit Hilfe der statistischen Auswertung formal beschrieben und nachgewiesen werden.

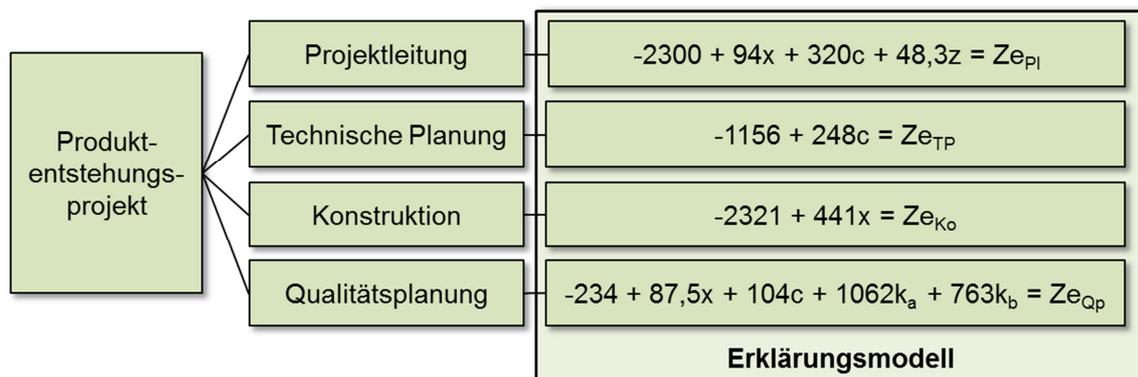


Bild 6-14: Erklärungsmodell des Fallbeispiels, basierend auf den Kostengleichungen der vier Partialmodelle

6.4 Erstellung des Prognosemodells

Das Prognosemodell dient der Kostenvorhersage für zukünftige Produktentstehungsprojekte. Das zu prognostizierende Projekt muss die gleichen Abgrenzungsmerkmale (sachlich, zeitlich, örtlich) erfüllen, wie die bereits abgeschlossenen Projekte, auf deren Werten die Erstellung des Erklärungsmodells beruht. Besteht keine ausreichende Ähnlichkeit zwischen dem Prognosegegenstand und der Grundgesamtheit der ausgewerteten Projektdaten, kann das Kostenmodell nicht zur Vorhersage des Neuprojektes angewandt werden.

Darüber hinaus sollte eine Prognose nur innerhalb des Funktionsbereichs (Stützbereich) der retrograden Projektdaten erfolgen. Bei einer Extrapolation der Prognosewerte kann

es vor allem dann, wenn nichtlineare Zusammenhänge vorliegen, zu erheblichen Abweichungen kommen [BEW11, S. 41].

Um den Projektaufwand für ein potientiell Neuprojekt vorhersagen zu können, müssen zunächst die anterograden Werte der Projekteinflussgrößen für das geplante Entwicklungsvorhaben ermittelt werden. Durch Einsetzen der Werte in die Kostengleichungen des Erklärungsmodells lässt sich der Aufwand für das Neuprojekt berechnen. Als Berechnungsergebnis liefert das Kostenmodell zunächst einen deterministischen Wert, der den Eindruck vermittelt, dass sich das Ergebnis exakt und ohne Unsicherheit bestimmen ließe. Die Annahme eines deterministischen Kostenwertes spiegelt nicht die Risiken und Unsicherheiten wider, die mit der Kostenermittlung für Produktentstehungsprojekte einhergehen. Aus diesem Grund soll in dieser Arbeit eine Möglichkeit aufgezeigt werden, wie sich Unsicherheiten innerhalb eines parametrischen Kostenmodells berücksichtigen und darstellen lassen.

Wie anhand der Abbildung 6-15 zu erkennen ist, muss man im Zusammenhang mit der Kostenmodellbildung zwei Formen von Unsicherheit berücksichtigen, die im Folgenden näher erläutert werden.

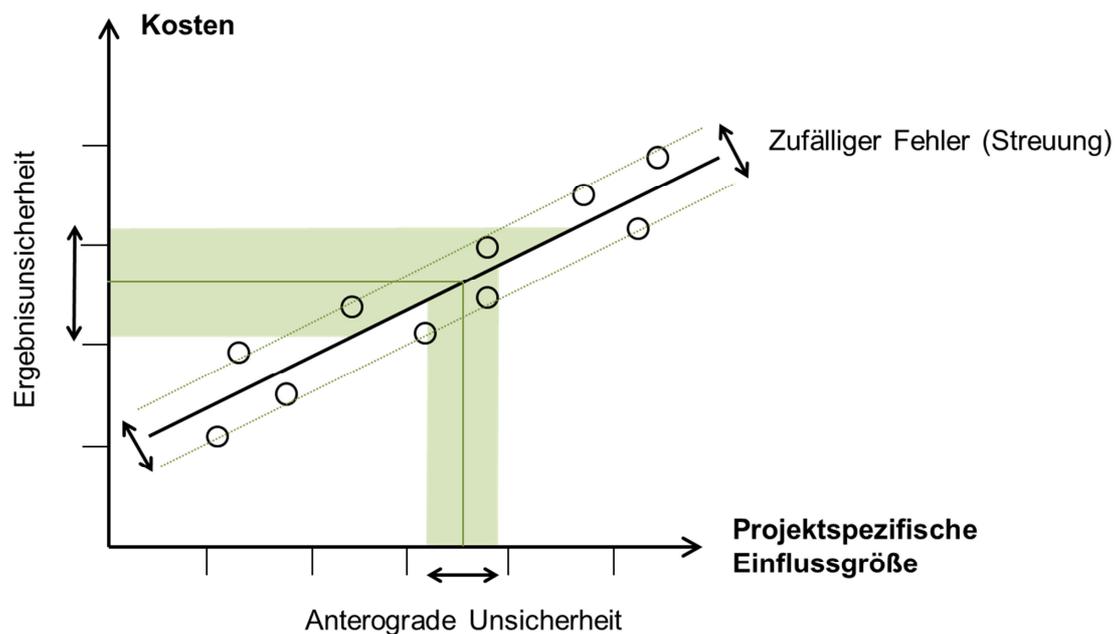


Bild 6-15: Aggregation von anterograder Unsicherheit und Modellunsicherheit bei der Kostenprognose

Wie sich bei der statistischen Analyse der retrograden Projektdaten gezeigt hat, liegt bei jedem Partialmodell eine Streuung der Wertepunkte um die Regressionsgerade vor (Residuum), die durch das Modell nicht erklärt wird. Die Wahrscheinlichkeit und die Stärke, mit denen der reale Ergebniswert von der Regressionsgeraden abweicht, sind durch die Standardabweichung (σ) beschrieben. Hierbei handelt es sich um eine objektive Wahrscheinlichkeit, die sich auf Grundlage der retrograden Datensätze berechnen lässt.

Diese Unsicherheit, die aus der unerklärten Streuung der Wertepunkte resultiert, soll im Folgenden als *Modellunsicherheit* bezeichnet werden. Im Zusammenhang mit der Kostenstrukturierung (Kapitel 6.1) wurde bereits erläutert, dass sich die Modellunsicherheiten der einzelnen Partialmodelle stellenweise gegeneinander aufheben können. Auch dieser Effekt sollte bei der Kostenprognose Berücksichtigung finden.

Die zweite Form der Unsicherheit kann aus der Festlegung der anterograden Werte für die Projekteinflussfaktoren (unabhängige Variablen) resultieren. Wie bereits im Kapitel 2.3.3 'Risiko von Kostenabweichungen' erläutert wurde, liegen in frühen Phasen des Produktentstehungsprozesses im Regelfall erst wenige oder nur ungenaue Informationen bezüglich des Entwicklungsgegenstands und -umfelds vor. Dies kann dazu führen, dass die Werte für die unabhängigen Modellvariablen nicht mit ausreichender Sicherheit bestimmt werden können. Die aus dem anterograden Informationsdefizit resultierende Unsicherheit wird im Folgenden als *anterograde Unsicherheit* bezeichnet. Hierbei handelt es sich um eine subjektive Unsicherheit, da das Abweichungsrisiko durch den Methodenanwender eingeschätzt werden muss, und rechnerisch nicht ermittelt werden kann.

Beide Unsicherheiten (Modellunsicherheit und anterograde Unsicherheit) wirken sich auf die Vorhersagegenauigkeit des Modells aus. Die Kenntnis des Abweichungsrisikos ist für die Interpretation und die weiterführende Nutzung des Berechnungsergebnisses von entscheidender Bedeutung. Das in Abbildung 6-16 dargestellte Beispiel verdeutlicht die Notwendigkeit einer stochastischen Ergebnisdarstellung.

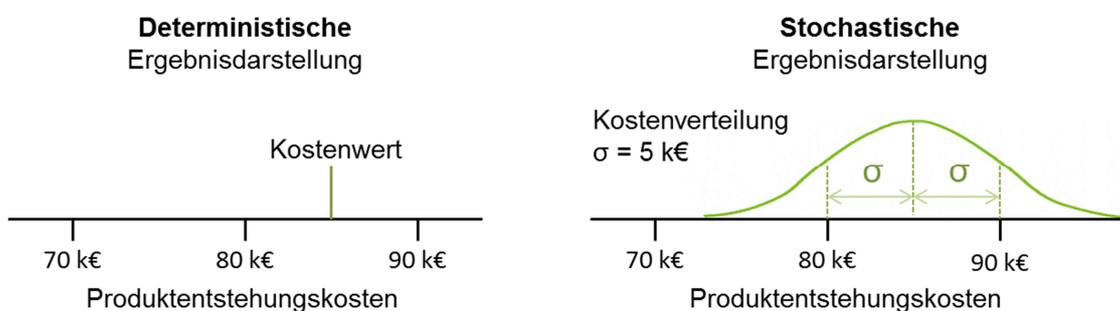


Bild 6-16: Gegenüberstellung von deterministischer und stochastischer Ergebnisdarstellung anhand eines Beispiels

In dem dargestellten Beispiel würde man im Falle einer deterministischen Ergebnisdarstellung davon ausgehen, dass die Produktentstehungskosten für das zu prognostizierende Projekt exakt 85.000 € betragen. Die stochastische Ergebnisausgabe sagt ebenfalls aus, dass der Erwartungswert für die Produktentstehungskosten bei 85.000 € liegt. Darüber hinaus ist für das Ergebnis eine Standardabweichung von 5.000 € angegeben. Die Standardabweichung ist so zu interpretieren, dass bei Vorliegen einer Normalverteilung

der Kostenwert mit einer Wahrscheinlichkeit von 68,3%¹ zwischen 80.000 und 90.000 € liegt. Die Kenntnis des Abweichungsrisikos hilft dem Methodenanwender bei der Interpretation des Ergebnisses und ermöglicht ihm, angemessen auf die bestehende Unsicherheit zu reagieren².

Eine Möglichkeit, die Auswirkung der verschiedenen Unsicherheiten und deren Wechselwirkungen darzustellen, besteht in der Monte-Carlo-Simulation. Die Monte-Carlo-Simulation ist eine aus der Stochastik stammende Methodik, bei der Problemstellungen mit Hilfe von Zufallsgeneratoren gelöst werden. Die Methode eignet sich sowohl für die Berechnung deterministischer Größen als auch für die Simulation komplexer zufälliger Vorgänge [Beu07, S. 139ff.]. Die Ergebnisermittlung basiert auf einer großen Anzahl von Zufallsexperimenten und deren statistischer Auswertung. Durch das wiederholte Berechnen des Modells mit unterschiedlichen Wertekombinationen gelangt man zu Ergebnissen, die analytisch nicht oder nur sehr aufwendig zu berechnen wären [GLL12, S. 130ff.]. Als Ergebnis gibt die Monte-Carlo-Simulation eine Häufigkeitsverteilung aus, die einen Überblick über die Vielfalt der möglichen Ergebnisrealisierungen und deren Eintrittswahrscheinlichkeit verschafft [Wur90, S. 180f.]

Die Abbildung 6-17 zeigt anhand eines Beispiels die prinzipielle Funktionsweise der Monte-Carlo-Simulation.

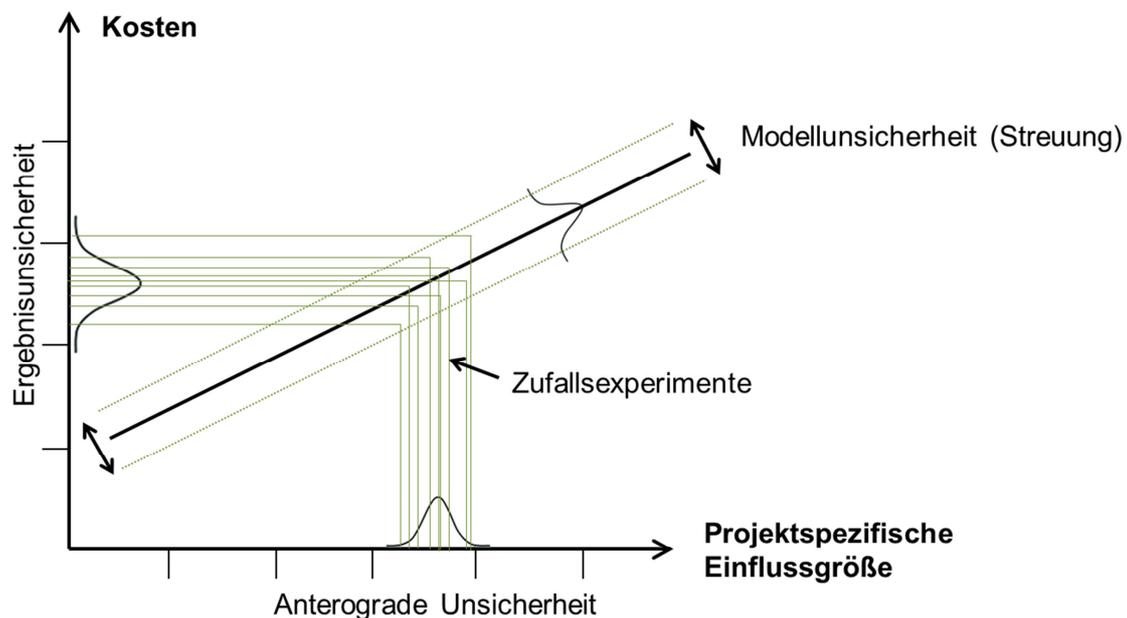


Bild 6-17: Prinzipdarstellung der Monte-Carlo-Simulation

¹ Bei Vorliegen einer Normalverteilung kann davon ausgegangen werden, dass in einem Bereich von $\pm \sigma$ um den Erwartungswert 68,3% der Werte der Zufallsverteilung liegen ($\pm 2\sigma \cong 94,5\%$; $\pm 3\sigma \cong 99,7\%$).

² Häufig werden zur Kompensierung von Unsicherheit Risikoaufschläge veranschlagt.

In dem vorliegenden Beispiel besteht Unsicherheit bezüglich der Ausprägung der projektspezifischen Einflussgröße (anterograde Unsicherheit). Darüber hinaus besitzt das Kostenmodell eine Unsicherheit (Modellunsicherheit), die sich in der Standardabweichung (σ) der Kostengleichung ausdrückt. Im Rahmen der Monte-Carlo-Simulation wird eine große Anzahl von Zufallsexperimenten durchgeführt, bei denen für die mit Unsicherheit behafteten Modellwerte Zufallszahlen entsprechend ihrer Wahrscheinlichkeitsverteilung gebildet werden. Durch die Berechnung immer neuer zufälliger Wertekombinationen gewinnt man Erkenntnisse über die möglichen Ergebnisausprägungen und deren Häufigkeitsverteilung. Mit größer werdender Anzahl von Zufallsexperimenten verbessert sich die Genauigkeit des Ergebnisses. In der praktischen Anwendung werden zur Ermittlung eines Ergebnisses oftmals einige tausend Simulationsdurchläufe durchgeführt.

Mit Hilfe der Monte-Carlo-Simulation lassen sich die Auswirkungen von anterograder und Modellunsicherheit für die einzelnen Partialmodelle berechnen. Darüber hinaus kann ausgehend von dem Abweichungsrisiko der Partialmodelle die Fehlerwahrscheinlichkeit des Gesamtmodells simuliert werden. Die Ergebnisausgabe erfolgt anhand einer Verteilungsfunktion, die Auskunft über den Erwartungswert, die Ergebnisgrenzen und die Standardabweichung der Kostenprognose liefert.

Fallbeispiel: Erstellung des Prognosemodells

Für das Unternehmen des Fallbeispiels soll im Folgenden eine Kostenprognose für ein zukünftiges Produktentstehungsprojekt durchgeführt werden. Hierfür wurden exemplarisch die unten aufgeführten Merkmalsausprägungen für die unabhängigen Variablen gewählt. Das in frühen Phasen des Produktentstehungsprozesses herrschende Informationsdefizit soll im Rahmen des Fallbeispiels durch die anterograde Unsicherheit der Einflussgrößen *Produktionskomplexität* und *Projektlaufzeit* widerspiegelt werden. Für beide Variablen wurde neben dem Erwartungswert auch das potentielle Abweichungsrisiko in Form der Standardabweichung (σ) bestimmt.

- Produktkomplexität: 17
- Produktionskomplexität: 23 (anterograde Unsicherheit: $\sigma = 0,5$)
- Projektlaufzeit: 23 Monate (anterograde Unsicherheit: $\sigma = 1,0$)
- Kunde A: 0
- Kunde B: 1

Die Berechnung der Produktentstehungskosten wird mit Hilfe der Statistiksoftware MINITAB 16 durchgeführt. Hierzu werden in das Programm die Kostengleichungen des Erklärungsmodells und die anterograden Werte der Kosteneinflussgrößen eingegeben. Für die Simulation der Unsicherheit werden von dem Programm für die anterograden Variablen *Produktionskomplexität* und *Projektlaufzeit* sowie für die jeweiligen Ab-

weichungen der Partialmodelle Zufallszahlen generiert¹. Durch das Einsetzen der Zufallszahlen in die Gleichungen des Kostenmodells erhält man einen theoretischen Ergebniswert für den Produktentstehungsaufwand.

