

Diploma Thesis

Applying calculation methods of COCOMO to budget and time schedules in the construction industry

Submitted in satisfaction of the requirements for the degree of
Diplom-Ingenieur / Diplom-Ingenieurin
of the TU Wien, Faculty of Civil Engineering

DIPLOMARBEIT

Kalkulatorische Anwendung der COCOMO-Methode auf die Kosten- und Terminplanung in der Bauwirtschaft

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines / einer
Diplom-Ingenieurs/ Diplom-Ingenieurin
eingereicht an der Technischen Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Maximilian Weigert

Matr.Nr.: 0926169

unter der Anleitung von

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Andreas Kropik**

Bmstr. Dipl.-Ing. **Daniel Szkopecz**

Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement
Forschungsbereich Bauwirtschaft und Baumanagement
Technische Universität Wien,
Karlsplatz 13/234, A-1040 Wien

Wien, im Februar 2019

Abstract

Untersucht wird die bauwirtschaftliche Anwendung von statistisch-algorithmischen Methoden zur Schätzung von Kosten und Terminen, wie sie in Barry Boehms „COCOMO“ beschrieben werden. Es werden die Aspekte der Kostenermittlung aus Bauherrensicht, der Unternehmerkalkulation, der Honorarerstellung von Planern und der Zeitplanerstellung beleuchtet. Parallel dazu werden die Systemgrenzen und -voraussetzungen ermittelt und die Einhaltung der ÖNORMEN bzw. der DIN-Normen beachtet. Das ‚*model for reuse*‘ für die Wiederverwendung von Software wird auf die Kostenermittlung von Umbauten umzulegen versucht. Die auf die Bauwirtschaft adaptierten Modelle werden schließlich auf ihre Tauglichkeit unter besonderem Augenmerk auf die Präzision und auf die Anwendung als Analysetool für Planungsentscheidungen getestet und evaluiert.

+++++

The present thesis studies the application of statistical-algorithmic methods described in Barry Boehm's "COCOMO" to the construction industry to estimate project costs and schedules. The author focuses on the cost determination from a developer's point of view, the contractor's calculation, architect's and engineer's fees and the creation of project schedules. Simultaneously, the thesis determines system boundaries and requirements against the background of the standards of the Austrian "ÖNORMEN" and the German "DIN-Normen". The 'model for reuse', one of COCOMO's submodels for dealing with recycled software, is adapted to the cost approximation of reconstruction projects. Finally, the modified models are tested for their suitability; special attention is given to the evaluation of their preciseness as well as their usability as a tool of analysis for planning decisions.

Inhaltsverzeichnis

ABSTRACT	II
INHALTSVERZEICHNIS	III
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	IV
1 EINLEITUNG.....	1
1.1 Forschungsfragen und Forschungsabgrenzung	4
1.2 Forschungsmethodik.....	4
2 DAS COCOMO MODELL IN DER SOFTWAREENTWICKLUNG.....	5
2.1 Basic COCOMO	6
2.2 Intermediate COCOMO	13
2.3 Detailed COCOMO	20
2.4 COCOMO II	23
2.5 Genauigkeit.....	29
2.6 Aktuelle Anwendungsgebiete von COCOMO.....	30
2.7 Vergleich der Modelle.....	31
3 KOSTENERMITTLUNG UND KALKULATION IM BAUWESEN	32
3.1 Stufen der Kostenermittlung nach DIN 276 und ÖNORM B 1801-1.....	32
3.2 Kostengruppen und Kostengliederung	37
3.3 Kostenermittlungsverfahren	39
3.4 Kostenkennwerte	45
3.5 Terminplanung	46
3.6 Kalkulation	47
3.7 Kostenarten.....	48
3.8 Aufbau der Kostenermittlung.....	53
3.9 Verteilung von Kosten	55
3.10 Phasen der Kalkulation.....	58
3.11 Kostenermittlung von Planungsleistungen	60
4 UMLEGUNG DES COCOMO-MODELLS AUF DIE BAUWIRTSCHAFT ..	67
4.1 Statistische Methoden in der Kostenermittlung	68
4.2 Statistische Methode in der Terminplanung	81
4.3 Statistische Methoden in der Kalkulation	86
4.4 Kostenprognose von Planungsleistungen.....	87
4.5 Zusammenfassung	89
5 CONCLUSIO	94
6 VERZEICHNISSE	97
Literaturverzeichnis.....	97
Webquellenverzeichnis.....	98
Abbildungsverzeichnis.....	100
Tabellenverzeichnis	100
Formelverzeichnis.....	102
7 NORMEN.....	103
8 EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG	104

Abkürzungsverzeichnis

AA	Assessment and Assimilation	Aufwand für Begutachtung und Angleichung von zu adaptierendem Code
AAF	Adaption Adjustment Factor	Faktor für die Angleichung des Arbeitsaufwands von adaptiertem Code
AAM	Adaption Adjustment modifier	Modifikator für die Angleichung des Arbeitsaufwands von adaptiertem Code
ACAP	Analyst capability	Fähigkeit der Analysten
ADSI	Adapted Delivered Source Instructions	Anzahl der adaptierten Codezeilen
AEXP	Applications Experience	Erfahrung mit den verwendeten Anwendungen. Synonymisch zu APEX
AFU	Adaptionsfaktor Umbau	
APEX	Application Experience	Erfahrung mit den verwendeten Anwendungen. Synonymisch zu AEXP
AT	Automatically Translated Code	Prozentsatz des automatisch ans neue Programm angepassten Codes
AW	Aufwandswert	
BGF	Brutto-Grundfläche	Summe aller nutzbaren Flächen inklusive derer konstruktiven Umschließung
BIM	Building Information Modeling	Bauwerksdatenmodellierung, digitale Planungsmethode
BKI	Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern	
BRI	Brutto-Rauminhalt	Volumen des nutzbaren Gebäudes
CLEF	Component Level Estimating Form	Formular für die Aufwandabschätzung auf Komponentenebene