Die Tabelle 6-3 zeigt schematisch den formalen Berechnungsansatz für die einzelnen Zufallsexperimente. Die anterograde Unsicherheit wird simuliert, indem für die Modelleingangsgrößen *Produktkomplexität (cz)* und *Projektlaufzeit (zz)* anstelle eines festen Wertes Zufallszahlen in das Modell eingegeben werden. Bei jedem Berechnungsdurchlauf werden neue Zahlenwerte für die Modelleingangsgrößen generiert. Die Erzeugung der Zufallszahlen erfolgt entsprechend der parameterspezifischen Unsicherheit und der zu erwartenden Verteilungsfunktion.

Die Modellunsicherheit wird gemäß der Standardabweichung der Partialmodelle durch den spezifischen Abweichungsfehler (U) charakterisiert. Der Wert des Abweichungsfehlers wird ebenfalls mit Hilfe von Zufallszahlen beschrieben und für jedes Experiment neu generiert.

Das Gesamtergebnis (E) der jeweiligen Zufallsexperimente berechnet sich aus der Summe der Ergebnisse der Partialmodelle (e). In dem vorliegenden Beispiel wurden 100.000 unterschiedliche Wertekombinationen (Zufallsexperimente) berechnet und ausgewertet.

¹ Die Erzeugung der Zufallszahlen erfolgt anhand vorgegebener Verteilungen und Standardabweichungen. In dem vorliegenden Beispiel wurden die Zufallszahlen auf Grundlage einer Normalverteilung generiert.

Tabelle 6-3: Schematischer Berechnungsansatz der Monte-Carlo-Simulation auf Grundlage des Erklärungsmodells und unter Berücksichtigung der anterograden und modellspezifischen Unsicherheit

Experiment	Projektleitung (e _{Pl})	Technische Planung (e _{TP})	Konstruktion (e _{Ko})	Qualitätsplanung (e _{Qp})	Gesamtergebnis
1	-2300 + (94x) + (320cz ₁) + (48,3zz ₁) + U _{PH1}	-1156 + (348cz ₁) + U _{TP1}	-2321 + 441x + U _{Ko1}	-234 + (87,5x) + (104cz ₁) + (1062k _a) + U _{Qp1}	E ₁ = e _{PH1} + e _{TP1} + e _{Ko1} + e _{Qp1}
2	-2300 + (94x) + (320cz ₂) + (48,3zz ₂) + U _{PH2}	-1156 + (348cz ₂) + U _{TP2}	-2321 + 441x + U _{Ko2}	-234 + (87,5x) + (104cz ₂) + (1062k _a) + U _{Qp2}	E ₂ = e _{PH2} + e _{TP2} + e _{Ko2} + e _{Qp2}
3	-2300 + (94x) + (320cz ₃) + (48,3zz ₃) + U _{PH3}	-1156 + (348cz ₃) + U _{TP3}	-2321 + 441x + U _{Ko3}	-234 + (87,5x) + (104cz ₃) + (1062k _a) + U _{Qp3}	E ₃ = e _{PH3} + e _{TP3} + e _{Ko3} + e _{Qp3}
..
n	-2300 + (94x) + (320cz _n) + (48,3zz _n) + U _{PHn}	-1156 + (348cz _n) + U _{TPn}	-2321 + 441x + U _{Kon}	-234 + (87,5x) + (104cz _n) + (1062k _a) + U _{Qpn}	E _n = e _{PHn} + e _{TPn} + e _{Kon} + e _{Qpn}
N	-2300 + (94x) + (320cz _N) + (48,3zz _N) + U _{PHN}	-1156 + (348cz _N) + U _{TPN}	-2321 + 441x + U _{KoN}	-234 + (87,5x) + (104cz _N) + (1062k _a) + U _{QpN}	E _N = e _{PHN} + e _{TPN} + e _{KoN} + e _{QpN}

- X: Produktkomplexität (Wert: 17)
- cz_{1-N}: Zufallswerte für 'Produktionskomplexität' (Erwartungswert: 23; σ = 0,5)
- zz_{1-N}: Zufallswerte für 'Projektlaufzeit' (Erwartungswert: 23; σ = 1,0)
- k_a: Kunde A (Wert: 0)
- k_b: Kunde B (Wert: 1)
- U_{PH1-N}: Zufallswerte für Abweichungsfehler des Partialmodells 'Projektleitung' (σ = 1008)
- U_{TP1-N}: Zufallswerte für Abweichungsfehler des Partialmodells 'Technische Planung' (σ = 841)
- U_{Ko1-N}: Zufallswerte für Abweichungsfehler des Partialmodells 'Konstruktion' (σ = 995)
- U_{Qp1-N}: Zufallswerte für Abweichungsfehler des Partialmodells 'Qualitätsplanung' (σ = 664)
- e_{PH1-N}: Ergebnisse für das Partialmodell 'Projektleitung'
- e_{TP1-N}: Ergebnisse für das Partialmodell 'Technische Planung'
- e_{Ko1-N}: Ergebnisse für das Partialmodell 'Konstruktion'
- e_{Qp1-N}: Ergebnisse für das Partialmodell 'Qualitätsplanung'
- N: Anzahl der Zufallsexperimente (100.000)
- E_{1-n}: Gesamtergebnisse der jeweiligen Zufallsexperimente



Die in Tabelle 6-3 beschriebene Monte-Carlo-Simulation liefert für jedes der 100.000 durchgeführten Zufallsexperimente ein separates Ergebnis für den Produktentstehungsaufwand. Die Häufigkeit und die Grenzen der Ergebnisrealisierungen lassen sich anhand einer Verteilungsfunktion darstellen. Abbildung 6-18 zeigt die im Rahmen des Fallbeispiels ermittelte Verteilungsfunktion für den Durchführungsaufwand des Neuprojektes.

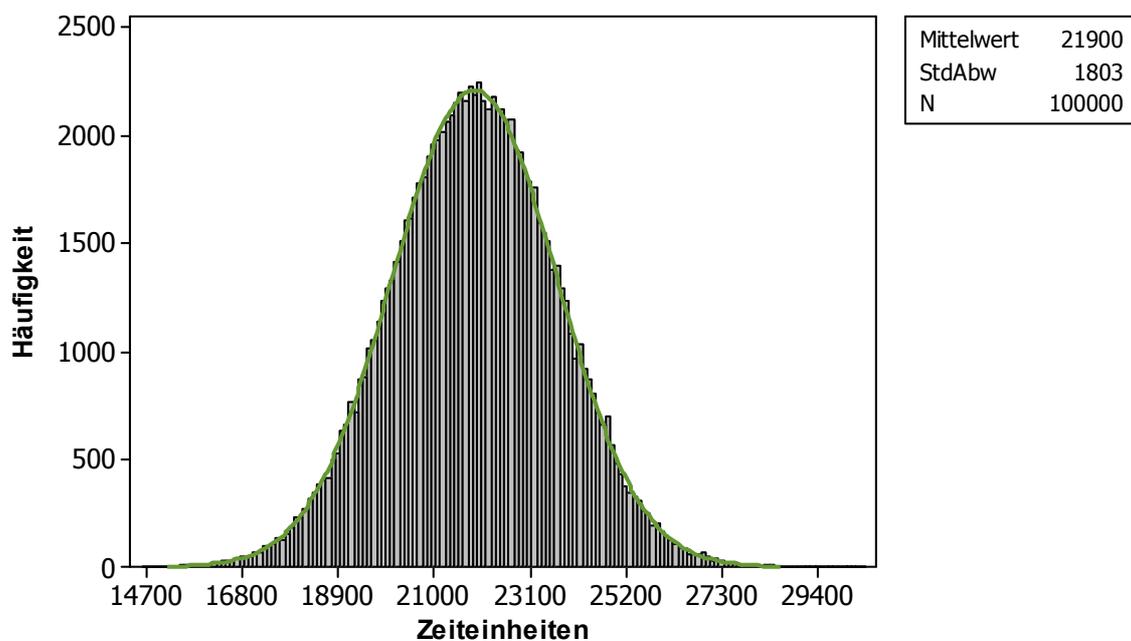


Bild 6-18: Verteilungsfunktion des Produktentstehungsaufwands (Zeiteinheiten) des Fallbeispiels

In dem Fallbeispiel erfolgt die Berechnung der Produktentstehungskosten indirekt über den Arbeitsaufwand. Als Ergebnis der Monte-Carlo-Simulation wird die Anzahl der Zeiteinheiten ausgegeben, die zur Durchführung des Produktentstehungsprojektes erforderlich ist. Das Ergebnis der Aufwandsprognose (Erwartungswert) beträgt 21.900 Zeiteinheiten. Die Standardabweichung liegt mit 1.803 Zeiteinheiten bei etwa 8,2% der Gesamtsumme. Daraus folgt, dass der Projektaufwand mit einer Wahrscheinlichkeit von 68,3% (1σ) nicht mehr als 8,2% vom Erwartungswert abweichen wird. Die Wahrscheinlichkeit, dass der tatsächliche Aufwand nicht mehr als 16,4% vom prognostizierten Ergebnis abweicht, liegt bei 94,5% (2σ). Die genaue Kenntnis des Abweichungsrisikos ermöglicht es dem Methodenanwender, angemessene Sicherheiten bei der Kostenveranschlagung vorzuhalten.

Durch Multiplikation der prognostizierten Zeiteinheiten mit dem im Unternehmen vorliegenden Stundenverrechnungssatz erhält man den Wert für die Produktentstehungskosten.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Die Kostenprognose für Produktentstehungsvorhaben stellt aufgrund ihrer großen Relevanz für unternehmerische Entscheidungen und aufgrund des speziellen Umfelds des Produktentstehungsprozesses eine besondere Herausforderung dar. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird eine Methode zur frühzeitigen und effizienten Vorhersage der Produktentstehungskosten vorgestellt. Ein wesentlicher Ansatz des Verfahrens besteht darin, die im Zusammenhang mit der Kostenprognose bestehenden Unsicherheiten und stochastischen Einflüsse bei der Ergebnisermittlung zu berücksichtigen. Die Kenntnis des Abweichungsrisikos hilft dem Methodenanwender bei der Auslegung und Interpretation des Prognoseergebnisses.

Die eingehende Untersuchung und Bewertung des in der Fachliteratur veröffentlichten technischen Stands hat ergeben, dass die Gruppe der multivariaten parametrischen Kostenermittlungsverfahren die besten Grundvoraussetzungen für eine Weiterentwicklung der Methodik besitzt. Gleichwohl zeigt sich aber auch, dass diese Verfahren im Hinblick auf den retrograden Informationsbedarf und den Aufwand, der im Zusammenhang mit der Modellerstellung anfällt, Schwachstellen besitzen. Es ist davon auszugehen, dass in den meisten Unternehmen die Menge der Datensätze aus abgeschlossenen Produktentstehungsvorhaben limitiert ist. Übersteigt der Informationsbedarf der Methode die Menge der im Unternehmen vorliegenden retrograden Kostenaufzeichnungen, kann das Verfahren nicht zur Anwendung kommen. Ferner basiert der Großteil der veröffentlichten Ansätze auf einer deterministischen Ergebnisermittlung, die die Unsicherheiten und Risiken der frühzeitigen Kostenprognose nur unzureichend widerspiegelt. Auf Grundlage der genannten Kritikpunkte sollen im Rahmen dieser Arbeit konkrete Ansätze zur Verbesserung der parametrischen Kostenermittlungsverfahren entwickelt werden.

Für ein tiefergehendes Verständnis der parametrischen Kostenmodellbildung werden die entscheidenden Zusammenhänge und Ausprägungen der abhängigen und unabhängigen Modellvariablen näher erläutert. Weiterhin werden die wesentlichen, für die Abbildung multivariater Modellzusammenhänge geeigneten, strukturprüfenden Analyseverfahren vorgestellt. Neben der Beschreibung der jeweiligen Anwendungsmöglichkeiten und Restriktionen liegt das besondere Augenmerk auf den Schätzfunktionen und Lösungsansätzen der Verfahren. Beide Kriterien haben maßgeblichen Einfluss auf den in Verbindung mit der Auswertung erforderlichen Bedarf an retrograden Kosteninformationen.

Der Prozess der parametrischen Kostenmodellbildung wird anhand einer vierstufigen Vorgehensweise systematisch und detailliert beschrieben. Die Grundlage bildet die **Strukturierung** des Projektes in einzelne Kostensegmente. Diese, auch als `Bottom-up`-Ansatz bezeichnete Vorgehensweise ermöglicht eine bessere Anpassungsfähigkeit des Kostenmodells an die vorliegenden Gegebenheiten. Für jedes Projektsegment werden die Kosten separat ermittelt. Bei der Aggregation der Segmentkosten zu den Pro-

jektgesamtkosten heben sich die potentiellen Abweichungsfehler der einzelnen Segmente stellenweise gegeneinander auf. Insofern lässt sich durch die Kostenstrukturierung die Vorhersagegenauigkeit des Modells vergrößern. Im Rahmen der **hypothetischen Modellbildung** wird für jedes Projektsegment eine Hypothese über die relevanten Modellvariablen und deren Wirkzusammenhänge aufgestellt. Hierzu muss *a priori* eine Festlegung der für das jeweilige Entwicklungsvorhaben spezifischen Einflussfaktoren erfolgen. Um eine systematische und fundierte Vorgehensweise bei der Festlegung zu gewährleisten, wurde ein Auswahlkatalog erstellt, der die Einflussfaktoren entsprechend ihrer Kausalität in produkt-, produktions- und projektspezifische Kriterien unterteilt. Zudem hilft ein Fragenkatalog bei der Auswahl der relevanten Einflussgrößen. Mit jeder Einflussgröße, die in das Kostenmodell aufgenommen wird, steigt die Anpassungsfähigkeit des Modells, aber auch der für die statistische Auswertung erforderliche Bedarf an retrograden Projektinformationen. Um diesem Zielkonflikt entgegenzuwirken, lassen sich mehrere Einflussgrößen zu repräsentativen **Multivariablen** zusammenfassen.

Mit Hilfe des **Erklärungsmodells** wird versucht, die zuvor aufgestellte Hypothese über die Wirkzusammenhänge der Kostenentstehung empirisch zu belegen. Hierfür wird eine zuvor definierte Grundgesamtheit retrograder Kostenaufzeichnungen mittels strukturprüfender statistischer Verfahren untersucht. Aus dem Ergebnis der Analyse resultiert im Regelfall ein Gleichungssystem, das die Modellvariablen und deren mathematische Abhängigkeiten formal wiedergibt. Durch die gezielte Auswahl des Analyseverfahrens und durch die Verwendung von repräsentativen Multivariablen lässt sich der Bedarf an retrograden Kosteninformationen auf ein Minimum begrenzen.

Werden die Kostengleichungen des Erklärungsmodells zur Vorhersage zukünftiger Entwicklungen angewandt, spricht man von einem **Prognosemodell**. Durch Einsetzen der anterograden Werte der Projekteinflussgrößen lassen sich die Kosten für ein potentielles Produktentstehungsvorhaben berechnen. Die Kostenprognose unterliegt gewissen Abweichungsrisiken, die aus der Standardabweichung des Kostenmodells (Modellunsicherheit) und/oder aus dem Informationsdefizit in frühen Phasen der Produktentstehung (anterograde Unsicherheit) resultieren. Die Auswirkung der Unsicherheit auf die Kostenprognose wird mit Hilfe der Monte-Carlo-Methode simuliert. Die Ergebnisausgabe erfolgt anhand einer Verteilungsfunktion, die Auskunft über den Erwartungswert, die Ergebnisgrenzen und die Standardabweichung der Produktentstehungskosten gibt.

Anhand eines durchgängigen Fallbeispiels wird die praktische Anwendung der Methode über alle Stufen der Modellbildung hinweg erläutert und validiert. Die Durchführung des Fallbeispiels verdeutlicht, dass sich mit Hilfe weniger signifikanter Modellvariablen eine im Vergleich zu anderen Verfahren genaue Ergebnisermittlung durchführen lässt.

Da die Kostenermittlung auf Grundlage mathematischer Gleichungen erfolgt, besteht nur geringe Gefahr, dass das Ergebnis durch den Methodenanwender subjektiv beeinflusst wird. Neben der hohen **Ergebnisqualität** der Methode ist auch der große **Infor-**

mationsgehalt der Kostenprognose als positiv zu erwähnen. Die Darstellung des Abweichungsrisikos mit Hilfe einer stochastischen Kostenverteilungsfunktion liefert dem Methodenanwender wertvolle Informationen über die im Zusammenhang mit der Kostenermittlung bestehende Unsicherheit. Aufgrund der systematischen und strukturierten Vorgehensweise ist der Prozess der Kostenermittlung transparent und für alle beteiligten Personen nachvollziehbar.

Auch in Bezug auf den **Durchführungsaufwand** besitzt die Methode entscheidende Vorteile. Wie die Analyse des Stands der Technik gezeigt hat, ist für parametrische Kostenermittlungsverfahren ein im Vergleich zu anderen Verfahren durchschnittlicher Einsatz personeller und materieller Ressourcen erforderlich. Der wesentliche Aufwand entsteht einmalig bei der Erstellung des Kostenmodells. Die in dieser Arbeit vorgestellte schrittweise Vorgehensweise sowie die Auswahlkataloge und Checklisten für die Festlegung der signifikanten Kosteneinflussgrößen helfen dabei, den Aufwand für die Erstellung des Kostenmodells so gering wie möglich zu halten.