CM	Percent Code modified	Prozentsatz des Codes, der für die Adaption modifiziert werden muss
COCOMO	COConstructive COost MOdel	Algorithmisches Modell zur Aufwandsermittlung im Softwaremanagement
CPLX	Product Complexity	Produktkomplexität
CUD	Code and Unit Test phase	Code- und Modultestphase
DATA	Data base size	Größe der Datenbank
DD	Detailed Design phase	Detaillierte Designphase
DM	Percent Design Modified	Prozentsatz des Designs, das für die Adaption modifiziert werden muss
DOCU	Documentation match to life-cycle needs	Eignung der Projektdokumentation für dessen Dauer
DSI	Delivered Source Instructions	Anzahl der ausgelieferten Codezeilen (synonymisch zu SCLOC)
EAF	Effort Adjustment Factor	Resultierender Faktor zur Adjustierung des Aufwands
EDSI	Equivalent Delivered Source Instructions	Anzahl der äquivalenten ausgelieferten Codezeilen
EE	Ebene der Elementtypen	
EM	Effort multiplier	Aufwandsmultiplikator
EP	Einheitspreis	
EP	Elementtypparameter	
FCIL	Facilities	Hilfsmittel
FIFO	First In First Out	Als Erstes hinein – als Erstes heraus
FLEX	Development Flexibility	Entwicklungsflexibilität
FP	Function Point	Funktionspunkt, Maßeinheit für die Informationsverarbeitung eines Codes
FRAC	Vermutlich: Fraction (kein Beleg)	Anteil des Aufwands je Projektphase

FSP	Full-time-equivalent Software Personnel	Vollzeitäquivalentes Softwarepersonal
G1	Gliederungsebene 1	
G2	Gliederungsebene 2	
G3	Gliederungsebene 3	
GKo	Gehaltskosten	
IM	Percent Integration Modified	Modifizierter Prozentsatz für Integration
IT	Integration and Test phase	Integrations- und Testphase
K	Stückkosten	
KDSI	Thousands of Delivered Source Instructions	Anzahl der Tausend ausgelieferten Codezeilen (synonymisch zu KSLOC)
KEDSI	Thousands of Equivalent Delivered Source Instructions	Anzahl der Tausend äquivalenten ausgelieferten Codezeilen
KKW1	Kostenkennwerte der 1. Ebene	
KKW2	Kostenkennwerte der 2. Ebene	
KKW3	Kostenkennwerte der 3. Ebene	
KSLOC	Kilo source lines of code	Anzahl der Tausend ausgelieferten Codezeilen (synonymisch zu KDSI)
LEXP	Language Experience	Erfahrung mit der verwendeten Programmiersprache
LIFO	Last In First Out	Zuletzt hinein – als Erstes heraus
LKo	Lohnkosten	
LP	Leistungsposition	
LTEX	Language and Tool Experience	Erfahrungslevel der Entwickler mit der Programmiersprache und den verwendeten Softwaretools
LV	Leistungsverzeichnis	
LW	Leistungswert	

MKo	Materialkosten	
MM	Man-Months	Mannmonate, synonymisch zu PM
MODP	Modern programming practices	Einsatz moderner Programmier- techniken
NE	Nutzeinheiten	
NF	Nutzfläche	Nutzbare Fläche
NRF	Netto-Raumfläche	Summe der nutzbaren Grundflächen
NS	Nominal Schedule	Nomineller Zeitplan
OD	Objektdaten	
OE	Objektebene	
OP	Objektparameter	
P1	Parameter der 1. Ebene	
P2	Parameter der 2. Ebene	
P3	Parameter der 3. Ebene	
PCAP	Programmer Capability	Fähigkeit der Programmierer
PDIF	Platform difficulty	Durch die Plattform verursachte Komplikationen
PERS	Personnel capability	Fähigkeiten des Personals
PLEX	Platform Experience	Erfahrung mit der verwendeten Platt- form
PM	Person-Months	Personenmonate (synonymisch zu MM)
PMAT	Process Maturity	Prozessreife: das Ausmaß, in dem Prozesse explizit definiert, gema- nagt, gemessen und kontrolliert wer- den und in dem sie effektiv sind
PREC	Precedentedness	Existenz von Präzedenzfällen
PREX	Personnel experience	Erfahrung des Personals
RCPX	Product reliability and complexity	(Geforderte) Produktverlässlichkeit und Produktkomplexität