Eine Schwachstelle der parametrischen Kostenermittlungsverfahren besteht in ihrem großen Bedarf an retrograden Informationen. Durch die Bündelung mehrerer Kosteneinflussgrößen zu repräsentativen Multivariablen und durch die gezielte Auswahl strukturprüfender statistischer Analyseverfahren ist es gelungen, den **Informationsbedarf** auf das Nötigste zu reduzieren. Aufgrund dieser Maßnahmen lässt sich das Verfahren auch in Unternehmen anwenden, in denen nur wenige¹ Kosteninformationen vergleichbarer Produktentstehungsprojekte vorliegen.

Die in dieser Arbeit beschriebene Methode sieht eine Strukturierung der Produktentstehungskosten in einzelne Projektsegmente vor. Für jedes Segment werden spezifische Kosteneinflussgrößen ermittelt. Durch gezielte Segmentierung und Auswahl geeigneter Einflussfaktoren lässt sich die Methode gut an die Besonderheiten der im Produktentstehungsprozess involvierten Fachdomänen² anpassen. Diese Anpassungsfähigkeit verschafft der Methode ein breites **Anwendungsspektrum**. Da für jeden Anwendungsfall ein spezifisches Kostenmodell erstellt wird, ist das Verfahren auch auf andere Entwicklungsgegenstände, Industriezweige und Unternehmen übertragbar.

Im Falle von Änderungen des Entwicklungsgegenstandes kann mit Hilfe des parametrischen Kostenmodells kurzfristig und mit geringem Aufwand eine Neubewertung der Produktentstehungskosten vorgenommen werden. Die **Flexibilität** der Methode, sich an ändernde Randbedingungen anpassen zu können, ist ein weiterer wesentlicher Vorteil,

¹ Eine Regressionsanalyse sollte sich immer auf eine Grundgesamtheit von mindestens 7- 10 Datensätzen stützen [HLM96], [Hal73].

² Bei mechatronischen Systemen sind für gewöhnlich die Fachdomänen Mechanik, Elektronik, Regelungstechnik sowie Softwaretechnik in den Produktentstehungsprozess eingebunden (siehe Bild 2-1 *Drei-Zyklen-Modell* der Produktentstehung nach GAUSEMEIER).

der der Unsicherheit und dem iterativen Vorgehen bei Produktentstehungsprozessen zugute kommt.

Abschließend lässt sich sagen, dass die in dieser Arbeit beschriebene Methode den an sie gestellten spezifischen Anforderungen hinreichend gerecht wird und sie somit ein wichtiges Hilfsmittel für die Geschäftsplanung von Produktentstehungsvorhaben darstellt.

Abkürzungsverzeichnis

bzw.	beziehungsweise
CAD	Computer Aided Design
Cov	Kovarianz
E	Erwartungswert
EKK	Entwicklungs- und Konstruktionseinzelkosten
et al.	et alia (und andere)
ERP	Enterprise Resource Planning
FMEA	Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse
H_0	Nullhypothese
i.d.R.	in der Regel
KDSI	Kilo Delivered Source Instructions
k€	Kilo-Euro (1.000 Euro)
MLP	Multilayer Perceptron
N	Größe der Grundgesamtheit
NN	Neuronale Netze
p	Überschreitungswahrscheinlichkeit
R^2	Bestimmtheitsmaß
SOE	Start of Engineering
SOP	Start of Production
Var	Varianz
z.B.	zum Beispiel
Ze	Zeiteinheiten
σ	Standardabweichung

Literaturverzeichnis

Publikationen

- [AB92] AGGTELEYK, B.; BAJNA, N.: Projektplanung – Ein Handbuch für Führungskräfte. Carl Hanser Verlag, München, 1992
- [AKK09] ALBERS, S.; KLAPPER, D.; KONRADT, U.: Methodik der empirischen Forschung. 3. Auflage, GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, 2009
- [Alt02] ALT, W.: Nichtlineare Optimierung – Eine Einführung in Theorie, Verfahren und Anwendungen. Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft, Braunschweig, 2002
- [AMN+96] ADLER, P.-S.; MANDELBAUM, A.; NGUYEN, V.; SCHWERER, E.: Getting the Most out of Your Product Development Process. Harvard Business Review, Boston, 1996
- [And96] ANDERS, U.: Neuronale Netze in der Ökonometrie – Die Entmythologisierung ihrer Anwendungen. Discussion Paper No. 95-26, Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung (ZEW), 1996
- [AW91] AIKEN, L. S.; WEST, S. G.: Multiple Regression – Testing and Interpreting Interactions. SAGE publications, London, 1991
- [BAB00] BOEHM, B. W.; ABTS, C.; BROWN, A. W.: Software Cost Estimation with COCOMO II. Prentice Hall International, Upper Saddle River, New Jersey, 2000
- [Bau82] BAUMANN, G.: Ein Kosteninformationssystem für die Gestaltungsphase im Betriebsmittelbau. Dissertation, Technische Universität München, 1982
- [BEP+11] BACKHAUS, K.; ERICHSON, B.; PLINKE, W.; WEIBER, W.: Multivariate Analysemethoden. 13. Auflage, Springer-Verlag, Berlin, 2011
- [Beu07] BEUCHER, O.: Wahrscheinlichkeitsrechnung und Statistik mit MATLAB – Anwendungsorientierte Einführung für Ingenieure und Naturwissenschaftler. 2. Auflage, Springer-Verlag, Berlin, 2007
- [BEW11] BACKHAUS, K.; ERICHSON, B.; WEIBER, W.: Fortgeschrittene Multivariate Analysemethoden. Springer-Verlag, Berlin, 2011
- [BF68] BERBIG, R.; FRANKE, F.: Netzplantechnik. Verlag für Bauwesen, Berlin, 1968
- [BG08] BERGMANN, R.; GARRECHT, M.: Organisation und Projektmanagement. Physika-Verlag, Heidelberg, 2008
- [BL98] BLOBEL, V.; LOHRMANN, E.: Statistische und numerische Methoden der Datenanalyse. Teubner Verlag, Stuttgart, 1998
- [Bra91] BRAUSE, R.: Neuronale Netze – Eine Einführung in die Neuroinformatik. B. G. Teubner, Stuttgart, 1991

- [Brn08] BRONNER, A.: Angebots- und Projektkalkulation. 3. Auflage, Springer-Verlag, Berlin, 2008
- [Bro77] BROCKHOFF, K.: Prognoseverfahren für die Unternehmensplanung. 1. Auflage, Gabler, Wiesbaden, 1977
- [Bro94] BROCKHOFF, K.: Forschung und Entwicklung: Planung und Kontrolle. 4. Auflage, Oldenbourg Verlag, München, 1994
- [BSH08] BEA, F. X.; SCHEURER, S.; HESSELMANN, S.: Projektmanagement. Lucius & Lucius Verlagsgesellschaft mbH, Stuttgart, 2008
- [Bur08] BURGHARDT, M.: Projektmanagement – Leitfaden für die Planung, Überwachung und Steuerung von Projekten. Publics Corporate Publishing, Erlangen, 2008
- [BV08] BANKHOFER, U.; VOGEL, J.: Datenanalyse und Statistik. GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, 2008
- [CCG08] CORSTEN, H.; CORSTEN, H.; GÖSSINGER, R.: Projektmanagement – Einführung. Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, München, 2008
- [Che09] CHEMUTURI, M.: Software Estimation – Best Practices, Tools & Techniques. J. Ross Publishing, Fort Lauderdale, 2009
- [Cle11] CLEFF, T.: Deskriptive Statistik und moderne Datenanalyse. Gabler Verlag, Springer Fachmedien GmbH, Wiesbaden, 2011
- [Cro10] CRONE, S. F.: Neuronale Netze zur Prognose in Disposition und Handel. Dissertation, Universität Hamburg, Gabler Verlag, Wiesbaden, 2010
- [Deb06] DEBITZ, U.: Entwicklung von Kompetenz und Innovationsfähigkeit in Unternehmen. Aufsatz: Kompetenzabhängige Personal- und Prozessplanung, Technische Universität Dresden, Saxoprint, Dresden, 2006
- [DeM04] DEMARCO, T.: Was man nicht messen kann, kann man nicht kontrollieren. mitp-Verlag, Bonn, 2004
- [DGP10] DAUM, A.; GREIFE, W.; PRZYWARA, R.: BWL für Ingenieure und Ingenieurinnen. GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, 2010
- [DH10] DREWS, G.; HILLEBRAND, N.: Lexikon der Projektmanagement-Methoden. 2. Auflage, Haufe-Lexware GmbH und Co. KG, Freiburg, 2010
- [Die66] DIENEMANN, P. F.: Estimating Cost Uncertainty Using Monte Carlo Techniques. United States Air Force, Rand Corporation, Santa Monica, 1966
- [DOD62] DEPARTMENT OF DEFENCE U.S.A.: DOD and NASA Guide – PERT COST. Washington, 1962

- [DOD95] DEPARTMENT OF DEFENCE U.S.A.: Parametric Cost Estimating Handbook. Chapter 5 „Software Parametric Cost Estimating“, Arlington Virginia, 1995
- [Eit96] EITRICH, O.: Prozeßorientiertes Kostenmodell für die entwicklungsbegleitende Vorkalkulation. Dissertation, Universität Karlsruhe, Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebstechnik, Karlsruhe, 1996
- [EKL05] ERENSPIEL, K.; KIEWERT, A.; LINDEMANN, U.: Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren. 5. Auflage, Springer-Verlag, Berlin, 2005
- [End00] ENDEBROCK, K.: Ein Kosteninformationsmodell für die frühzeitige Kostenbeurteilung in der Produktentwicklung. Dissertation, Ruhr-Universität Bochum, Shaker Verlag, Aachen, 2000
- [Erg06] ERGENZINGER, A.: Projektkostenrechnung unter Berücksichtigung von Lerneffekten. Dissertation, Universität Hamburg, Verlag Dr. Kovač, Hamburg, 2006
- [Erl72] ERLÉN, H.: Kostenprognose für F&E-Projekte. Dissertation, Universität Berlin, Oldenbourg Verlag, München, 1972
- [ES08] EBSTER, C.; STALZER, C.: Wissenschaftliches Arbeiten für Wirtschafts- und Sozialwissenschaftler. Facultas Verlags- und Buchhandels AG, Wien, 2008
- [EW03] EISENFÜHR, F.; WEBER, M.: Rationales Entscheiden. Springer-Verlag, Berlin, 2003
- [EwWa08] EWERT, R.; WAGENHOFER, A.: Interne Unternehmensrechnung. Springer-Verlag, Berlin, 2008
- [Fer85] FERSCHEL, F.: Deskriptive Statistik. 3. Auflage, Physika-Verlag, Würzburg, 1985
- [FFH+04] FANDEL, G.; FEY, A.; HEUFT, B.; PITZ, T.: Kostenrechnung. Springer-Verlag, Berlin, 2004
- [FH09] FISCHER, J.; HOLBACH, G.: Unsicherheiten bei der Kostenprognose. Zeitungsaufsatz, Schiff & Hafen, Ausgabe Nr. 12, DVV Media Group, Hamburg, 2009
- [FHJ+95] FISCHER, J.; HAUSCHULTE, K.; JAKUSCHONA, K.; KOCH, R.: Regelbasierte Angebotskalkulation auf Prozeßkostenbasis. XPS-95, 3. Deutsche Expertensystemtagung, Kaiserslautern, 1995
- [FHK+95] FLATON, K. A.; GEHLEN, S.; HORMEL, M.; KONEN, W.; KOPECZ, J.: Neuronale Netze: Grundlagen und Anwendungen. In: ZIMMERMANN, H. J. (Hrsg.): Neuro + Fuzzy - Technologien - Anwendungen. VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf, 1995
- [Fie08] FIEDLER, R.: Controlling von Projekten. 4. Auflage, Friedrich Vieweg & Sohn Verlag, GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, 2008
- [Fis08] FISCHER, J. O.: Kostenbewusstes Konstruieren – Praxisbewährte Methoden und Informationssysteme für den Konstruktionsprozess. Springer-Verlag, Berlin, 2008

- [FKH+94] FISCHER, J.; KOCH, R.; HAUSCHULTE, K.; JAKUSCHONA, K.; SCHMIDT-FABER, B.; SZU, K. I.: An Object-Oriented Approach for Activity-Based Cost Estimation in the Engineering Process. Tanik, M. M; Ertas, A.; Esat I. I. (Hrsg.) Engineering System Design and Analysis Conference, London, 1994
- [FKL09] FAHRMEIR, L.; KNEIB, T.; LANG, S.: Regression – Modelle, Methoden und Anwendungen. 2. Auflage, Springer-Verlag, Berlin, 2009
- [FSB08] FISCHER, J.; SPIEKERMANN, M.; BRANDT, C.: Grundlagen von Projektmanagementsystemen. Innovative Publication, Paderborn, 2008
- [Gas05] GASSMANN, O.: Praxiswissen Projektmanagement. Carl Hanser Verlag, München, 2005
- [GB05] GESCHEL, U.; BECKER, C.: Schließende Statistik - Grundlegende Methoden. Springer-Verlag, Berlin, 2005
- [Geh08] GEHLE, M.: Internationales Wissensmanagement. 1. Auflage, Deutscher Universitäts-Verlag/GWV/Fachverlage, Wiesbaden, 2008
- [GEK01] GAUSEMEIER, J.; EBBESMEIER, P.; KALLMEYER, F.: Produktinnovation – Strategische Planung und Entwicklung der Produkte von morgen. Carl Hanser Verlag, München, 2001
- [GHK+06] GAUSEMEIER, J.; HAHN, A.; KESPOHL, H. D.; SEIFERT, L.: Vernetzte Produktentwicklung - Der erfolgreiche Weg zum Global Engineering Networking. Carl Hanser Verlag, München, 2006
- [GHS05] GINEVIČIUS, R.; HAUSMANN, T.; SCHAFIR, S.: Projektmanagement – Einführung. Deutscher Betriebswirte-Verlag, Gernsbach, 2005
- [GL00] GAUSEMEIER, J.; LÜCKEL, J.: Entwicklungsumgebungen Mechatronik – Methoden und Werkzeuge zur Entwicklung mechatronischer Systeme. Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn, 2000
- [GLL12] GAUSEMEIER, J.; LANZA, G.; LINDEMANN, U.: Produkte und Produktionssysteme integrativ konzipieren – Modellbildung und Analyse in der frühen Phase der Produktentstehung. Carl Hanser Verlag, München, 2012
- [Gru97] GRUBER, J.: Ökonometrie, Band 1 – Einführung in die multiple Regression und Ökonometrie. Verlag Vahlen GmbH, München, 1997
- [Hal73] HALLER-WEDEL, E.: Die Einflussgrößenrechnung in Theorie und Praxis. Carl Hanser Verlag, München, 1973
- [HE07] HARTUNG, J.; ELPELT, B.: Multivariate Statistik. Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, München, 2007

- [Hen01] HENRICH, A.: Management von Softwareprojekten – Investitionsentscheidung und Aufwandsschätzung. Kurseinheit 3, Fernuniversität Hagen, Fachbereich Informatik, 2001
- [HLM96] HARRELL, F. E.; LEE, K. L.; MARK, D. B: Multivariable prognostic models: issues in developing models, evaluating, assumptions and adequacy, and measuring and reducing errors. Stat Med, Durham (USA), 1996
- [Hol99] HOLLAX, M.: Prozessorientierte Kostenplanung für F&E-Projekte. Dissertation Universität Mannheim, Gabler Verlag GmbH und Deutscher Universitäts-Verlag GmbH, Wiesbaden, 1999
- [Hue05] HÜRTEIN, R.: Function-Point-Analysis – Theorie und Praxis. 2. Auflage, expert Verlag, Renningen, 2005
- [Hum11] HUMMEL, O.: Aufwandsschätzungen in der Software- und Systementwicklung. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 2011
- [HV13] HERBST, P.; VILLMER, F.-J.: Cost Prediction Model for Product Realization Projects. In: PADOANO, E.; VILLMER, F.-J. (Hrsg.): Production Engineering and Management, Proceedings 3rd International Conference, Trieste, Italy, Hochschule Ostwestfalen-Lippe, Lemgo, 2013
- [Jen01] JENNY, B.: Projektmanagement in der Wirtschaftsinformatik. 5. Auflage, vdf Hochschulverlag AG ETH Zürich, 2001
- [Kae08] KÄNEL, S. von: Kostenrechnung und Controlling – Grundlagen, Anwendungen, Excel-Tools. Haupt Verlag, Bern, 2008
- [Kah01] KAHLE, E.: Betriebliche Entscheidungen. 6. Auflage, Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, München, 2001
- [Kal11] KÄHLER, W. M.: Statistische Datenanalyse. Vieweg + Teubner Verlag, Springer Fachmedien GmbH, Wiesbaden, 2011
- [KBG+73] KIRSCH, W.; BAMBERGER, I.; GABELE, E.; KLEIN, H. K.: Betriebswirtschaftliche Logistik. Gabler-Verlag, Wiesbaden, 1973
- [Ker08] KERZNER, H.: Projekt Management – Ein systemorientierter Ansatz zur Planung und Steuerung. Redline GmbH, Heidelberg, 2008
- [KHL+06] KUSTER, J.; HUBER, E.; LIPPMANN, R.; SCHMID, A.; SCHNEIDER, E.; WITSCHI, U.: Handbuch Projektmanagement. Springer-Verlag, Berlin, 2006
- [Kla85] KLASMEIER, U.: Kurzkalkulationsverfahren zur Kostenermittlung beim methodischen Konstruieren. Dissertation, Technische Universität Berlin, Institut für Maschinenkonstruktion, Berlin, 1985
- [Krc05] KRCMAR, H.: Informationsmanagement. 4. Auflage, Springer-Verlag, 2005