RELY	Required software reliability	(Geforderte) Softwareverlässlichkeit
RESL	Architecture / Risk Resolution	Risikoauflösung, Qualität des Risikomanagements
RPD	Requirements Planning and Product Design phase	Phase der Planung der Voraussetzungen und des Produktdesigns
RUSE	Developed for reusability	Entwickelt zur Wiederverwendung
RW	Restwert	
SCED	Required development schedule	Notwendiger Entwicklungszeitplan
SCED	Required developmend schedule	Geforderter Entwicklungszeitplan
SF	Scale Factor	Skalierungsfaktor
SHEF	Software Hierarchy Estimating Form	Formular für die Aufwandabschätzung auf Hierarchieebene
SITE	Multisite development	Entwicklung an verschiedenen Orten
SLOC	Source Lines Of Code	Anzahl der ausgelieferten Codezeilen (synonymisch zu DSI)
SP	Sonderpositionen	
STOR	Main Storage constraint	Einschränkung durch den Hauptspeicher
SU	Software Understanding increment	Inkrement für die Struktur, Verständlichkeit und Qualität der vorhandenen Beschreibung der ursprünglichen Software
TDEV	Development schedule	Entwicklungszeitplan
TEAM	Team Cohesion	Teamzusammenhalt
TIME	Execution time constraint	Limitierung durch Ausführungszeit
TOOL	Use of software tools	Verwendung von Software
TURN	Computer turnaround time	Computer Bearbeitungszeit
UFP	Unadjusted Function Point	(Noch nicht adjustierte,) Gewichtete Summe der Function Points

UNFM	Software Unfamiliarity	Grad der Unbekanntheit der Software
VEXP	Virtual machine experience	Erfahrung mit der verwendeten virtuellen Maschine
VIRT	Virtual machine volatility	Volatilität (Schwankungen) der virtuellen Maschine
VM	Vorhaltemonat	
VOB	Vertragsordnung für Bauleistungen	

1 Einleitung

Die Baubranche gilt weltweit als eine der härtesten Branchen überhaupt. Das liegt nicht nur an der schweren und gefährlichen körperlichen Arbeit – in Österreich gibt es diesbezüglich ohnehin sehr strenge Vorschriften im internationalen Vergleich - auch der Wettbewerb ist sehr hart, der durchschnittliche Gewinn der Baufirma beträgt nur 1 bis 4 % von den Gesamtkosten¹. Hohe Konkurrenz, auch durch Mitbieter² aus dem EU-Ausland führen zu knappen Ausschreibungskalkulationen. Um eine Auslastung zu garantieren müssen Firmen – je nach Auftragslage - oft sogar mit Verlust kalkulieren, um überhaupt Umsatz zu generieren, der ihre laufenden Geschäftsgemeinkosten und die Löhne und Gehälter (die ja auch bei Nicht-Beschäftigung zu zahlen sind) deckt. Dass dann kein Platz mehr für Fehler in der Kalkulation bleibt, liegt auf der Hand. Ausschreibungen werden penibel auf Unregelmäßigkeiten geprüft, z.B. auf die Besonderheiten des Projekts und deren Einfluss auf die Baukosten, ob Eventualpositionen in hohem Maße zur Ausführung kommen könnten oder ob davon ausgegangen werden kann, dass einzelne Positionen wegfallen. Selbst spekulative Angebote kommen vor, wo Firmen wie im Casino darauf setzen, dass ausgeschriebene Positionen schließlich in geringerem Maße, gar nicht oder sogar mehr als geplant zur Ausführung kommen, indem sie diese ungewöhnlich hoch oder niedrig in ihrem Angebot bepreisen, um am Ende des Tages einen hohen Gewinn einfahren – oder Verlust schreiben.

Auch auf Seite des Planers bzw. der Projektsteuerung ist eine gute Kostenplanung und -kontrolle unumgänglich. Private Auftraggeber können von Preisexplosionen, die durch fehlerhafte Kostenplanung verursacht werden, finanziell schwer getroffen und an den Rand der Existenz gebracht werden. Öffentliche Bauherren haben dieses Risiko nicht, allerdings haben die handelnden Funktionäre die politische Verantwortung für finanziell schiefgegangene Projekte zu tragen. Eine möglichst exakte und übersichtliche Kostenplanung ist also da wie dort im Sinne aller Beteiligten.

Generell gilt, je weiter das Bauprojekt fortgeschritten ist, desto weniger kann die Trinität aus Qualitäten, Terminen und Kosten beeinflusst werden. Früh im Projekt werden die grundlegenden Entscheidungen getroffen und diese können nicht oder nur sehr schwer rückgängig gemacht werden. Ganz zu Beginn – nach der Machbarkeitsstudie - steht die Frage nach der Entscheidung über die Bauausführung, die Kostenbeeinflussbarkeit ist noch sehr hoch, sinkt aber, je weiter und detaillierter die Planung voranschreitet. Die Kurve macht

¹ Lunz, 2011

² Hinweis:

Der Autor legt großen Wert auf Diversität und Gleichbehandlung. Im Sinne einer besseren Lesbarkeit wird in dieser Arbeit entweder die maskuline oder feminine Form gewählt. Das impliziert keinesfalls eine Benachteiligung des jeweils anderen Geschlechts.

einen deutlichen Knick, sobald mit der Ausführung begonnen wird, bis zum Moment der Übernahme besteht jedoch noch ein Handlungsspielraum, sodass die Verfolgung, Kontrolle und auch Steuerung der Kosten (das englische Wort *controlling* umfasst in diesem Zusammenhang sowohl Kontrolle als auch Steuerung) über den gesamten Projektzeitraum hinweg sinnvoll und sogar notwendig sind, um die Kosten in den gewünschten Bahnen zu behalten.