- [Lit93] LITKE, H.-D.: Projektmanagement – Methoden, Techniken, Verhaltensweisen. 2. Auflage, Carl Hanser Verlag, München, 1993
- [Lit05] LITKE, H.-D.: Projektmanagement – Handbuch für die Praxis. Carl Hanser Verlag, München, 2005
- [Loc97] LOCK, D.: Projektmanagement. Wirtschaftsverlag Carl Ueberreuter, Wien, 1997
- [LOS+08] LEYH, J.; OHLHAUSEN, P.; SPATH, D.; WARSCHAT, J.: Projektmanagement. In: CZICHOS, S, H.; HENNECKE, M. (Hrsg.): Hütte – Das Ingenieurwissen. 33. Auflage, Springer-Verlag, Berlin, 2008
- [Mac11] MACHA, R.: Grundlagen der Kosten- und Leistungsrechnung. Verlag Franz Vahlen GmbH, München, 2011
- [May08] MAYER, H. O.: Interview und schriftliche Befragung. Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, München, 2008
- [Mel58] MELLEROWICZ, K.: Forschungs- und Entwicklungstätigkeit als betriebswirtschaftliches Problem. Haufe Verlag, Freiburg, 1958
- [MH10] MEIXNER, O.; HAAS, R.: Wissensmanagement und Entscheidungstheorie. Facultas Verlags- und Buchhandels AG, Wien, 2010
- [Mor94] MORRIS, P., W.: The Management of Projects. Thomas Telford Services Ltd., London, 1994
- [MS77] MEFFERT, H.; STEFFENHAGEN, H.: Marketing-Prognosemodelle: quantitative Grundlagen des Marketing. Poeschel, Stuttgart, 1977
- [NB96] NEUMANN, R.; BREDEMEIER, K.: Projektmanagement von A-Z. Campus Verlag GmbH, Frankfurt am Main, 1996
- [NK86] NOTH, T.; KRETZSCHMAR, M.: Aufwandsschätzung von DV-Projekten – Darstellung und Praxisvergleich der wichtigsten Verfahren. Springer-Verlag, Berlin, 1986
- [NKK96] NAUCK, D.; KLAWONN, F.; KRUSE, R.: Neuronale Netze und Fuzzy-Systeme. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig, 1996
- [Oss08] OSSADNIK, W.: Kosten- und Leistungsrechnung. Springer-Verlag, Berlin, 2008
- [PB07] PAHL, G.; BEITZ, W.: Konstruktionslehre. 7. Auflage, Springer-Verlag, Berlin, 2007
- [Pic88] PICKEL, H.: Kostenmodelle als Hilfsmittel zum Kostengünstigen Konstruieren. Dissertation, Technische Universität München, Carl Hanser Verlag, München, 1988
- [PR09] PFETZING, K.; ROHDE, A.: Ganzheitliches Projektmanagement. Band 2, Verlag Dr. Götz Schmidt, Gießen, 2009
- [RA00] RIEDWEYL, H.; AMBÜHL, M.: Statistische Auswertungen mit Regressionsprogrammen. Oldenbourg Verlag, München, 2000

- [Rau00] RAUPACH, H.-C.: Simulation von Produktentwicklungsprozessen. Dissertation, Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb, Technische Universität Berlin, 2000
- [Red06] REDENIUS, A.: Verfahren zur Planung von Entwicklungsprozessen für fortgeschrittene mechatronische Systeme. Dissertation, Universität Paderborn, Heinz Nixdorf Institut, HNI-Verlagsschriftenreihe, Paderborn, 2006
- [Ros09] ROSENSTEINER, S.: Cost Estimation in Software Product Line Engineering. Diplomatica Verlag GmbH, Hamburg, 2009
- [RSS89] RESCHKE, H.; SCHELLE, H.; SCHNOPP, R.: Handbuch Projektmanagement. Band 1, VDI Verlag Betriebswirtschaft, Köln, 1998
- [RW11] REY, G. D.; WENDER, K. F.: Neuronale Netze – Eine Einführung in die Grundlagen, Anwendungen und Datenauswertung. 2. Auflage, Verlag Hans Huber, Bern, 2011
- [Sac04] SACHS, L.: Angewandte Statistik. 11. Auflage, Springer-Verlag, Berlin, 2004
- [SB96] SPECHT, G.; BECKMANN, C.: F&E Management. Schäffer-Poeschel Verlag, Stuttgart, 1996
- [Sche05] SCHULZE, H.: Vergleich von künstlichen Neuronalen Netzen und multivariaten statistischen Verfahren in der Primärforschung – Ein empirischer Vergleich. Masterarbeit, Georg-August-Universität Göttingen, 2005
- [Schh05] SCHUH, G.: Produktkomplexität managen. 2. Auflage, Carl Hanser Verlag, München, 2005
- [Schi91] SCHIMANK, C.: Prozeßkostenmanagement in der Forschung und Entwicklung. IFUA Horváth & Partner, München, 1991
- [Schm99] SCHMIDT, G.: Informations-Management - Methoden, Modelle, Techniken. 2. Auflage, Springer-Verlag, Berlin, 1999
- [Scho09] SCHOLL, A.: Die Befragung. 2. Auflage, UVK Verlagsgesellschaft mbH, Konstanz, 2009
- [Schu95] SCHULTZ, V.: Projektkostenschätzung – Kostenermittlung in frühen Phasen von technischen Auftragsprojekten. Dissertation, Technische Hochschule Darmstadt, Gabler Verlag GmbH, Wiesbaden, 1995
- [Schw94] SCHWARZE, J.: Netzplantechnik – Eine Einführung in das Projektmanagement. 7. Auflage, Verlag Neue Wirtschafts-Briefe GmbH, Berlin, 1994
- [Schz07] SCHULZE, P. M.: Beschreibende Statistik. Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, München, 2007
- [SH06] SACHS, L.; HEDDERICH, J.: Angewandte Statistik – Methodensammlung mit R. 12. Auflage, Springer-Verlag, Berlin, 2006

- [SK05] SCHÄPPI, B.; KIRCHGEORG, M.: Handbuch Produktentwicklung. Carl Hanser Verlag, München, 2005
- [SL02] SCHIERENBECK, H.; LIST, M.: Value Controlling: Grundlagen wertorientierter Unternehmensführung. Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, München, 2002
- [Smi95] SMITH, N. J.: Project Cost Estimating. Thomas Telford, London, 1995
- [Sne05] SNEED, H. M.: Software Projektkalkulation – Praxiserprobte Methoden zur Aufwandschätzung für verschiedene Projektarten. Carl Hanser Verlag, München, 2005
- [Ste10] STELAND, A.: Basiswissen Statistik – Kompaktkurs für Anwender aus Wirtschaft, Informatik und Technik. 2. Auflage, Springer-Verlag, Berlin, 2010
- [Stel09] STELLING, N.: Kostenmanagement und Controlling. 3. Auflage, Oldenbourg Wissenschaftsverlag, München, 2009
- [Sti01] STICKEL, E.: Informationsmanagement. Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, München, 2001
- [Sto07] STORM, R.: Wahrscheinlichkeitsrechnung, mathematische Statistik und statistische Qualitätskontrolle. Carl Hanser Verlag, München, 2007
- [Str99] STIER, W.: Empirische Forschungsmethoden. 2. Auflage, Springer-Verlag, Berlin, 1999
- [StSe95] STIEGWART, H; SENTI, R.: Product Life Cycle Management – Die Gestaltung eines integrierten Produktlebenszyklus. Schäffer-Poeschel Verlag, Stuttgart, 1995
- [Stu83] STUDT, J.: Projektkostenrechnung. Dissertation, Universität Hamburg, Verlag Harri Deutsch, Frankfurt am Main, 1983
- [TH08] TOUTENBURG, H.; HEUMANN, C.: Deskriptive Statistik. Springer-Verlag, Berlin, 2008
- [Tho07] THOMMEN, J.-P.: Betriebswirtschaftslehre. 7. Auflage, Versus Verlag AG, Zürich, 2007
- [TNS11] THOMAS, J. R.; NELSON, J. K.; SILVERMAN, S. J.: Research Methods in Physical Activity. Human Kinetics, Champaign IL (USA), 2011
- [UM08] URBAN, D.; MAYERL, J.: Regressionsanalyse – Theorie, Technik und Anwendung. GWV Fachverlags GmbH, Wiesbaden 2008
- [War93] WARNECKE, H.-J.: Der Produktionsbetrieb – Organisation, Produkt, Planung. Band 1, 2. Auflage, Springer-Verlag, Berlin, 1993
- [WB10] WOLF, C.; BEST, H.: Handbuch der sozialwissenschaftlichen Datenanalyse. VS Verlag für Sozialwissenschaften, Springer Fachmedien GmbH, Wiesbaden, 2010
- [Wil99] WILDEMANN, H.: Kostenprognose für Großprojekte. Schäffer-Poeschel Verlag, Stuttgart, 1999

- [WK11] WÖHE, G.; KUBMAUL, H.: Grundzüge der Buchführung und Bilanztechnik, Verlag Franz Vahlen GmbH, München, 2011
- [Wur90] WURL, H.-J.: Betriebliche Liquiditätskontrolle als Informationssystem. Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen, 1990

Normen und Richtlinien

- [DIN276-1] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMEN e.V.: DIN 276-1 „Kosten im Bauwesen - Teil 1: Hochbau“. Beuth Verlag, Berlin, 2008
- [DIN69901-1] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMEN e.V.: DIN 69901-1 „Projektmanagement – Projektmanagementsysteme, Teil 1: Grundlagen“. Beuth Verlag, Berlin, 2009
- [DIN69901-2] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMEN e.V.: DIN 69901-2 „Projektmanagement – Projektmanagementsysteme, Teil 2: Prozesse, Prozessmodell“. Beuth Verlag, Berlin, 2009
- [DIN69901-5] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMEN e.V.: DIN 69901-5 „Projektmanagement – Projektmanagementsysteme, Teil 5: Begriffe“. Beuth Verlag, Berlin, 2009
- [DIN69903] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMEN e.V.: DIN 69903 „Projektwirtschaft, Kosten und Leistung, Finanzmittel, Begriffe“. Beuth Verlag, Berlin, 1987
- [VDI2206] VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE: VDI 2206 „Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme“. Beuth Verlag, Berlin, 2004
- [VDI2234] VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE: VDI 2234 „Wirtschaftliche Grundlagen für den Konstrukteur“. Beuth Verlag, Berlin, 1990
- [VDI2225-1] VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE: VDI 2225 Blatt 1 „Technisch-wirtschaftliches Konstruieren – Vereinfachte Kostenermittlung“. Beuth Verlag, Berlin, 1997
- [VDI2225-2] VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE: VDI 2225 Blatt 2 „Technisch-wirtschaftliches Konstruieren – Tabellenwerk“. Beuth Verlag, Berlin, 1998
- [VDI2235] VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE: VDI 2235 „Wirtschaftliche Entscheidungen beim Konstruieren“. Beuth Verlag, Berlin, 1987

Anhang

Inhaltsverzeichnis	Seite
A1 Datenbasis der statistischen Auswertung des Fallbeispiels	A-137

A1 Datenbasis der statistischen Auswertung des Fallbeispiels

Die Tabelle A-1 zeigt die Rohdaten der 15 abgeschlossenen Produktentstehungsprojekte, auf denen die statistische Auswertung des Fallbeispiels beruht.

Tabelle A-1: Tabellarische Aufführung der retrograden Kostendaten des Fallbeispiels

Projekt Nr.	Ze Projekt- leitung	Ze Konstruktion	Ze Technische Planung	Ze Qualitäts- planung	Produkt- komplexität	Produktions- komplexität	Kunde A	Kunde B	Projekt- laufzeit
P1	8480	7566	2975	4477	19,00	16,40	1	0	33
P2	10640	12345	4323	6850	32,25	27,80	1	0	35
P3	9125	8209	4780	5218	22,00	21,13	1	0	35
P4	1088	1207	217	2271	8,00	5,75	1	0	35
P5	571	468	60	431	5,00	2,50	0	0	21
P6	6705	3076	4214	4504	15,50	22,88	1	0	24
P7	4859	5823	2762	3504	20,75	11,98	0	1	26
P8	2742	6922	595	1910	19,25	9,60	0	1	26
P9	11130		5660	7215	40,50	26,85	0	1	28
P10	7826	9077	3774	4437	24,25	18,60	0	1	26
P11	10970	7045	7045	4841	24,25	26,95	1	0	38
P12	3601	4206	1268	4219	14,75	11,45	0	1	29
P13	4139	2223	2391	3267	10,00	15,00	1	0	19
P14	7535			3857	20,50	21,98	0	0	33
P15	5434	4512	1266	2944	18,25	14,90	0	0	13

Bände der HNI-Verlagsschriftenreihe

- Bd. 1 FAHRWINKEL, U.: Methoden zur Modellierung und Analyse von Geschäftsprozessen zur Unterstützung des Business Process Reengineering. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 1, Paderborn, 1995 – ISBN 3-931466-00-0
- Bd. 2 HORNBOSTEL, D.: Methode zur Modellierung der Informationsverarbeitung in Industrieunternehmen. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 2, Paderborn, 1995 – ISBN 3-931466-01-9
- Bd. 3 STEMANN, V.: Contention Resolution in Hashing Based Shared Memory Simulations. Dissertation, Fachbereich für Informatik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 3, Paderborn, 1995 – ISBN 3-931466-02-7
- Bd. 4 KETTERER, N.: Beschreibung von Datenaustausch eines verteilten Fertigungssteuerungssystems. Dissertation, Fachbereich für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 4, Paderborn, 1995 – ISBN 3-931466-03-5
- Bd. 5 HARTMANN, T.: Spezifikation und Klassifikation von Methoden zur Definition hierarchischer Abläufe. Dissertation, Fachbereich für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 5, Paderborn, 1995 – ISBN 3-931466-04-3
- Bd. 6 WACHSMANN, A.: Eine Bibliothek von Basisdiensten für Parallelrechner: Routing, Synchronisation, gemeinsamer Speicher. Dissertation, Fachbereich für Informatik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Paderborn, Band 6, Paderborn, 1995 – ISBN 3-931466-05-1
- Bd. 7 GAUSEMEIER, J. (Hrsg.): Die Szenariotechnik – Werkzeug für den Umgang mit einer multiplen Zukunft. 1. Paderborner Szenario-Workshop, 14. November 1995, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 7, Paderborn, 1995 – ISBN 3-931466-06-X
- Bd. 8 CZUMAJ, A.: Parallel Algorithmic Techniques: PRAM Algorithms and PRAM Simulations. Dissertation, Fachbereich für Informatik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 8, Paderborn, 1995 – ISBN 3-931466-07-8
- Bd. 9 HUMPERT, A.: Methodische Anforderungsverarbeitung auf Basis eines objektorientierten Anforderungsmodells. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 9, Paderborn, 1995 – ISBN 3-931466-08-6
- Bd. 10 AMEUR, F.: Space-Bounded Learning Algorithms. Dissertation, Fachbereich für Informatik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Paderborn, Band 10, Paderborn, 1995 – ISBN 3-931466-09-4
- Bd. 11 PAUL, M.: Szenariobasiertes Konzipieren neuer Produkte des Maschinenbaus auf Grundlage möglicher zukünftiger Technologieentwicklungen. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 11, Paderborn, 1996 – ISBN 3-931466-10-8
- Bd. 12 HOLL, F.: Ordnungsmäßigkeit von Informations- und Kommunikationssystemen. Dissertation, Fachbereich für Informatik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Paderborn, Band 12, Paderborn, 1996 – ISBN 3-931466-11-6
- Bd. 13 GAUSEMEIER, J. (Hrsg.): First European Workshop on Global Engineering Networking - organized by GLENNet e.V., HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 13, Paderborn, 1996 – ISBN 3-931466-12-4
- Bd. 14 PETRI, K.: Vergleichende Untersuchung von Berechnungsmodellen zur Simulation der Dynamik von Fahrleitung-Stromabnehmer-Systemen. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 14, Paderborn, 1996 – ISBN 3-931466-13-2
- Bd. 15 LESCHKA, S.: Fallbasiertes Störungsmanagement in flexiblen Fertigungssystemen. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 15, Paderborn, 1996 – ISBN 3-931466-14-0
- Bd. 16 SCHNEIDER, U.: Ein formales Modell und eine Klassifikation für die Fertigungssteuerung - Ein Beitrag zur Systematisierung der Fertigungssteuerung. Dissertation, Fachbereich für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 16, Paderborn, 1996 – ISBN 3-931466-15-9

Bezugsadresse:
Heinz Nixdorf Institut
Universität Paderborn
Fürstenallee 11
33102 Paderborn

Bände der HNI-Verlagsschriftenreihe

- Bd. 17 FELSER, W.: Eine Methode zur Erstellung von Fertigungssteuerungsverfahren aus Bausteinen. Dissertation, Fachbereich für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 17, Paderborn, 1996 – ISBN 3-931466-16-7
- Bd. 18 GAUSEMEIER, J.; ALEXANDER FINK, A.: Neue Wege zur Produktentwicklung – Erfolgspotentiale der Zukunft. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 18, Paderborn, 1996 – ISBN 3-931466-17-5
- Bd. 19 DANGELMAIER, W.; GAUSEMEIER, J.: Fortgeschrittene Informationstechnologie in der Produktentwicklung und Fertigung. 2. Internationales Heinz Nixdorf Symposium, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 19, Paderborn, 1996 – ISBN 3-931466-18-3
- Bd. 20 HÜLLERMEIER, E.: Reasoning about Systems based on Incomplete and Uncertain Models. Dissertation, Fachbereich für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 20, Paderborn, 1997 – ISBN 3-931466-19-1
- Bd. 21 GAUSEMEIER, J.: International Symposium on Global Engineering Network - Antwerp, Belgium, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 21, Paderborn, 1997 – ISBN 3-931466-20-5
- Bd. 22 BURGER, A.: Methode zum Nachweis der Wirtschaftlichkeit von Investitionen in die Rechnerintegrierte Produktion. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 22, Paderborn, 1997 – ISBN 3-931466-21-3
- Bd. 23 GAUSEMEIER, J.: Entwicklung und Transfer von Entwicklungssystemen der Mechatronik - Paderborner Workshop TransMechatronik. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 23, Paderborn, 1997 – ISBN 3-931466-22-1
- Bd. 24 GERDES, K.-H.: Architekturkonzeption für Fertigungsleitsysteme der flexiblen automatischen Fertigung. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 24, Paderborn, 1997 – ISBN 3-931466-23-X
- Bd. 25 EBBESMEYER, P.: Dynamische Texturwände - Ein Verfahren zur echtzeitorientierten Bildgenerierung für Virtuelle Umgebungen technischer Objekte. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 25, Paderborn, 1997 – ISBN 3-931466-24-8
- Bd. 26 FRANK, G.: Ein digitales Hardwaresystem zur echtzeitfähigen Simulation biologienaher neuronaler Netze. Dissertation, Fachbereich für Elektrotechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 26, Paderborn, 1997 – ISBN 3-931466-25-6
- Bd. 27 DITTRICH, W.: Communication and I/O Efficient Parallel Data Structures. Dissertation, Fachbereich für Informatik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 27, Paderborn, 1997 – ISBN 3-931466-26-4
- Bd. 28 BÄUMKER, A.: Communication Efficient Parallel Searching. Dissertation, Fachbereich für Informatik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 28, Paderborn, 1997 – ISBN 3-931466-27-2
- Bd. 29 PINTASKE, C.: System- und Schaltungstechnik neuronaler Assoziativspeicher. Dissertation, Fachbereich für Elektrotechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 29, Paderborn, 1997 – ISBN 3-931466-28-0
- Bd. 30 HENKEL, S.: Ein System von Software-Entwurfsmustern für die Propagation von Ereignissen in Werkzeugen zur kooperativen Fabrikmodellierung. Dissertation, Fachbereich für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 30, Paderborn, 1997 – ISBN 3-931466-29-9
- Bd. 31 DANGELMAIER, W.: Vision Logistik – Logistik wandelbarer Produktionsnetze. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 31, Paderborn, 1997 – ISBN 3-931466-30-2
- Bd. 32 BREXEL, D.: Methodische Strukturmodellierung komplexer und variantenreicher Produkte des integrativen Maschinenbaus. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 32, Paderborn, 1997 – ISBN 3-931466-31-0

Bände der HNI-Verlagsschriftenreihe

- Bd. 33 HAHN, A.: Integrationsumgebung für verteilte objektorientierte Ingenieursysteme. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 33, Paderborn, 1997 – ISBN 3-931466-32-9
- Bd. 34 SABIN, A.: Semantisches Modell zum Aufbau von Hilfsorientierungsdiensten in einem globalen Engineering Netzwerk. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 34, Paderborn, 1997 – ISBN 3-931466-33-7
- Bd. 35 STROTHMANN, W.-B.: Bounded Degree Spanning Trees. Dissertation, Fachbereich für Informatik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 35, Paderborn, 1997 – ISBN 3-931466-34-5
- Bd. 36 MÜLLER, W.; RAMMIG, F.-J.: Methoden und Beschreibungssprachen zur Modellierung und Verifikation von Schaltungen und Systemen. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 36, Paderborn, 1998 – ISBN 3-931466-35-3
- Bd. 37 SCHNEIDER, W.: Anwenderorientierte Integration von CAE-Systemen. Ein Verfahren zur Realisierung eines durchgehenden Informationsflusses entlang des Produktentwicklungsprozesses. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 37, Paderborn, 1998 – ISBN 3-931466-36-1
- Bd. 38 DEMEL, W.; SCHMITZ, G. (Hrsg.): Entwicklung und Transfer von Entwicklungssystemen der Mechatronik. Aachener Workshop TransMechatronik, 26. Juni 1998, Technologiezentrum am Europaplatz Aachen, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 38, Paderborn, 1998 – ISBN 3-931466-37-X
- Bd. 39 GROBBEL, R.; LANGEMANN, T.: Leitfaden PPS-Systeme: Auswahl und Einführung in der Möbelindustrie. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 39, Paderborn, 1998 – ISBN 3-931466-38-8
- Bd. 40 REHBEIN, P.: Tribologische Untersuchung von hochfrequent schwingenden Gleitkontakten für den Einsatz in Reibkraftschlüssigen Antrieben. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 40, Paderborn, 1998 – ISBN 3-931466-39-6
- Bd. 41 DANGELMAIER, W.: KOMNET – Kommunikationsplattform für KMU-Netzwerke. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 41, Paderborn, 1998 – ISBN 3-931466-40-X
- Bd. 42 KALLMEYER, F.: Eine Methode zur Modellierung prinzipieller Lösungen mechatronischer Systeme. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 42, Paderborn, 1998 – ISBN 3-931466-41-8
- Bd. 43 TRAPP, R.: Stereoskopische Korrespondenzbestimmung mit impliziter Detektion von Okklusionen. Dissertation, Fachbereich für Elektrotechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 43, Paderborn, 1998 – ISBN 3-931466-42-6
- Bd. 44 GAUSEMEIER, J.; FINK, A.; SCHLAKE, O.: Grenzen überwinden - Zukünfte gestalten. 2. Paderborner Konferenz für Szenario-Management, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 44, Paderborn, 1998 – ISBN 3-931466-43-4
- Bd. 45 nicht erschienen!
- Bd. 46 VÖCKING, B.: Static and Dynamic Data Management in Networks. Dissertation, Fachbereich für Informatik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 46, Paderborn, 1998 – ISBN 3-931466-45-0
- Bd. 47 SCHEKELMANN, A.: Materialflußsteuerung auf der Basis des Wissens mehrerer Experten. Dissertation, Fachbereich für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 47, Paderborn, 1999 – ISBN 3-931466-46-9
- Bd. 48 GECK-MÜGGE, K.: Herleitung und Spezifikation generischer Bausteine zur einheitlichen Modellierung von Fertigungsinformationen für die Fertigungssteuerung. Dissertation, Fachbereich für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 48, Paderborn, 1999 – ISBN 3-931466-47-7
- Bd. 49 WALLASCHEK, J.; LÜCKEL, J.; LITTMANN, W.: Heinz Nixdorf Symposium on Mechatronics and Advanced Motion Control. 3. Internationales Heinz Nixdorf Symposium, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 49, Paderborn, 1999 – ISBN 3-931466-48-5

Bände der HNI-Verlagsschriftenreihe

- Bd. 50 FINK, A.: Szenariogestützte Führung industrieller Produktionsunternehmen. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 50, Paderborn, 1999 – ISBN 3-931466-49-3
- Bd. 51 HOLTkamp, R.: Ein objektorientiertes Rahmenwerk zur Erstellung individueller, verteilter Fertigungslenkungssysteme. Dissertation, Fachbereich für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 51, Paderborn, 1999 – ISBN 3-931466-50-7
- Bd. 52 KUHN, A.: Referenzmodelle für Produktionsprozesse zur Untersuchung und Gestaltung von PPS-Aufgaben. Dissertation, Fachbereich für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 52, Paderborn, 1999 – ISBN 3-931466-51-5
- Bd. 53 SIEBE, A.: Systematik der Umsetzung von IT-orientierten Veränderungsprojekten in dynamischen Umfeldern. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 53, Paderborn, 1999 – ISBN 3-931466-52-3
- Bd. 54 KLAHOLD, R. F.: Dimensionierung komplexer Produktionsnetzwerke. Dissertation, Fachbereich für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 54, Paderborn, 1999 – ISBN 3-931466-53-1
- Bd. 55 SCHÜRholz, A.: Synthese eines Modells zur simulationsgestützten Potentialanalyse der Distribution. Dissertation, Fachbereich für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 55, Paderborn, 1999 – ISBN 3-931466-54-X
- Bd. 56 GEHNEN, G.: Integriertes Netzwerk zur Fertigungssteuerung und –automatisierung. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 56, Paderborn, 1999 – ISBN 3-931466-55-8
- Bd. 57 KRESS, S.: Architektur eines workflow-basierten Planungsinstruments für die technische Auftragsbearbeitung unter besonderer Berücksichtigung des Einsatzes der Telearbeit. Dissertation, Fachbereich für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 57, Paderborn, 1999 – ISBN 3-931466-56-6
- Bd. 58 THIELEMANN, F.: Integrierte Methodik zur Gestaltung von Leistungserstellungsprozessen mittels Workflowmanagement. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 58, Paderborn, 1999 – ISBN 3-931466-57-4
- Bd. 59 KROME, J.: Modelle zur Untersuchung des Schwingungsverhaltens von Statoren für piezoelektrische Ultraschall-Wanderwellen-Motoren. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 59, Paderborn, 1999 – ISBN 3-931466-58-2
- Bd. 60 DEMEL, W.; SCHMITZ, G. (Hrsg.): Entwicklung und Transfer von Entwicklungssystemen der Mechatronik. Krefelder Workshop TransMechatronik, 24. August 1999 Fachhochschule Niederrhein, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 60, Paderborn, 1999 – ISBN 3-931466-59-0
- Bd. 61 LANGEMANN, T.: Modellierung als Kernfunktion einer systemorientierten Analyse und Bewertung der diskreten Produktion. Dissertation, Fachbereich für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 61, Paderborn, 1999 – ISBN 3-931466-60-4
- Bd. 62 KÜMMEL, M.: Integration von Methoden und Werkzeugen zur Entwicklung von mechatronischen Systemen. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 62, Paderborn, 1999 – ISBN 3-931466-61-2
- Bd. 63 LUKOVszKI, T.: New Results on Geometric Spanners and Their Applications. Dissertation, Fachbereich für Informatik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 63, Paderborn, 1999 – ISBN 3-931466-62-0
- Bd. 64 LÖFFLER, A.; MONDADA, F.; RÜCKERT, U. (Hrsg.): Experiments with the Mini-Robot Khepera, Proceedings of the 1st International Khepera Workshop. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 64, Paderborn, 1999 – ISBN 3-931466-63-9
- Bd. 65 SCHÄFERMEIER, U.; BISCHOFF, C.: KMU-net - Ein Konzept zur ablauforganisatorischen Gestaltung der Lieferanteneinbindung. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 65, Paderborn, 2000 – ISBN 3-931466-64-7

Bände der HNI-Verlagsschriftenreihe

- Bd. 66 HOLTHÖFER, N.: Regeln in einer Mengenplanung unter Ausbringungsgrenzen. Dissertation, Fachbereich für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 66, Paderborn, 2000 – ISBN 3-931466-69-8
- Bd. 67 SCHLAKE, O.: Verfahren zur kooperativen Szenario-Erstellung in Industrieunternehmen. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, 67, Paderborn, Band 2000 – ISBN 3-931466-66-3
- Bd. 68 LEWANDOWSKI, A.: Methode zur Gestaltung von Leistungserstellungsprozessen in Industrieunternehmen. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 68, Paderborn, 2000 – ISBN 3-931466-67-1
- Bd. 69 SCHMIDTMANN, A.: Eine Spezifikations-sprache für die Fertigungslenkung. Dissertation, Fachbereich für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 69, Paderborn, 2000 – ISBN 3-931466-68-X
- Bd. 70 GROBBEL, R.: Eine Referenzarchitektur für Kooperationsbörsen. Dissertation, Fachbereich für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 70, Paderborn, 2000 – ISBN 3-931466-69-8
- Bd. 71 WESSEL, R.: Modelocked Waveguide Lasers in Lithium Niobate. Dissertation, Fachbereich für Physik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 71, Paderborn, 2000 – ISBN 3-931466-70-1
- Bd. 72 LÖFFLER, A.: Energetische Modellierung neuronaler Signalverarbeitung. Dissertation, Fachbereich für Informatik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 72, Paderborn, 2000 – ISBN 3-931433-71-X
- Bd. 73 LUDWIG, L. A.: Computational Intelligence in der Produktionswirtschaft. Dissertation, Fachbereich für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 73, Paderborn, 2000 – ISBN 3-931466-72-8
- Bd. 74 WENSKI, R.: Eine objektorientierte Systemkomponente zur Workflow-Modellierung und -Ausführung unter besonderer Berücksichtigung der Telekooperation. Dissertation, Fachbereich für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 74, Paderborn, 2000 – ISBN 3-931466-73-6
- Bd. 75 GRASMANN, M.: Produktkonfiguration auf Basis von Engineering Data Management-Systemen. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 75, Paderborn, 2000 – ISBN 3-931466-74-4
- Bd. 76 DITZE, C.: Towards Operating System Synthesis. Dissertation, Fachbereich für Informatik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 76, Paderborn, 2000 – ISBN 3-931466-75-2
- Bd. 77 KÖRNER, T.: Analog VLSI Implementation of a Local Cluster Neural Network. Dissertation, Fachbereich für Elektrotechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 77, Paderborn, 2000 – ISBN 3-931466-76-0
- Bd. 78 SCHEIDELER, C.: Probabilistic Methods for Coordination Problems. Dissertation, Fachbereich für Informatik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 78, Paderborn, 2000 – ISBN 3-931466-77-9
- Bd. 79 GAUSEMEIER, J.; LINDEMANN, U.; REINHART, G.; WIENDAHL, H.-P.: Kooperatives Produktengineering - Ein neues Selbstverständnis des ingenieurmäßigen Wirkens. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 79, Paderborn, 2000 – ISBN 3-931466-78-7
- Bd. 80 GAUSEMEIER, J.; LÜCKEL, J.: Entwicklungsumgebungen Mechatronik - Methoden und Werkzeuge zur Entwicklung mechatronischer Systeme. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 80, Paderborn, 2000 – ISBN 3-931466-79-5
- Bd. 81 RIEPING, I.: Communication in Parallel Systems-Models, Algorithms and Implementations. Dissertation, Fachbereich für Informatik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 81, Paderborn, 2000 – ISBN 3-931466-80-9

Bände der HNI-Verlagsschriftenreihe

- Bd. 82 GAUSEMEIER, J; LÜCKEL, J.: Auf dem Weg zu den Produkten für die Märkte von morgen. 4. Internationales Heinz Nixdorf Symposium, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 82, Paderborn, 2000 – ISBN 3-931466-81-7
- Bd. 83 DEL CASTILLO, G.: The ASM Workbench - A Tool Environment for Computer-Aided Analysis and Validation of Abstract State Machine Models. Dissertation, Fachbereich für Informatik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 83, Paderborn, 2000 – ISBN 3-931466-82-5
- Bd. 84 SCHÄFERMEIER, U.: Eine Methode zur systemorientierten organisatorischen Gestaltung der Zweckaufgabenverrichtung in kooperativen Verbänden; Klassifikation, Aufgabenzuordnung. Dissertation, Fachbereich für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 84, Paderborn, 2000 – ISBN 3-931466-83-3
- Bd. 85 KRÜGER, J.: Ganzheitliche Beherrschung von Abläufen in und zwischen soziotechnischen Systemen: Ein Beitrag zur Modellbildung und zum paradigmatischen Verständnis von Industrieunternehmen zur Integration von Mensch und Maschine; Prozess und Struktur. Dissertation, Fachbereich für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 85, Paderborn, 2000 – ISBN 3-931466-84-1
- Bd. 86 BARTSCHER, T.: Methoden des Integrierten Workflowmanagements (IWFm). Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 86, Paderborn, 2000 – ISBN 3-931466-85-X
- Bd. 87 QUINTANILLA, J.: Ein Verifikationsansatz für eine netzbasierte Modellierungsmethode für Fertigungssteuerungssysteme. Dissertation, Fachbereich für Informatik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 87, Paderborn, 2000 – ISBN 3-931466-86-8
- Bd. 88 PREIS, R.: Analyses and Design of Efficient Graph Partitioning Methods. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 88, Paderborn, 2001 – ISBN 3-931466-87-6
- Bd. 89 nicht erschienen!
- Bd. 90 WESTERMANN, M.: Caching in Networks: Non-Uniform Algorithms and Memory Capacity Constraints. Dissertation, Fachbereich für Informatik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 90, Paderborn, 2001 – ISBN 3-931466-89-2
- Bd. 91 LEMKE, J.: Nutzenorientierte Planung des Einsatzes von CAD- / CAE-Systemen. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 91, Paderborn, 2001 – ISBN 3-935433-00-X
- Bd. 92 VON BOHUSZEWICZ, O.: Eine Methode zur Visualisierung von Geschäftsprozessen in einer virtuellen Umgebung. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 92, Paderborn, 2001 – ISBN 3-935433-01-8
- Bd. 93 BÖRNCHEN, T.: Zur Entwicklung dynamischer Komponenten für variables Kraftfahrzeug-Scheinwerferlicht. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 93, Paderborn, 2001 – ISBN 3-935433-02-6
- Bd. 94 WINDELER, I.: Auswahl von Restrukturierungsprojekten in Forschungs- und Entwicklungsorganisationen der Automobilindustrie. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 94, Paderborn, 2001 – ISBN 3-935433-03-4
- Bd. 95 WOLFF, C.: Parallele Simulation großer pulscodierter neuronaler Netze. Dissertation, Fachbereich für Elektrotechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 95, Paderborn, 2001 – ISBN 3-935433-04-2
- Bd. 96 HENKE, A.: Modellierung, Simulation und Optimierung piezoelektrischer Stellsysteme. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 96, Paderborn, 2001 – ISBN 3-935433-05-0
- Bd. 97 RÜCKERT, U.; SITTE, J.; WITKOWSKI, U. (Hrsg.): Autonomous Minirobots for Research and Edutainment AMiRE2001. 5. Internationales Heinz Nixdorf Symposium, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 97, Paderborn, 2001 – ISBN 3-935433-06-9