Die Methodik der Projektsteuerung zur Kostenermittlung ist seit jeher unverändert: erst werden anhand von Bedarfsdaten grobe Schätzungen angestellt, die dann mit fortlaufendem Planungsstand immer konkreter und genauer werden. Dies geschieht mit Kennwerten, wobei in der Regel davon ausgegangen wird, dass ein annähernd linearer Zusammenhang zwischen Bauumfang und Kosten besteht. Die Kennwerte werden entweder aus eigenen Erfahrungswerten oder aus öffentlichen Datenbanken abgeschlossener Bauprojekte des gleichen Typs gewonnen und nehmen an, dass das geplante Objekt ähnliche Stückkosten wie die vorherigen verursachen wird, wenn die Qualitäten und Standards auch ähnlich sind. Die Bieter kalkulieren nach Veröffentlichung der Ausschreibung nun anders: sie berechnen in der Vorkalkulation, wie viel die Ausführung jeder einzelnen Position unter den gegebenen Umständen voraussichtlich kosten wird, bevor diese Zahl im Zuge der Erstellung der Angebotskalkulation eventuell noch strategisch verändert wird.

Ein vollkommen anderer Ansatz zur Kostenplanung wird in der Softwareentwicklung gewählt. Hier machen Personalkosten den höchsten Anteil der Gesamtkosten aus, da die Kosten für Hard- und Software, Miete und Arbeitsunterlagen im Vergleich zu Baumaterial-, Baumaschinen- und Baustelleneinrichtungskosten verschwindend gering sind. Die zu bezahlende Arbeitszeit ist also der wichtigste Kostenfaktor von Softwareprojekten. Daher sind Arbeitsaufwand (in Personenmonaten) und monatliches Gehalt die Größen, mit denen ein Großteil der Kosten berechnet werden kann. Die Gehälter sind bekannt, die einzige Unbekannte bleibt demnach der Aufwand. Die Aufwandsschätzung kommt in der Softwareentwicklung also der Kostenschätzung gleich. Ein gängiges Modell dafür ist das sogenannte Cost Constructive Modell – kurz COCOMO.

Der vom Softwareentwickler Barry Boehm 1981 entwickelte³ (und 2000 in Form von COCOMO II erheblich verbesserte)⁴ Algorithmus basiert auf Erkenntnissen, die aus insgesamt 224 Softwareprojekten gewonnen wurden. Er setzt die Anzahl der Codezeilen in ein Verhältnis zum Arbeitsaufwand, nach der Struktur Aufwand = A * (Codezeilen)^B. Das Ergebnis dieser Gleichung wird anschließend zusätzlich mit Korrekturfaktoren (Kosteneinflussfaktoren) multipliziert, die dafür Sorge tragen, dass die Besonderheiten des einzelnen

³ Boehm, 1981

⁴ Boehm et al., 2000

Projekts wie z.B. Erfahrung des Personals oder Qualität der vom Entwicklungsteam verwendeten Hardware in die Kostenschätzung Einzug finden. In seinen Büchern *Software Engineering Economics* und *Software Cost Estimation with COCOMO II* widmet sich Boehm ausführlich der möglichst präzisen Bestimmung der Variablen A und B sowie den Kosteneinflussfaktoren und deren Werten. Er experimentiert damit, die Faktoren auf die einzelnen Projektphasen oder gewisse Teilbereiche des Projekts unterschiedlich wirken zu lassen und präsentiert einen eigenen Algorithmus für den Aufwand der Produktion von Software, die aus alter Software „recycelt“ wird oder schon bestehende Codefragmente enthält bzw. aus solchen zusammengesetzt wird. Die vielseitige und lösungsorientierte Struktur dieses Modells ist gemeinsam mit der durch die währungs- und inflationsunabhängige Outputgröße „Aufwand“ [Zahl der Arbeitskräfte × Zeit] bedingte Zeitlosigkeit der Grund dafür, dass es fast 40 Jahre nach der Erstveröffentlichung immer noch eines der Standardtools für Manager im Softwareengineering-Bereich ist.

Die Gemeinsamkeiten von Bau- und Softwareprojekten lassen sich bei genauerer Betrachtung nicht leugnen: es werden maßgeschneiderte Lösungen verlangt, die jede für sich einen einzigartigen Prototypen darstellen und dennoch existieren meistens bereits Referenzprojekte, die dem entstehenden Objekt in vieler Hinsicht ähneln. Beiderseits geht es mitunter um hohe Auftragssummen: die Entwicklung des 2007 veröffentlichten Windows Vista kostete Microsoft damals sechs Milliarden Dollar (4,4 Milliarden Euro)⁵ und damit zum Beispiel deutlich mehr als die 2016 fertiggestellte Elbphilharmonie in Hamburg (über 866 Millionen €).⁶ Aber auch den mit den hohen Einsätzen verbundenen Zeitdruck und die Notwendigkeit der Koordination einer Vielzahl Projektbeteiligter haben diese Branchen gemeinsam.

Wer gründlich sucht, findet statistische Modelle mit empirischen Daten und algorithmische Ansätze zur Kostenermittlung auch im Bauwesen. Es beginnt mit Tabellen zu Kosten und Kostenkennwerten und geht von Baupreisindizes und Korrekturfaktoren für besondere Gegebenheiten, die sich in der Literatur finden, bis zu statistischen Verfahren zur Kostenermittlung. Viele Wege führen zum Ziel und jede sinnvolle Methode der Kostenplanung wird von den Normen akzeptiert und kann in der Praxis angewandt werden. Da findet sich jede Methode in allen möglichen Abwandlungen und Vermischungen und das ist legitim, solange es den Normen entspricht und die Prinzipien der Richtigkeit, der Vollständigkeit und der Nachvollziehbarkeit nicht verletzt werden.

⁵ Oiaga, 2007

⁶ Kapalschinski, 2016

1.1 Forschungsfragen und Forschungsabgrenzung

Die vorliegende Arbeit widmet sich hauptsächlich der Beantwortung folgender Fragen:

- ◆ Was sind die aktuellen Einsatzgebieten von COCOMO?
- ◆ Kann die Kostenplanung der Bauindustrie von den COCOMO Modellen lernen bzw. wo bestehen möglicherweise bereits Gemeinsamkeiten?
- ◆ lassen sich einzelne Elemente von COCOMO auf die Kostenplanung der Bauindustrie umlegen oder in diese integrieren?
- ◆ Was wären hierfür die Voraussetzungen und wo wären die Grenzen der Sinnhaftigkeit?

Es geht dem Autor weniger um die Umlegung des Einen auf das Andere als darum, durch die Extraktion von Wissen und Technologie der einen Branche einen Beitrag zur Verbesserung der anderen zu leisten, alte Denkmuster aufzubrechen und als Anregung dafür zu dienen, neue und alternative Sichtweisen auf altbekannte Probleme zuzulassen.

1.2 Forschungsmethodik

Die oben beschriebenen Fragen werden allesamt mit Hilfe der denklogisch-deduktiven Methode bearbeitet. Sie wird angewandt, indem die aktuellen Wissensstände der Bauwirtschaft und der COCOMO-Methode festgehalten werden, um schließlich Schlüsse zum Vergleich und der Anwendung der COCOMO-Methoden auf die Bauwirtschaft zuzulassen. Zusätzlich werden vorhandene Daten zu Bauprojekten herangezogen, um mit der angewandten Methode die Gesetzmäßigkeiten und Zusammenhänge zwischen Objektparametern und Kosten und Terminen zu erforschen. Im Zuge dessen werden empirische Modelle nach dem Vorbild COCOMOs kreiert und auf ihre Anwendungstauglichkeit untersucht. Außerdem wird die Technik der Anwendung von statistisch-algorithmischen Parametermodellen als Analysetool zumindest theoretisch angedacht, wenn auch nicht getestet.

2 Das COCOMO Modell in der Softwareentwicklung

Das *Constructive Cost Model*, kurz COCOMO, wurde 1981 von Barry Boehm im Rahmen seines Lehrbuches *Software Engineering Economics* vorgestellt. Es handelt sich um ein Modell zur Abschätzung des Personalaufwands von Softwareprojekten. Gleichzeitig liefert es ein Ergebnis für die optimale Entwicklungsdauer und die optimale personelle Besetzung in den einzelnen Projektphasen. Der wichtigste Kostentreiber ist die Anzahl der im ausgelieferten Programm enthaltenen Codezeilen, die *delivered source instructions* (DSI) multipliziert mit 1000 (KDSI).⁷

COCOMO besteht aus Algorithmen, die auf statistisch ermittelten Werten aufbauen. Zur empirischen Ermittlung dieser Werte wurden von Boehm insgesamt 63 verschiedene Softwareprojekte unterschiedlicher Größe analysiert und ausgewertet.⁸

Das Modell umfasst drei Stufen: das *Basic COCOMO Model*, das *Intermediate COCOMO Model* und das *Detailed COCOMO Model*. Die Stufen sind aufeinander aufbauend, das heißt, jede Stufe ist in den folgenden Stufen inbegriffen und diese stellt jeweils eine Weiterentwicklung dar.⁹

Das *Basic Model* ist unkompliziert und verwendet keine weiteren Parameter neben den KDSI.¹⁰ Im *Intermediate Model* finden 15 weitere *Cost Driver Attributes* (Kosteneinflussfaktoren) Berücksichtigung, das Modell wird dadurch komplizierter aber auch genauer.¹¹ Das genaueste und zuverlässigste Ergebnis wird durch das *Detailed Model* erzielt: hier wird der Arbeitsaufwand auf ein dreistufiges Hierarchiesystem des Softwarecodes verteilt und getrennt analysiert.¹²

Der wichtigste Output des Modells ist der Arbeitsaufwand in Mann-Monaten, also die Anzahl der durchschnittlich am Projekt beschäftigten Arbeiter multipliziert mit der Entwicklungsdauer, bzw. das Integral der beschäftigten Arbeiter über die Zeitdauer der Projektentwicklung. Der Arbeitsaufwand ist ein besserer Gradmesser als die reine Höhe der Personalkosten, da er unabhängig von Inflation und Lohnniveau ist und somit immer und überall gültig bleibt¹³

Zur Abgrenzung von der überarbeiteten Weiterentwicklung des Modells, COCOMO II, wird das ursprüngliche Modell oft (nach dem Entwicklungsjahr) COCOMO 81 benannt.