Bände der HNI-Verlagsschriftenreihe

- Bd. 98 LI, P.: Datenkonversion für den Datenaustausch in verteilten Fertigungslenkungssystemen. Dissertation, Fachbereich für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 98, Paderborn, 2001 – ISBN 9-935433-07-7
- Bd. 99 BRANDT, C.: Eine modellbasierte Methode zum strukturierten Entwurf virtueller Umgebungen. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 99, Paderborn, 2001 – ISBN 9-935433-08-5
- Bd. 100 WLEKLINSKI, C.: Methode zur Effektivitäts- und Effizienzbewertung der Entwicklung maschinenbaulicher Anlagen. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 100, Paderborn, 2001 – ISBN-3-935433-09-3
- Bd. 101 HEMSEL, T.: Untersuchung und Weiterentwicklung linearer piezoelektrischer Schwingungsantriebe. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 101, Paderborn, 2001 – ISBN 3-935433-10-7
- Bd. 102 MAUERMANN, H.: Leitfaden zur Erhöhung der Logistikqualität durch Analyse und Neugestaltung der Versorgungsketten. Dissertation, Fachbereich für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 102, Paderborn, 2001 – ISBN 3-935433-11-5
- Bd. 103 WAGENBLAßT, D.: Eine Analyseverfahren zur Beurteilung der Funktionssicherheit von gemischt analog-digitalen Schaltungen. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 103, Paderborn, 2002 – ISBN 3-935433-12-3
- Bd. 104 PORRMANN, M.: Leistungsbewertung eingebetteter Neurocomputersysteme. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 104, Paderborn, 2002 – ISBN 3-935433-13-1
- Bd. 105 SEIFERT, L.: Methodik zum Aufbau von Informationsmodellen für Electronic Business in der Produktentwicklung. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 105, Paderborn, 2002 – ISBN 3-935433-14-X
- Bd. 106 SOETEBEER, M.: Methode zur Modellierung, Kontrolle und Steuerung von Produktstrategien. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 106, Paderborn, 2002 – ISBN 3-935433-15-8
- Bd. 107 GAUSEMEIER, J.; GRAFE, M. (Hrsg.): 1. Paderborner Workshop Augmented & Virtual Reality in der Produktentstehung. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 107, Paderborn, 2002 – ISBN 3-935433-16-6
- Bd. 108 FLATH, M.: Methode zur Konzipierung mechatronischer Produkte. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 108, Paderborn, 2002 – ISBN 3-935433-17-4
- Bd. 109 AVENARIUS, J.: Methoden zur Suche und Informationsbereitstellung von Lösungselementen für die Entwicklung mechatronischer Systeme. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 109, Paderborn, 2002 – ISBN 3-935433-18-2
- Bd. 110 HELMKE, S.: Eine simulationsgestützte Methode für Budgetentscheidungen im Kundenbindungsmanagement. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 110, Paderborn, 2002 – ISBN 3-935433-19-0
- Bd. 111 CZUBAYKO, R.: Rechnerinterne Repräsentation von informationsverarbeitenden Lösungselementen für die verteilte kooperative Produktentwicklung in der Mechatronik. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 111, Paderborn, 2002 – ISBN 3-935433-20-4
- Bd. 112 GOLDSCHMIDT, S.: Anwendung mengenorientierter numerischer Methoden zur Analyse nichtlinearer dynamischer Systeme am Beispiel der Spurführungsdynamik von Schienenfahrzeugen. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 112, Paderborn, 2002 – ISBN 3-935433-21-2

Bände der HNI-Verlagsschriftenreihe

- Bd. 113 LEHMANN, T.: Towards Device Driver Synthesis. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 113, Paderborn, 2002 – ISBN 3-935433-22-0
- Bd. 114 HÄRTEL, W.: Issueorientierte Frühaufklärung. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 114, Paderborn, 2002 – ISBN 3-935433-23-9
- Bd. 115 ZIEGLER, M.: Zur Berechenbarkeit reeller geometrischer Probleme. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 115, Paderborn, 2002 – ISBN 3-935433-24-7
- Bd. 116 SCHMIDT, M.: Neuronale Assoziativspeicher im Information Retrieval. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 116, Paderborn, 2003 – ISBN 3-935433-25-5
- Bd. 117 EL-KEBBE, D. A.: Towards the MaSHReC Manufacturing System under Real-Time Constraints. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 117, Paderborn, 2003 – ISBN 3-935433-26-3
- Bd. 118 PUSCH, R.: Personalplanung und -entwicklung in einem integrierten Vorgehensmodell zur Einführung von PDM-Systemen. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 118, Paderborn, 2003 – ISBN 3-935433-27-1
- Bd. 119 SOHLER, C.: Property Testing and Geometry. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 119, Paderborn, 2003 – ISBN 3-935433-28-X
- Bd. 120 KESPOHL, H.: Dynamisches Matching – Ein agentenbasiertes Verfahren zur Unterstützung des Kooperativen Produktengineering durch Wissens- und Technologietransfer. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 120, Paderborn, 2003 – ISBN 3-935433-29-8
- Bd. 121 MOLT, T.: Eine domänenübergreifende Softwarespezifikationstechnik für automatisierte Fertigungsanlagen. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 121, Paderborn, 2003 – ISBN 3-935433-30-1
- Bd. 122 GAUSEMEIER, J.; LÜCKEL, J.; WALLASCHEK, J. (Hrsg.): 1. Paderborner Workshop Intelligente mechatronische Systeme. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 122, Paderborn, 2003 – ISBN 3-935433-31-X
- Bd. 123 GAUSEMEIER, J.; GRAFE, M. (Hrsg.): 2. Paderborner Workshop Augmented & Virtual Reality in der Produktentstehung. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 123, Paderborn, 2003 – ISBN 3-935433-32-8
- Bd. 124 LITTMANN, W.: Piezoelektrische resonant betriebene Ultraschall-Leistungswandler mit nichtlinearen mechanischen Randbedingungen. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 124, Paderborn, 2003 – ISBN 3-935433-33-6
- Bd. 125 WICKORD, W.: Zur Anwendung probabilistischer Methoden in den frühen Phasen des Systementwurfs. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 125, Paderborn, 2003 – ISBN 3-935433-34-4
- Bd. 126 HEITTMANN, A.: Ressourceneffiziente Architekturen neuronaler Assoziativspeicher. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 126, Paderborn, 2003 – ISBN 3-935433-35-2
- Bd. 127 WITKOWSKI, U.: Einbettung selbstorganisierender Karten in autonome Miniroboter. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 127, Paderborn, 2003 – ISBN 3-935433-36-0
- Bd. 128 BOBDA, C.: Synthesis of Dataflow Graphs for Reconfigurable Systems using Temporal Partitioning and Temporal Placement. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 128, Paderborn, 2003 – ISBN 3-935433-37-9

Bände der HNI-Verlagsschriftenreihe

- Bd. 129 HELLER, F.: Wissensbasiertes Online-Störungsmanagement flexibler, hoch automatisierter Montagesysteme. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 129, Paderborn, 2003 – ISBN 3-935433-38-7
- Bd. 130 KÜHN, A.: Systematik des Ideenmanagements im Produktentstehungsprozess. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 130, Paderborn, 2003 – ISBN 3-935433-39-5
- Bd. 131 KEIL-SLAWIK, R.; BRENECKE, A.; HOHENHAUS, M.: ISIS -Installationshandbuch für lernförderliche Infrastrukturen. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 131, Paderborn, 2003 – ISBN 3-935433-40-9
- Bd. 132 OULD HAMADY, M.: Ein Ansatz zur Gestaltung des operativen Fertigungsmanagements innerhalb der Lieferkette. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 132, Paderborn, 2003 – ISBN 3-935433-41-7
- Bd. 133 HOLTZ, C.: Theoretical Analysis of Unsupervised On-line Learning through Soft Competition. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 133, Paderborn, 2003 – ISBN 3-935433-42-5
- Bd. 134 UEBEL, M.: Ein Modell zur Steuerung der Kundenbearbeitung im Rahmen des Vertriebsmanagements. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 134, Paderborn, 2003 – ISBN 3-935433-43-3
- Bd. 135 BRINKMANN, A.: Verteilte Algorithmen zur Datenplatzierung und zum Routing in gegnerischen Netzwerken. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 135, Paderborn, 2003 – ISBN 3-935433-44-1
- Bd. 136 FRÜND, E.: Aktive Kompensation von periodischen Schwingungen an rotierenden Walzen. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 136, Paderborn, 2003 – ISBN 3-935433-45-X
- Bd. 137 KEIL-SLAWIK, R. (Hrsg.): Digitale Medien in der Hochschule: Infrastrukturen im Wandel. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 137, Paderborn, 2004 – ISBN 3-935433-46-8
- Bd. 138 STORCK, H.: Optimierung der Kontaktvorgänge bei Wanderwellenmotoren. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 138, Paderborn, 2004 – ISBN 3-935433-47-6
- Bd. 139 KALTE, H.: Einbettung dynamisch rekonfigurierbarer Hardwarearchitekturen in eine Universalprozessorumgebung. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 139, Paderborn, 2004 – ISBN 3-935433-48-4
- Bd. 140 ISKE, B.: Modellierung und effiziente Nutzung aktiver Infrarotsensorik in autonomen Systemen. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 140, Paderborn, 2004 – ISBN 3-935433-49-2
- Bd. 141 BÄTZEL, D.: Methode zur Ermittlung und Bewertung von Strategiealternativen im Kontext Fertigungstechnik. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 141, Paderborn, 2004 – ISBN 3-935433-50-6
- Bd. 142 BÖKE, C.: Automatic Configuration of Real-Time Operating Systems and Real-Time Communication Systems for Distributed Embedded Applications. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 142, Paderborn, 2004 – ISBN 3-935433-51-4
- Bd. 143 KÖCKERLING, M.: Methodische Entwicklung und Optimierung der Wirkstruktur mechatronischer Produkte. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 143, Paderborn, 2004 – ISBN 3-935433-52-2
- Bd. 144 HENZLER, S.: Methodik zur Konzeption der Struktur und der Regelung leistungsverzweigter Getriebe mit Toroidvariator. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 144, Paderborn, 2004 – ISBN 3-935433-53-0

Bände der HNI-Verlagsschriftenreihe

- Bd. 145 GAUSEMEIER, J.; LÜCKEL, J.; WALLASCHEK, J. (Hrsg.): 2. Paderborner Workshop Intelligente mechatronische Systeme. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 145, Paderborn, 2004 – ISBN 3-935433-54-9
- Bd. 146 LESSING, H.: Prozess zur multivariaten Prognose von Produktionsprogrammen für eine effiziente Kapazitätsplanung bei typisierten Dienstleistungen. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 146, Paderborn, 2004 – ISBN 3-935433-55-7
- Bd. 147 HAMOUDIA, H.: Planerische Ablaufgestaltung bei prozessorientierten Dienstleistungen. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 147, Paderborn, 2004 – ISBN 3-935433-56-5
- Bd. 148 BUSCH, A.: Kollaborative Änderungsplanung in Unternehmensnetzwerken der Serienfertigung – ein verhandlungsbasierter Ansatz zur interorganisationalen Koordination bei Störungen. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 148, Paderborn, 2004 – ISBN 3-935433-57-3
- Bd. 149 GAUSEMEIER, J.; GRAFE, M. (Hrsg.): 3. Paderborner Workshop Augmented & Virtual Reality in der Produktentstehung. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 149, Paderborn, 2004 – ISBN 3-935433-58-1
- Bd. 150 MEYER, B.: Value-Adding Logistics for a World Assembly Line. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 150, Paderborn, 2004 – ISBN 3-935433-59-X
- Bd. 151 GRIENITZ, V.: Methodik zur Erstellung von Technologieszenarien für die strategische Technologieplanung. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 151, Paderborn, 2004 – ISBN 3-9354 33-60-3
- Bd. 152 FRANKE, H.: Eine Methode zur unternehmensübergreifenden Transportdisposition durch synchron und asynchron kommunizierende Agenten. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 152, Paderborn, 2004 – ISBN 3-935433-61-1
- Bd. 153 SALZWEDEL, K. A.: Data Distribution Algorithms for Storage Networks. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 153, Paderborn, 2004 – ISBN 3-935433-62-X
- Bd. 154 RÄCKE, H.: Data Management and Routing in General Networks. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 154, Paderborn, 2004 – ISBN 3-935433-63-8
- Bd. 155 FRANK, U.; GIESE, H.; KLEIN, F.; OBERSCHELP, O.; SCHMIDT, A.; SCHULZ, B.; VÖCKING, H.; WITTING, K.; GAUSEMEIER, J. (Hrsg.): Selbstoptimierende Systeme des Maschinenbaus – Definitionen und Konzepte. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 155, Paderborn, 2004 – ISBN 3-935433-64-6
- Bd. 156 MÖHRINGER, S.: Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme. Habilitation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 156, Paderborn, 2004 – ISBN 3-935433-65-4
- Bd. 157 FAHRENTHOLZ, M.: Konzeption eines Betriebskonzepts für ein bedarfsgesteuertes schienengebundenes Shuttle-System. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 157, Paderborn, 2004 – ISBN 3-935433-66-2
- Bd. 158 GAJEWSKI, T.: Referenzmodell zur Beschreibung der Geschäftsprozesse von After-Sales-Dienstleistungen unter besonderer Berücksichtigung des Mobile Business. Dissertation Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 158, Paderborn, 2004 – ISBN 3-935433-67-0
- Bd. 159 RÜTHER, M.: Ein Beitrag zur klassifizierenden Modularisierung von Verfahren für die Produktionsplanung. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 159, Paderborn, 2004 – ISBN 3-935433-68-9

Bände der HNI-Verlagsschriftenreihe

- Bd. 160 MUECK, B.: Eine Methode zur benutzerstimulierten detaillierungsvarianten Berechnung von diskreten Simulationen von Materialflüssen. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, , Band 160, Paderborn 2004 – ISBN 3-935433-69-7
- Bd. 161 LANGEN, D.: Abschätzung des Ressourcenbedarfs von hochintegrierten mikroelektronischen Systemen. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 161, Paderborn, 2005 – ISBN 3-935433-70-0
- Bd. 162 ORLIK, L.: Wissensbasierte Entscheidungshilfe für die strategische Produktplanung. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 162, Paderborn, 2005 – ISBN 3-935433-71-9
- Bd. 163 GAUSEMEIER, J.; RAMMIG, F.; SCHÄFER, W.; WALLASCHEK, J. (Hrsg.): 3. Paderborner Workshop Intelligente mechatronische Systeme. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 163, Paderborn, 2005 – ISBN 3-935433-72-7
- Bd. 164 FISCHER, M.: Design, Analysis, and Evaluation of a Data Structure for Distributed Virtual Environments. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 164, Paderborn, 2005 – ISBN 3-935433-73-5
- Bd. 165 MATYSCZOK, C.: Dynamische Kantenextraktion - Ein Verfahren zur Generierung von Tracking-Informationen für Augmented Reality-Anwendungen auf Basis von 3D-Referenzmodellen. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 165, Paderborn, 2005 – ISBN 3-935433-74-3
- Bd. 166 JANIA, T.: Änderungsmanagement auf Basis eines integrierten Prozess- und Produktdatenmodells mit dem Ziel einer durchgängigen Komplexitätsbewertung. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 166, Paderborn, 2005 – ISBN 3-935433-75-1
- Bd. 167 GAUSEMEIER, J.; GRAFE, M. (Hrsg.): 4. Paderborner Workshop Augmented & Virtual Reality in der Produktentstehung. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 167, Paderborn, 2005 – ISBN 3-935433-76-X
- Bd. 168 VOLBERT, K.: Geometric Spanners for Topology Control in Wireless Networks. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 168, Paderborn, 2005 – ISBN 3-935433-77-8
- Bd. 169 ROSLAK, J.: Entwicklung eines aktiven Scheinwerfersystems zur blendungsfreien Ausleuchtung des Verkehrsraumes. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 167, Paderborn, 2005 – ISBN 3-935433-78-6
- Bd. 170 EMMRICH, A.: Ein Beitrag zur systematischen Entwicklung produktorientierter Dienstleistungen für die Dienstleistungsbranche. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 170, Paderborn, 2005 – ISBN 3-935433-79-4
- Bd. 171 NOWACZYK, O.: Explorationen: Ein Ansatz zur Entwicklung hochgradig interaktiver Lernbausteine. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 171, Paderborn, 2005 – ISBN 3-935433-80-8
- Bd. 172 MAHMOUD, K.: Theoretical and experimental investigations on a new adaptive duo servo drum brake with high and constant brake shoe factor. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 172, Paderborn, 2005 – ISBN 3-935433-81-6
- Bd. 173 KLIEWER, G.: Optimierung in der Flugplanung: Netzwerkentwurf und Flottenzuweisung. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 173, Paderborn, 2005 – ISBN 3-935433-82-4
- Bd. 174 BALÁŽOVÁ, M.: Methode zur Leistungsbewertung und Leistungssteigerung der Mechatronikentwicklung. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 174, Paderborn, 2005 – ISBN 3-935433-83-2
- Bd. 175 FRANK, U.: Spezifikationstechnik zur Beschreibung der Prinziplösung selbstoptimierender Systeme. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 175, Paderborn, 2005 – ISBN 3-935433-84-0