⁷ Boehm, 1981, S. 57f

⁸ Boehm, 1981, S. 83

⁹ Boehm, 1981, S. 58

¹⁰ Boehm, 1981, S. 57

¹¹ Boehm, 1981, S. 114f

¹² Boehm, 1981, S. 344f

¹³ Boehm, 1981, S. 61

2.1 Basic COCOMO

Die erste Stufe des COCOMO Modells eignet sich gut für eine schnelle, frühe, ungefähre Überschlagsrechnung der Softwarekosten. Die Genauigkeit ist jedoch aufgrund des fehlenden Einflusses von Faktoren, die bekannterweise großen Einfluss auf die Kosten von Softwareprojekten auswirken - z.B. Hardware, Fähigkeiten und Erfahrung der Programmierer, Verwendung von modernen Tools – stark begrenzt.¹⁴

2.1.1 Definitionen und Annahmen

Die Rahmenbedingungen des Modells sind genau wie folgt definiert:

- 1) Der primäre Kostentreiber sind die *delivered source instructions*, was nicht in der gelieferten Software enthaltene Nebenprogramme wie *test drivers* oder Kommentare zum Softwarecode ausdrücklich ausschließt.
- 2) Die Entwicklungsperiode, die von der COCOMO Kostenschätzung umfasst wird, ist genau definiert. Sie beginnt am Start der Produktdesignphase und endet mit dem Ende der Integrations- und Testphase.
- 3) Die Kostenschätzung umfasst nur die in einer von Boehm definierten *software work breakdown structure* enthaltenen Aufgaben.
- 4) Jegliche direkt auf das Projekt aufgewendete Arbeit ist in der Kostenschätzung enthalten, inklusive Projektmanager und Programmbibliothekare. Ausdrücklich davon ausgenommen sind projektunspezifische Arbeiten, die sonst im Unternehmen anfallen, wie zum Beispiel Sekretärinnen.
- 5) Ein Mann-Monat ist zu 152 Mann-Stunden, 19 Mann-Tagen und 1/12 Mann-Jahr definiert. Dies ergibt sich aus den durchschnittlichen Arbeitszeiten. Urlaub, Krankenstand etc. sind bereits berücksichtigt.
- 6) Für das Modell wird angenommen, dass ein gutes Management von sowohl Entwickler- als auch Kundenseite vorhanden ist und der Anteil an unproduktiver Zeit gering ist.
- 7) Weiters wird angenommen, dass sich die Spezifikationen und Anforderungen des Programms im Verlauf der Entwicklung nicht substanziell ändern, andernfalls wird dringend zu einer neuerlichen Kostenermittlung geraten.

¹⁴ siehe dazu Kapitel 2.1.6

- 8) Die Abhängigkeit des Einflusses der Kostentreiber von den Entwicklungsphasen, die durch das *Detailed COCOMO* ausgedrückt wird, wird bei *Basic* und *Intermediate COCOMO* nicht berücksichtigt, außer bei der Unterscheidung zwischen Entwicklung und Modifikation einer Software.
- 9) Die Kosten einer Phase inkludieren alle Kosten, die während dieser Phase anfallen.¹⁵

2.1.2 Berechnung

Basic COCOMO setzt die geschätzten Codezeilen in eine Relation zum Arbeitsaufwand in Mannmonaten (MM):

$$MM = 2,4 \times (KDSI)^{1,05} \quad \text{(2.1 Personalaufwand Basic)}$$

Auch für die Projektdauer (*table of development*, TDEV) existiert eine Formel:¹⁶

$$TDEV = 2,5 \times (MM)^{0,38} \quad \text{(2.2 Entwicklungszeitplan Basic)}$$

Daraus können die Produktivität in Codezeilen pro Mannmonat und die durchschnittliche Personalbesetzung FSP (*full-time-equivalent software personnel*) des Projekts als Quotient der Mannmonate und der Projektdauer abgeleitet werden. Über das durchschnittliche Monatsgehalt lassen sich die Personalkosten als Produkt mit den Mannmonaten errechnen.¹⁷

Beispiel. In Auftrag gegeben wurde ein Programm für Planungsbüros zur Konvertierung von alten Bauplänen in BIM-Datensätze, dessen fertiger Code schätzungsweise 80.000 Codezeilen (80 KDSI) umfassen wird. Die Personalkosten betragen im Durchschnitt 6.000 €/Monat. Berechnet werden soll der Aufwand, die Produktivität, die Entwicklungsdauer, die durchschnittliche Personalbesetzung und die Personalkosten für das Projekt:

Aufwand: $MM = 2,4 \times (80)^{1,05} = 239 \text{ Mannmonate}$

Produktivität: $\frac{80000 \text{ DSI}}{239 \text{ MM}} = 334,7 \frac{\text{DSI}}{\text{MM}}$

Projektdauer: $TDEV = 2,5 \times (239)^{0,38} = 20 \text{ Monate}$

Personalbesetzung: $\frac{239 \text{ Mannmonate}}{20 \text{ Monate}} = 11,9 \text{ FSP}$

¹⁵ Boehm, 1981, S. 58f

¹⁶ Boehm, 1981, S. 57

¹⁷ Boehm, 1981, S. 63f

$$\text{Personalkosten: } 239 \text{ Mannmonate} \times 6.000 \frac{\text{€}}{\text{MM}} = 1.434.000 \text{ €}$$

Tabelle 2.1. Entwicklungsprofile für prototypische Projekte (*Organic Mode*)¹⁸

Projektgröße	Codezeilen	Aufwand	Produktivität	Projektdauer [Monate]	Personal im Durchschnitt
Winzig	2 KDSI	5,0 MM	400 DSI/MM	4,6	1,1 FSP
Klein	8 KDSI	21,3 MM	376 DSI/MM	8,0	2,7 FSP
Mittel	32 KDSI	91,0 MM	352 DSI/MM	14,0	6,5 FSP
Groß	128 KDSI	392,0 MM	327 DSI/MM	24,0	16,0 FSP

Der Exponent 1,05 in Formel (2.1) ist die Konsequenz eines nichtlinearen Zusammenhangs zwischen Codezeilen und Arbeitsaufwand. Größere Projekte benötigen einen verhältnismäßig größeren Aufwand, da es bei mehr Projektbeteiligten mehr Schnittstellen, mehr unterschiedliche Herangehensweisen und mehr Fehlerquellen gibt, wodurch mehr Zeit für Kommunikation, Informationsfluss, die Behebung von Missverständnissen etc. vergeht. Diese Effekte, die bewirken, dass der Arbeitsaufwand exponentiell zur Projektgröße steigt, nennt man *diseconomies of scale*.¹⁹ Das Gegenteil davon sind die *economies of scale*: Effekte, die eine überproportional hohe Produktivität bei steigender Projektgröße bewirken. Das können z.B. größere oder bessere Geräte/Maschinen/Softwaretools sein, deren Einsatz sich erst bei größeren Projekten rentiert,²⁰ oder Einarbeitungseffekte bei repetitiven Tätigkeiten.

2.1.3 Phasenverteilung von Aufwand und Zeit

Die Aufteilung des Arbeitsaufwandes und der absolut benötigten Zeit einer Phase verlaufen normalerweise nicht parallel, weil verschieden viele Personen je Phase gleichzeitig an dem Projekt arbeiten. Außerdem zeigt sich, dass diese Aufteilungen auch von Projekt zu Projekt variieren und zwar abhängig von der Projektgröße: größere Softwareprojekte benötigen einen höheren Aufwand in der Integrations- und Testphase und können die Programmierungsarbeit schneller erledigen, da in dieser Phase mehr Programmierer gleichzeitig eingesetzt werden können. Kleinere Projekte haben üblicherweise eine flachere Personalverteilungskurve und widmen der Programmierungsphase anteilmäßig mehr Aufwand und Zeit als größere. Tabelle 2.2 zeigt die von Boehm ermittelten Anteile der Phasen des Projekts,

¹⁸ Quelle: Boehm, 1981, S. 64

¹⁹ Boehm, 1981, S. 189f

²⁰ Boehm, 1981, S. 190

abhängig von dessen Größe. Zwischenwerte können interpoliert, jedoch keinesfalls extrapoliert werden.²¹

Tabelle 2.2. Phasenverteilung für Aufwand und Entwicklungsdauer (*Organic Mode*)²²

	Winzig (2 KDSI)	Klein (8 KDSI)	Mittel (32 KDSI)	Groß (128 KDSI)
Aufwand [%]				
Planung und Vorbereitung	6	6	6	6
Produktdesign	16	16	16	16
Programmierung	68	65	62	59
Detailliertes Design	26	25	24	23
Code und Komponenten- test	42	40	38	36
Integration und Testphase	16	19	22	25
Summe	100	100	100	100
Entwicklungsdauer [%]				
Planung und Vorbereitung	10	11	12	13
Produktdesign	19	19	19	19
Programmierung	63	59	55	51
Integration und Testphase	18	22	26	30
Summe	100	100	100	100

2.1.4 Phasenverteilung von Personal

Wie im vorigen Kapitel angesprochen wurde, bleibt die Anzahl der Arbeitskräfte über den Projektverlauf zumeist nicht konstant. Kleine Projekte haben flachere Personalkurven, große Projekte haben ihr Maximum typischerweise circa in der Mitte des Projekts, in der Programmierungsphase.²³

Eine gute Näherung für den Verlauf von Personalkurven ist die Rayleigh-Verteilung.²⁴

²¹ Boehm, 1981, S. 64f, S. 69f

²² Quelle: Boehm, 1981, S. 66

²³ Boehm, 1981, S. 64

²⁴ Boehm, 1981, S. 67f

$$f(x; \sigma) = \left(\frac{x}{\sigma^2}\right) e^{-\left(\frac{x^2}{2\sigma^2}\right)} \quad \text{(2.3 Rayleigh-Verteilung)}$$

σ bezeichnet die Stelle x , an der der Funktionswert sein Maximum erreicht. COCOMO verwendet diese Verteilung, um eine Funktion für die Arbeiterschaft (FSP) über die Zeit zu erhalten.

$$FSP = MM \left(\frac{t}{t_D^2}\right) e^{-\left(\frac{t^2}{2t_D^2}\right)} \quad \text{(2.4 Personalverteilung 1)}$$

$$FSP = MM \left(\frac{0,15 TDEV + 0,7 t}{0,25 (TDEV)^2}\right) e^{-\left(\frac{(0,15 TDEV + 0,7 t)^2}{0,5 (TDEV)^2}\right)} \quad \text{(2.5 Personalverteilung 2)}$$

Aus dem Graphen in Abbildung 2.1 wird nur der mittlere Teil benötigt – der Bereich von $0,3 t_D$ bis $1,7 t_D$. Die endgültige Formel zur Personalverteilung (2.5) wurde zur Glättung etwas angepasst, die Verteilung würde ansonsten rechts zu flach auslaufen,²⁵ das Ergebnis ist in Abbildung 2.2 zu sehen.