Bände der HNI-Verlagsschriftenreihe

- Bd. 176 BERGER, T.: Methode zur Entwicklung und Bewertung innovativer Technologiestrategien. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 176, Paderborn, 2005 – ISBN 3-935433-85-9
- Bd. 177 BERSSENBRÜGGE, J.: Virtual Nightdrive - Ein Verfahren zur Darstellung der komplexen Lichtverteilungen moderner Scheinwerfersysteme im Rahmen einer virtuellen Nachtfahrt. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 177, Paderborn, 2005 – ISBN 3-935433-86-7
- Bd. 178 GAUSEMEIER, J. (Hrsg.): Vorausschau und Technologieplanung. 1. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung Heinz Nixdorf Institut, 3. und 4. November 2005, Schloß Neuhardenberg, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 178, Paderborn, 2005 – ISBN 3-935433-87-5
- Bd. 179 FU, B.: Piezoelectric actuator design via multiobjective optimization methods. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 179, Paderborn, 2005 – ISBN 3-935433-88-3
- Bd. 180 WALLASCHEK, J.; HEMSEL, T.; MRACEK, M.: Proceedings of the 2nd International Workshop on Piezoelectric Materials and Applications in Actuators. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 180, Paderborn, 2005 – ISBN 3-935433-89-1
- Bd. 181 MEYER AUF DER HEIDE, F.; MONIEN, B. (Hrsg.): New Trends in Parallel & Distributed Computing. 6. Internationales Heinz Nixdorf Symposium, 17. und 18. Januar 2006, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 181, Paderborn, 2006 – ISBN 3-939350-00-1
- Bd. 182 HEIDENREICH, J.: Adaptierbare Änderungsplanung der Mengen und Kapazitäten in Produktionsnetzwerken der Serienfertigung. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 182, Paderborn, 2006 – ISBN 3-939350-01-X
- Bd. 183 PAPE, U.: Umsetzung eines SCM-Konzeptes zum Liefermanagement in Liefernetzwerken der Serienfertigung. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 183, Paderborn, 2006 – ISBN 3-939350-02-8
- Bd. 184 BINGER, V.: Konzeption eines wissensbasierten Instruments für die strategische Vorausschau im Kontext der Szenariotechnik. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 184, Paderborn, 2006 – ISBN 3-939350-03-6
- Bd. 185 KRIESEL, C.: Szenarioorientierte Unternehmensstrukturoptimierung – Strategische Standort- und Produktionsplanung. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 185, Paderborn, 2006 – ISBN 3-939350-04-4
- Bd. 186 KLEIN, J.: Efficient collision detection for point and polygon based models. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 186, Paderborn, 2006 – ISBN 3-939350-05-2
- Bd. 187 WORTMANN, R.: Methodische Entwicklung von Echtzeit 3D-Anwendungen für Schulung und Präsentation. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 187, Paderborn, 2006 – ISBN 3-939350-06-0
- Bd. 188 GAUSEMEIER, J.; GRAFE, M. (Hrsg.): 5. Paderborner Workshop Augmented & Virtual Reality in der Produktentstehung. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 188, Paderborn, 2006 – ISBN 3-939350-07-9
- Bd. 189 GAUSEMEIER, J.; RAMMIG, F.; SCHÄFER, W.; TRÄCHTLER, A.; WALLASCHEK, J. (Hrsg.): 4. Paderborner Workshop Entwurf mechatronischer Systeme. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 189, Paderborn, 2006 – ISBN 3-939350-08-7
- Bd. 190 DAMEROW, V.: Average and Smoothed Complexity of Geometric Structures. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 190, Paderborn, 2006 – ISBN 3-939350-09-5
- Bd. 191 GIESE, H.; NIGGEMANN, O. (Hrsg.): Postworkshop Proceedings of the 3rd Workshop on Object-oriented Modeling of Embedded Real-Time Systems (OMER 3), HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 191, Paderborn, 2006 – ISBN 3-939350-10-9

Bände der HNI-Verlagsschriftenreihe

- Bd. 192 RADKOWSKI, R.: Anwendung evolutionärer Algorithmen zur Unterstützung des Entwurfs selbstoptimierender Systeme. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 192, Paderborn, 2006 – ISBN 3-939350-11-7
- Bd. 193 SHEN, Q.: A Method for Composing Virtual Prototypes of Mechatronic Systems in Virtual Environments. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 193, Paderborn, 2006 – ISBN 3-939350-12-5
- Bd. 194 REDENIUS, A.: Verfahren zur Planung von Entwicklungsprozessen für fortgeschrittene mechatronische Systeme. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 194, Paderborn, 2006 – ISBN 3-939350-13-3
- Bd. 195 KUHL, P.: Anpassung der Lichtverteilung des Abblendlichtes an den vertikalen Straßenverlauf. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 195, Paderborn, 2006 – ISBN 3-939350-14-1
- Bd. 196 MICHELS, J. S.: Integrative Spezifikation von Produkt- und Produktionssystemkonzeptionen. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 196, Paderborn, 2006 – ISBN 3-939350-15-X
- Bd. 197 RIPS, S.: Adaptive Steuerung der Lastverteilung datenparalleler Anwendungen in Grid-Umgebungen. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 197, Paderborn, 2006 – ISBN 3-939350-16-8
- Bd. 198 GAUSEMEIER, J. (Hrsg.): Vorausschau und Technologieplanung. 2. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung Heinz Nixdorf Institut, 9. und 10. November 2006, Schloß Neuhardenberg, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 198, Paderborn, 2006 – ISBN 3-939350-17-6
- Bd. 199 FRANKE, W.: Wiederverwendungsorientierte Herleitung von Inter-Fachkomponentenkonzepten für Lagerverwaltungssysteme. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 199, Paderborn, 2006 – ISBN 978-3-939350-18-7
- Bd. 200 SCHEIDELER, P.: Ein Beitrag zur erfahrungsbasierten Selbstoptimierung einer Menge technisch homogener fahrerloser Fahrzeuge. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 200, Paderborn, 2006 – ISBN 978-3-939350-19-4
- Bd. 201 KÖSTERS, C.: Ein ontologiebasiertes Modell zur Beschreibung der Abläufe in einem Produktionssystem unter besonderer Berücksichtigung einer diskreten Produktion. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 201, Paderborn, 2006 – ISBN 978-3-939350-20-0
- Bd. 202 HALFMEIER, S.: Modellierung und Regelung von Halbtoroidvariationen in leistungsverzweigten Getriebestrukturen. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 202, Paderborn, 2006 – ISBN 978-3-939350-21-7
- Bd. 203 RÜHRUP, S.: Position-based Routing Strategies. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 203, Paderborn, 2006 – ISBN 978-3-939350-22-4
- Bd. 204 SCHMIDT, A.: Wirkmuster zur Selbstoptimierung – Konstrukte für den Entwurf selbstoptimierender Systeme. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 204, Paderborn, 2006 – ISBN 978-3-939350-23-1
- Bd. 205 IHMOR, S.: Modeling and Automated Synthesis of Reconfigurable Interfaces. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 205, Paderborn, 2006 – ISBN 978-3-939350-24-8
- Bd. 206 ECKES, R.: Augmented Reality – basiertes Verfahren zur Unterstützung des Anlaufprozesses von automatisierten Fertigungssystemen. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 206, Paderborn, 2007 – ISBN 978-3-939350-25-5

Bände der HNI-Verlagsschriftenreihe

- Bd. 207 STEFFEN, D.: Ein Verfahren zur Produktstrukturierung für fortgeschrittene mechatronische Systeme. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 207, Paderborn, 2007 – ISBN 978-3-939350-26-2
- Bd. 208 LAROQUE, C.: Ein mehrbenutzerfähiges Werkzeug zur Modellierung und richtungsoffenen Simulation von wahlweise objekt- und funktionsorientiert gegliederten Fertigungssystemen. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 208, Paderborn, 2007 – ISBN 978-3-939350-27-9
- Bd. 209 GAUSEMEIER, J.; GRAFE, M. (Hrsg.): 6. Paderborner Workshop Augmented & Virtual Reality in der Produktentstehung. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 209, Paderborn, 2007 – ISBN 978-3-939350-28-6
- Bd. 210 GAUSEMEIER, J.; RAMMIG, F.; SCHÄFER, W.; TRÄCHTLER, A.; WALLASCHEK, J. (Hrsg.): 5. Paderborner Workshop Entwurf mechatronischer Systeme. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 210, Paderborn, 2007 – ISBN 978-3-939350-29-3
- Bd. 211 KAUSCHKE, R.: Systematik zur lichttechnischen Gestaltung von aktiven Scheinwerfern. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 211, Paderborn, 2007 – ISBN 978-3-939350-30-9
- Bd. 212 DU, J.: Zellen-basierte Dienst-Entdeckung für Roboternetzwerke. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 212, Paderborn, 2007 – ISBN 978-3-939350-31-6
- Bd. 213 DANNE, K.: Real-Time Multitasking in Embedded Systems Based on Reconfigurable Hardware. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 213, Paderborn, 2007 – ISBN 978-3-939350-32-3
- Bd. 214 EICKHOFF, R.: Fehlertolerante neuronale Netze zur Approximation von Funktionen. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 214, Paderborn, 2007 – ISBN 978-3-939350-33-0
- Bd. 215 KÖSTER, M.: Analyse und Entwurf von Methoden zur Ressourcenverwaltung partiell rekonfigurierbarer Architekturen. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 215, Paderborn, 2007 – ISBN 978-3-939350-34-7
- Bd. 216 RÜCKERT, U.; SITTE, J.; WITKOWSKI, U.: Proceedings of the 4th International Symposium on Autonomous Minirobots for Research and Edutainment – AMiRE2007. Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 216, Paderborn, 2007 – ISBN 978-3-939350-35-4
- Bd. 217 PHAM VAN, T.: Proactive Ad Hoc Devices for Relaying Real-Time Video Packets. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 217, Paderborn, 2007 – ISBN 978-3-939350-36-1
- Bd. 218 VIENENKÖTTER, A.: Methodik zur Entwicklung von Innovations- und Technologie-Roadmaps. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 218, Paderborn, 2007 – ISBN 978-3-939350-37-8
- Bd. 219 GAUSEMEIER, J. (Hrsg.): Vorausschau und Technologieplanung. 3. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung Heinz Nixdorf Institut, 29. und 30. November 2007, Miele & Cie. KG Gütersloh, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 219, Paderborn, 2007 – ISBN 978-3-939350-38-5
- Bd. 220 FRÜND, J.: Eine Architekturenkonzeption für eine skalierbare mobile Augmented Reality Anwendung für die Produktpräsentation. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 220, Paderborn, 2007 – ISBN 978-3-939350-39-2
- Bd. 221 PEITZ, T.: Methodik zur Produktoptimierung mechanisch elektronischer Baugruppen durch die Technologie MID (Molded Interconnect Devices). Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 221, Paderborn, 2007 – ISBN 978-3-939350-40-8

Bände der HNI-Verlagsschriftenreihe

- Bd. 222 MEYER AUF DER HEIDE, F. (Hrsg.): The European Integrated Project "Dynamically Evolving, Large Scale Information Systems (DELIS)", Proceedings of the Final Workshop, Barcelona, February 27-28, 2008, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 222, Paderborn, 2008 – ISBN 978-3-939350-41-5
- Bd. 223 GAUSEMEIER, J.; RAMMIG, F.; SCHÄFER, W. (Hrsg.): Self-optimizing Mechatronic Systems: Design the Future. 7. Internationales Heinz Nixdorf Symposium, 20. und 21. Februar 2008, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 223, Paderborn, 2008 – ISBN 978-3-939350-42-2
- Bd. 224 RATH, M.: Methode zur Entwicklung hybrider Technologie- und Innovationsstrategien – am Beispiel des Automobils. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 224, Paderborn, 2008 – ISBN 978-3-939350-43-9
- Bd. 225 GRÜNEWALD, M.: Protokollverarbeitung mit integrierten Multiprozessoren in drahtlosen Ad-hoc-Netzwerken. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 225, Paderborn, 2008 – ISBN 978-3-939350-44-6
- Bd. 226 STRAUSS, S.: Theoretische und experimentelle Untersuchungen zum Einsatz gepulster Halbleiterlichtquellen in der Kraftfahrzeugbeleuchtung. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 226, Paderborn, 2008 – ISBN 978-3-939350-45-3
- Bd. 227 ZEIDLER, C.: Systematik der Materialflussplanung in der frühen Phase der Produktionssystementwicklung. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 227, Paderborn, 2008 – ISBN 978-3-939350-46-0
- Bd. 228 PARISI, S.: A Method for the intelligent Authoring of 3D Animations for Training and Maintenance. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 228, Paderborn, 2008 – ISBN 978-3-939350-47-7
- Bd. 229 DITTMANN, F.: Methods to Exploit Reconfigurable Fabrics. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 229, Paderborn, 2008 – ISBN 978-3-939350-48-4
- Bd. 230 TONIGOLD, C.: Programm-, Ressourcen- und Prozessoptimierung als Bestandteile der Anpassungsplanung von spanenden Fertigungssystemen in der Fließfertigung von Aggregaten. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 230, Paderborn, 2008 – ISBN 978-3-939350-49-1
- Bd. 231 BRANDT, T.: A Predictive Potential Field Concept for Shared Vehicle Guidance. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 231, Paderborn, 2008 – ISBN 978-3-939350-50-7
- Bd. 232 GAUSEMEIER, J.; GRAFE, M. (Hrsg.): 7. Paderborner Workshop Augmented & Virtual Reality in der Produktentstehung. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 232, Paderborn, 2008 – ISBN 978-3-939350-51-4
- Bd. 233 CHANG, H.: A Methodology for the Identification of Technology Indicators. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 233, Paderborn, 2008 – ISBN 978-3-939350-52-1
- Bd. 234 ADEL, P.; DONOTH, J.; GAUSEMEIER, J.; GEISLER, J.; HENKLER, S.; KAHL, S.; KLÖPPER, B.; KRUPP, A.; MÜNCH, E.; OBERTHÜR, S.; PAIZ, C.; PORRMANN, M.; RADKOWSKI, R.; ROMAUS, C.; SCHMIDT, A.; SCHULZ, B.; TSCHUSCHNER, T.; VÖCKING, H.; WITKOWSKI, U.; WITTING, K.; ZNAMENSHCHYKOV, O.: Selbstoptimierende Systeme des Maschinenbaus – Definitionen, Anwendungen, Konzepte. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 234, Paderborn, 2009 – ISBN 978-3-939350-53-8

Bände der HNI-Verlagsschriftenreihe

- Bd. 235 DELL'AERE, A.; HIRSCH, M.; KLÖPPER, B.; KOESTER, M.; KRÜGER, M.; KRUPP, A.; MÜLLER, T.; OBERTHÜR, S.; POOK, S.; PRIESTERJAHN, C.; ROMAUS, C.; SCHMIDT, A.; SONDERMANN-WÖLKE, C.; TICHY, M.; VÖCKING, H.; ZIMMER, D.: Verlässlichkeit selbstoptimierender Systeme – Potenziale nutzen und Risiken vermeiden. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 235, Paderborn, 2009 – ISBN 978-3-939350-54-5
- Bd. 236 GEHRKE, M.; GIESE, H.; STROOP, J.: Proceedings of the 4th Workshop on Object-oriented Modeling of Embedded Real-Time Systems (OMER4), Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 236, Paderborn, 2008 – ISBN 978-3-939350-55-2
- Bd. 237 GAUSEMEIER, J. (Hrsg.): Vorausschau und Technologieplanung. 4. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung Heinz Nixdorf Institut, 30. und 31. Oktober 2008, Brandenburgische Akademie der Wissenschaften, Berlin, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 237, Paderborn, 2008 – ISBN 978-3-939350-56-9
- Bd. 238 BRÖKELMANN, M.: Entwicklung einer Methodik zur Online-Qualitätsüberwachung des Ultraschall-Drahtbondprozesses mittels integrierter Mikrosensorik. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 238, Paderborn, 2008 – ISBN 978-3-939350-57-6
- Bd. 239 KETTELHOIT, B.: Architektur und Entwurf dynamisch rekonfigurierbarer FPGA-Systeme. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 239, Paderborn, 2008 – ISBN 978-3-939350-58-3
- Bd. 240 ZAMBALDI, M.: Concepts for the development of a generic Multi-Level Test Bench covering different areas of applications. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 240, Paderborn, 2008 – ISBN 978-3-939350-59-0
- Bd. 241 OBERSCHELP, O.: Strukturierter Entwurf selbstoptimierender mechatronischer Systeme. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 241, Paderborn, 2009 – ISBN 978-3-939350-60-6
- Bd. 242 STOLLT, G.: Verfahren zur strukturierten Vorausschau in globalen Umfeldern produzierender Unternehmen. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 242, Paderborn, 2009 – ISBN 978-3-939350-61-3
- Bd. 243 WENZELMANN, C.: Methode zur zukunftsorientierten Entwicklung und Umsetzung von Strategieoptionen unter Berücksichtigung des antizipierten Wettbewerbsverhaltens. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 243, Paderborn, 2009 – ISBN 978-3-939350-62-0
- Bd. 244 BRÜSEKE, U.: Einsatz der Bibliometrie für das Technologiemanagement. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 244, Paderborn, 2009 – ISBN 978-3-939350-63-7
- Bd. 245 TIMM, T.: Ein Verfahren zur hierarchischen Struktur-, Dimensions- und Materialbedarfsplanung von Fertigungssystemen. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 245, Paderborn, 2009 – ISBN 978-3-939350-64-4
- Bd. 246 GRIESE, B.: Adaptive Echtzeitkommunikationsnetze. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 246, Paderborn, 2009 – ISBN 978-3-939350-65-1
- Bd. 247 NIEMANN, J.-C.: Ressourceneffiziente Schaltungstechnik eingebetteter Parallelrechner. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 247, Paderborn, 2009 – ISBN 978-3-939350-66-8
- Bd. 248 KAISER, I.: Systematik zur Entwicklung mechatronischer Systeme in der Technologie MID. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 248, Paderborn, 2009 – ISBN 978-3-939350-67-5

Bände der HNI-Verlagsschriftenreihe

- Bd. 249 GANS, J. E.: Neu- und Anpassungsplanung der Struktur von getakteten Fließproduktionssystemen für variantenreiche Serienprodukte in der Montage. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 249, Paderborn, 2009 – ISBN 978-3-939350-68-2
- Bd. 250 GAUSEMEIER, J.; RAMMIG, F.; SCHÄFER, W.; TRÄCHTLER, A. (Hrsg.): 6. Paderborner Workshop Entwurf mechatronischer Systeme. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 250, Paderborn, 2009 – ISBN 978-3-939350-69-9
- Bd. 251 LESSMANN, J.: Protocols for Telephone Communications in Wireless Multi-Hop Ad Hoc Networks. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 251, Paderborn, 2009 – ISBN 978-3-939350-70-5
- Bd. 252 GAUSEMEIER, J.; GRAFE, M. (Hrsg.): 8. Paderborner Workshop Augmented & Virtual Reality in der Produktentstehung. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 252, Paderborn, 2009 – ISBN 978-3-939350-71-2
- Bd. 253 KLÖPPER, B.: Ein Beitrag zur Verhaltensplanung für interagierende intelligente mechatronische Systeme in nicht-deterministischen Umgebungen. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 253, Paderborn, 2009 – ISBN 978-3-939350-72-9
- Bd. 254 Low, C. Y.: A Methodology to Manage the Transition from the Principle Solution towards the Controller Design of Advanced Mechatronic Systems. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 254, Paderborn, 2009 – ISBN 978-3-939350-73-6
- Bd. 255 XU, F.: Resource-Efficient Multi-Antenna Designs for Mobile Ad Hoc Networks. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 255, Paderborn, 2009 – ISBN 978-3-939350-74-3
- Bd. 256 MÜLLER, T.: Integration von Verlässlichkeitsanalysen und -konzepten innerhalb der Entwicklungsmethodik mechatronischer Systeme. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 256, Paderborn, 2009 – ISBN 978-3-939350-75-0
- Bd. 257 BONORDEN, O.: Versatility of Bulk Synchronous Parallel Computing: From the Heterogeneous Cluster to the System on Chip. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 257, Paderborn, 2009 – ISBN 978-3-939350-76-7
- Bd. 258 KORTENJAN, M.: Size Equivalent Cluster Trees - Rendering CAD Models in Industrial Scenes. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 258, Paderborn, 2009 – ISBN 978-3-939350-77-4
- Bd. 259 SCHOMAKER, G.: Distributed Resource Allocation and Management in Heterogeneous Networks. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 259, Paderborn, 2009 – ISBN 978-3-939350-78-1
- Bd. 260 MENSE, M.: On Fault-Tolerant Data Placement in Storage Networks. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 260, Paderborn, 2009 – ISBN 978-3-939350-79-8
- Bd. 261 LÜRWER-BRÜGGEMEIER, K.: Mächtigkeit und Komplexität von Berechnungen mit der ganzzahligen Division. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 261, Paderborn, 2009 – ISBN 978-3-939350-80-4
- Bd. 262 ALTEMEIER, S.: Kostenoptimale Kapazitätsabstimmung in einer getakteten Variantenfließlinie unter expliziter Berücksichtigung des Unterstützereinsatzes und unterschiedlicher Planungszeiträume. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 262, Paderborn, 2009 – ISBN 978-3-939350-81-1

Bände der HNI-Verlagsschriftenreihe

- Bd. 263 MAHAJAN, K.: A combined simulation and optimization based method for predictive-reactive scheduling of flexible production systems subject to execution exceptions. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 263, Paderborn, 2009 – ISBN 978-3-939350-82-8
- Bd. 264 CHRISTIANSEN, S. K.: Methode zur Klassifikation und Entwicklung reifegradbasierter Leistungsbewertungs- und Leistungssteigerungsmodelle. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 264, Paderborn, 2009 – ISBN 978-3-939350-83-5
- Bd. 265 GAUSEMEIER, J. (Hrsg.): Vorausschau und Technologieplanung. 5. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung, Heinz Nixdorf Institut, 19. und 20. November 2009, Brandenburgische Akademie der Wissenschaften, Berlin, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 265, Paderborn, 2009 – ISBN 978-3-939350-84-2
- Bd. 266 KAULMANN, T.: Ressourceneffiziente Realisierung Pulsmoderter Neuronaler Netze. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 266, Paderborn, 2009 – ISBN 978-3-939350-85-9
- Bd. 267 WEHRMEISTER, M. A.: An Aspect-Oriented Model-Driven Engineering Approach for Distributed Embedded Real-Time Systems. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 267, Paderborn, 2009 – ISBN 978-3-939350-86-6
- Bd. 268 DANNE, C.: Assessing the Cost of Assortment Complexity in Consumer Goods Supply Chains by Reconfiguration of Inventory and Production Planning Parameters in Response to Assortment Changes. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 268, Paderborn, 2009 – ISBN 978-3-939350-87-3
- Bd. 269 AUFENANGER, M.: Situativ trainierte Regeln zur Ablaufsteuerung in Fertigungssystemen und ihre Integration in Simulationssysteme. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 269, Paderborn, 2009 – ISBN 978-3-939350-88-0
- Bd. 270 STOLL, K.: Planung und Konzipierung von Marktleistungen. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 270, Paderborn, 2010 – ISBN 978-3-939350-89-7
- Bd. 271 IHMELS, S.: Verfahren zur integrierten informationstechnischen Unterstützung des Innovationsmanagements. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 271, Paderborn, 2010 – ISBN 978-3-939350-90-3
- Bd. 272 GAUSEMEIER, J.; RAMMIG, F.; SCHÄFER, W.; TRÄCHTLER, A. (Hrsg.): 7. Paderborner Workshop Entwurf mechatronischer Systeme. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 272, Paderborn, 2010 – ISBN 978-3-939350-91-0
- Bd. 273 PURNAPRAJNA, M.: Run-time Reconfigurable Multiprocessors. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 273, Paderborn, 2010 – ISBN 978-3-939350-92-7
- Bd. 274 GAUSEMEIER, J.; GRAFE, M. (Hrsg.): 9. Paderborner Workshop Augmented & Virtual Reality in der Produktentstehung. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 274, Paderborn, 2010 – ISBN 978-3-939350-93-4
- Bd. 275 WEDMAN, S.: Lebensdauerüberwachung in mechatronischen Systemen. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 275, Paderborn, 2010 – ISBN 978-3-939350-94-1
- Bd. 276 GAUSEMEIER, J. (Hrsg.): Vorausschau und Technologieplanung. 6. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung, Heinz Nixdorf Institut, 28. und 29. Oktober 2010, Brandenburgische Akademie der Wissenschaften, Berlin, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 276, Paderborn, 2010 – ISBN 978-3-939350-95-8

Bände der HNI-Verlagsschriftenreihe

- Bd. 277 HUBER, D.: Geregelt Vereinfachung hierarchischer Partitionen von Modellen in der Materialflusssimulation. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 277, Paderborn, 2010 – ISBN 978-3-939350-96-5
- Bd. 278 DEGENER, B.: Local, distributed approximation algorithms for geometric assignment problems. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 278, Paderborn, 2010 – ISBN 978-3-939350-97-2
- Bd. 279 WARKENTIN, A.: Systematik zur funktionsorientierten Modellierung von Elektrik/Elektronik-Systemen über den Produktlebenszyklus. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 279, Paderborn, 2010 – ISBN 978-3-939350-98-9
- Bd. 280 BRINK, V.: Verfahren zur Entwicklung konsistenter Produkt- und Technologiestrategien. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 280, Paderborn, 2010 – ISBN 978-3-939350-99-6
- Bd. 281 SAMARA, S.: Adaptable OS Services for Distributed Reconfigurable Systems on Chip. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 281, Paderborn, 2010 – ISBN 978-3-942647-00-7
- Bd. 282 BIENKOWSKI, M.: Page migration in dynamic networks. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 282, Paderborn, 2010 – ISBN 978-3-942647-01-4
- Bd. 283 MAHLMANN, P.: Peer-to-peer networks based on random graphs. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 283, Paderborn, 2010 – ISBN 978-3-942647-02-1
- Bd. 284 DYNIA, M.: Collective graph exploration. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 284, Paderborn, 2010 – ISBN 978-3-942647-03-8
- Bd. 285 POHL, C.: Konfigurierbare Hardwarebeschleuniger für selbst-organisierende Karten. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 285, Paderborn, 2011 – ISBN 978-3-942647-04-5
- Bd. 286 DUMITRESCU, R.: Entwicklungssystematik zur Integration kognitiver Funktionen in fortgeschrittene mechatronische Systeme. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 286, Paderborn, 2011 – ISBN 978-3-942647-05-2
- Bd. 287 MEHLER, J.: Power-Aware Online File Allocation in Dynamic Networks. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 287, Paderborn, 2011 – ISBN 978-3-942647-06-9
- Bd. 288 HARCHENKO, J.: Mechatronischer Entwurf eines neuartigen aktiven Fahrzeuffederungssystems für PKW unter Verwendung einer reversierbaren Flügelzellenpumpe. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 288, Paderborn, 2011 – ISBN 978-3-942647-07-6
- Bd. 289 KORZENIOWSKI, M.: Dynamic Load Balancing in Peer-to-Peer Networks. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 289, Paderborn, 2011 – ISBN 978-3-942647-08-3
- Bd. 290 FRAHLING, G.: Algorithms for Dynamic Geometric Data Streams. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 290, Paderborn, 2011 – ISBN 978-3-942647-09-0
- Bd. 291 REYES PÉREZ, M.: A Specification Technique for the Conceptual Design of Manufacturing Systems. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 291, Paderborn, 2011 – ISBN 978-3-942647-10-6

Bände der HNI-Verlagsschriftenreihe

- Bd. 292 STEHR, J.: On the design and implementation of reliable and economical telematics software architectures for embedded systems: a domain-specific framework. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 292, Paderborn, 2011 – ISBN 978-3-942647-11-3
- Bd. 293 KRÖL, R.: Eine Reduktionsmethode zur Ableitung elektromechanischer Ersatzmodelle für piezoelektrische Wandler unter Verwendung der Finite-Elemente-Methode (FEM). Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 293, Paderborn, 2011 – ISBN 978-3-942647-12-0
- Bd. 294 GAUSEMEIER, J.; RAMMIG, F.; SCHÄFER, W.; TRÄCHTLER, A. (Hrsg.): 8. Paderborner Workshop Entwurf mechatronischer Systeme. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 294, Paderborn, 2011 – ISBN 978-3-942647-13-7
- Bd. 295 GAUSEMEIER, J.; GRAFE, M.; MEYER AUF DER HEIDE, F. (Hrsg.): 10. Paderborner Workshop Augmented & Virtual Reality in der Produktentstehung. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 295, Paderborn, 2011 – ISBN 978-3-942647-14-4
- Bd. 296 POOK, S.: Eine Methode zum Entwurf von Zielsystemen selbstoptimierender mechatronischer Systeme. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 296, Paderborn, 2011 – ISBN 978-3-942647-15-1
- Bd. 297 MRACEK, M.: Untersuchung des dynamischen Verhaltens gekoppelter piezoelektrischer Ultraschallmotoren mit Stoßkontakt. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 297, Paderborn, 2011 – ISBN 978-3-942647-16-8
- Bd. 298 GEHWEILER, J.: Peer-to-Peer Based Parallel Web Computing. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 298, Paderborn, 2011 – ISBN 978-3-942647-17-5
- Bd. 299 BRUNS, T.: Trajektorienplanung mittels Diskretisierung und kombinatorischer Optimierung am Beispiel des autonomen Kreuzungsmanagements für Kraftfahrzeuge. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 299, Paderborn, 2011 – ISBN 978-3-942647-18-2
- Bd. 300 GAUSEMEIER, J. (Hrsg.): Vorausschau und Technologieplanung. 7. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung, Heinz Nixdorf Institut, 24. und 25. November 2011, Brandenburgische Akademie der Wissenschaften, Berlin, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 300, Paderborn, 2011 – ISBN 978-3-942647-19-9
- Bd. 301 SALFELD, M.: Konzeption eines Regelungssystems zur gezielten Beeinflussung der Fahrdynamik in Unfallsituationen. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 301, Paderborn, 2012 – ISBN 978-3-942647-20-5
- Bd. 302 KEMPKES, B.: Local Strategies for Robot Formation Problems. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 302, Paderborn, 2012 – ISBN 978-3-942647-21-2
- Bd. 303 DELIUS, R.: Sicherstellen der Abrufe bei Automotive-Zulieferern mit minimalen Kosten unter besonderer Berücksichtigung von Liquiditäts-, Beschäftigungs-, Knowhow- und IT-Restriktionen. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 303, Paderborn, 2012 – ISBN 978-3-942647-22-9
- Bd. 304 NORDSIEK, D.: Systematik zur Konzipierung von Produktionssystemen auf Basis der Prinzipiöfung mechatronischer Systeme. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 304, Paderborn, 2012 – ISBN 978-3-942647-23-6
- Bd. 305 KREFT, S.: Systematik zur effizienten Bildung geospezifischer Umgebungsmodelle für Fahrsimulationen. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 305, Paderborn, 2012 – ISBN 978-3-942647-24-3

Bände der HNI-Verlagsschriftenreihe

- Bd. 306 GAUSEMEIER, J. (Hrsg.): Vorausschau und Technologieplanung. 8. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung, Heinz Nixdorf Institut, 6. und 7. Dezember 2012, Brandenburgische Akademie der Wissenschaften, Berlin, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 306, Paderborn, 2012 – ISBN 978-3-942647-25-0
- Bd. 307 REYMANN, F.: Verfahren zur Strategieentwicklung und -umsetzung auf Basis einer Retropolation von Zukunftsszenarien. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 307, Paderborn, 2013 – ISBN 978-3-942647-26-7
- Bd. 308 KAHL, S.: Rahmenwerk für einen selbst-optimierenden Entwicklungsprozess fortschrittlicher mechatronischer Systeme. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 308, Paderborn, 2013 – ISBN 978-3-942647-27-4
- Bd. 309 WASSMANN, H.: Systematik zur Entwicklung von Visualisierungstechniken für die visuelle Analyse fortgeschrittener mechatronischer Systeme in VR-Anwendungen. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 309, Paderborn, 2013 – ISBN 978-3-942647-28-1
- Bd. 310 GAUSEMEIER, J.; RAMMIG, F.; SCHÄFER, W.; TRÄCHTLER, A. (Hrsg.): 9. Paderborner Workshop Entwurf mechatronischer Systeme. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 310, Paderborn, 2013 – ISBN 978-3-942647-29-8
- Bd. 311 GAUSEMEIER, J.; GRAFE, M.; MEYER AUF DER HEIDE, F. (Hrsg.): 11. Paderborner Workshop Augmented & Virtual Reality in der Produktentstehung. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 311, Paderborn, 2013 – ISBN 978-3-942647-30-4
- Bd. 312 BENSIEK, T.: Systematik zur reifegradbasierten Leistungsbewertung und -steigerung von Geschäftsprozessen im Mittelstand. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 312, Paderborn, 2013 – ISBN 978-3-942647-31-1
- Bd. 313 KOKOSCHKA, M.: Verfahren zur Konzipierung imitationsgeschützter Produkte und Produktionssysteme. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 313, Paderborn, 2013 – ISBN 978-3-942647-32-8
- Bd. 314 VON DETTEN, M.: Reengineering of Component-Based Software Systems in the Presence of Design Deficiencies. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 314, Paderborn, 2013 – ISBN 978-3-942647-33-5
- Bd. 315 MONTEALEGRE AGRAMONT, N. A.: Immunorepairing of Hardware Systems. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 315, Paderborn, 2013 – ISBN 978-3-942647-34-2
- Bd. 316 DANGELMAIER, W.; KLAAS, A.; LAROQUE, C.: Simulation in Produktion und Logistik 2013. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 316, Paderborn, 2013 – ISBN 978-3-942647-35-9
- Bd. 317 PRIESTERJAHN, C.: Analyzing Self-healing Operations in Mechatronic Systems. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 317, Paderborn, 2013 – ISBN 978-3-942647-36-6
- Bd. 318 GAUSEMEIER, J. (Hrsg.): Vorausschau und Technologieplanung. 9. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung, Heinz Nixdorf Institut, 5. und 6. Dezember 2013, Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften, Berlin, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 318, Paderborn, 2013 – ISBN 978-3-942647-37-3
- Bd. 319 GAUSEMEIER, S.: Ein Fahrerassistenzsystem zur prädiktiven Planung energie- und zeitoptimaler Geschwindigkeitsprofile mittels Mehrzieloptimierung. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 319, Paderborn, 2013 – ISBN 978-3-942647-38-0

Bände der HNI-Verlagsschriftenreihe

- Bd. 320 GEISLER, J.: Selbstoptimierende Spurführung für ein neuartiges Schienenfahrzeug. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 320, Paderborn, 2013 – ISBN 978-3-942647-39-7
- Bd. 321 MÜNCH, E.: Selbstoptimierung verteilter mechatronischer Systeme auf Basis paretooptimaler Systemkonfigurationen. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 321, Paderborn, 2014 – ISBN 978-3-942647-40-3
- Bd. 322 RENKEN, H.: Acceleration of Material Flow Simulations - Using Model Coarsening by Token Sampling and Online Error Estimation and Accumulation Controlling. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 322, Paderborn, 2014 – ISBN 978-3-942647-41-0
- Bd. 323 KAGANOVA, E.: Robust solution to the CLSP and the DLSP with uncertain demand and online information base. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 323, Paderborn, 2014 – ISBN 978-3-942647-42-7
- Bd. 324 LEHNER, M.: Verfahren zur Entwicklung geschäftsmodell-orientierter Diversifikationsstrategien. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 324, Paderborn, 2014 – ISBN 978-3-942647-43-4
- Bd. 325 BRANDIS, R.: Systematik für die integrative Konzipierung der Montage auf Basis der Prinziplösung mechatronischer Systeme. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 325, Paderborn, 2014 – ISBN 978-3-942647-44-1
- Bd. 326 KÖSTER, O.: Systematik zur Entwicklung von Geschäftsmodellen in der Produktentstehung. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 326, Paderborn, 2014 – ISBN 978-3-942647-45-8
- Bd. 327 KAISER, L.: Rahmenwerk zur Modellierung einer plausiblen Systemstrukturen mechatronischer Systeme. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 327, Paderborn, 2014 – ISBN 978-3-942647-46-5
- Bd. 328 KRÜGER, M.: Parametrische Modellordnungsreduktion für hierarchische selbstoptimierende Systeme. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 328, Paderborn, 2014 – ISBN 978-3-942647-47-2