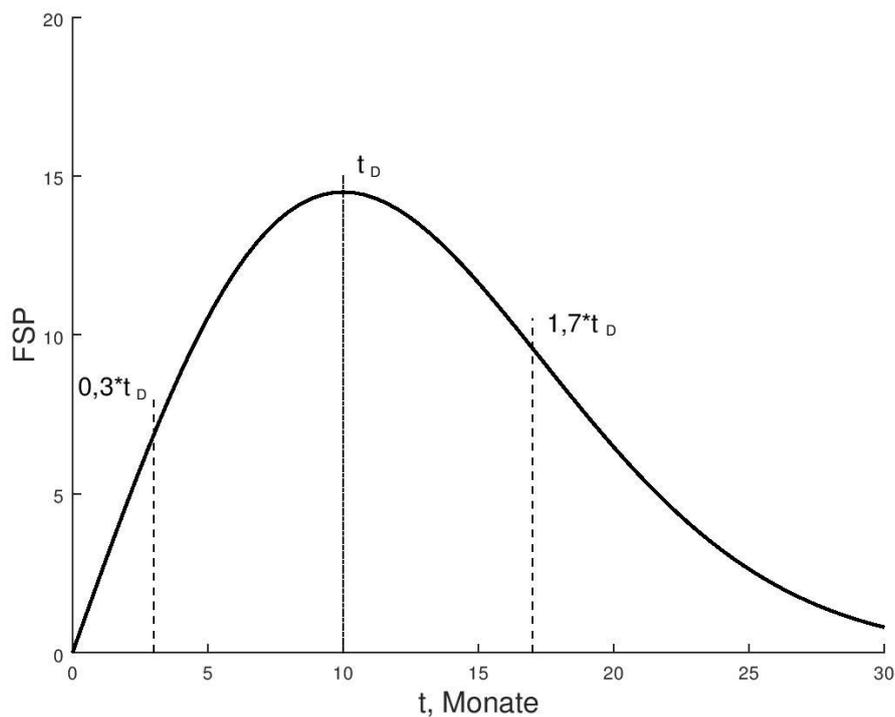


Abbildung 2.1. Rayleigh Verteilung

²⁵ Boehm, 1981, S. 68f

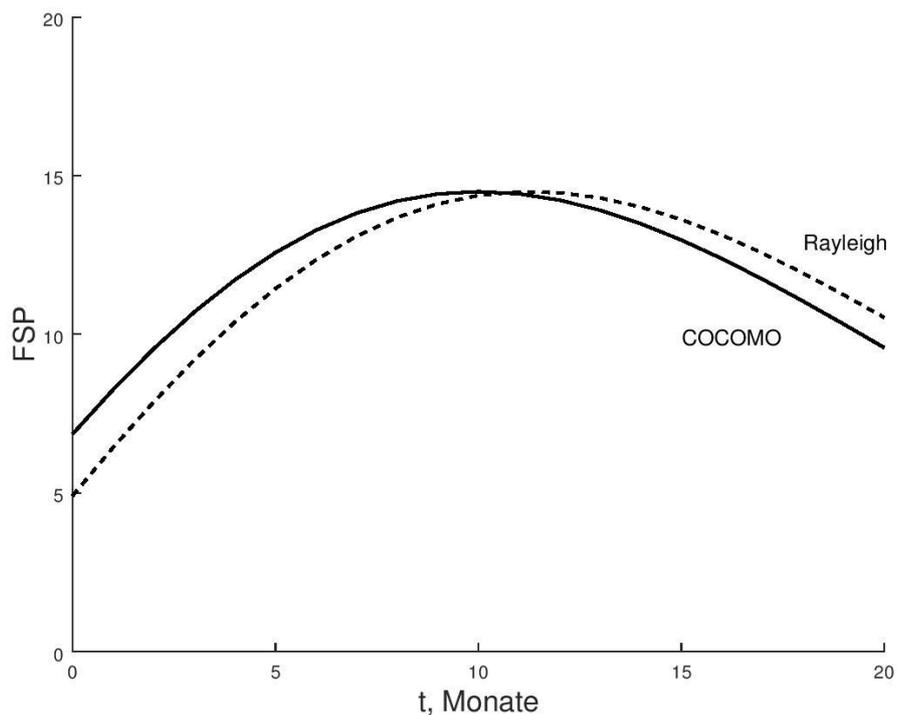


Abbildung 2.2. Geglättete Approximation der Personalverteilung (*Organic Mode*)

2.1.5 Unterteilung der Projekte

Um auf unterschiedliche Projekte besser eingehen zu können, teilt Boehm diese danach ein, unter welchen systemischen Rahmenbedingungen das zu entwickelnde Softwareprogramm erstellt wird. Entscheidend ist hierbei, ob bzw. inwieweit auf bestehende Softwaresysteme Rücksicht genommen werden muss, in die das Programm implementiert werden soll, oder ob es eigenständig läuft. Der Grund dafür ist, dass es weniger aufwändig ist, ein unabhängiges Programm zu schreiben, weil keine Randbedingungen vorgegeben sind und die Programmierer sich nicht zuerst mit bestehenden Programmcodes vertraut machen müssen, die modifiziert, verbessert oder erweitert werden sollen.²⁶

Zu diesem Zweck hat Boehm die Projekte in drei Gruppen („modes“) unterteilt. Die Gleichungen (2.1) und (2.2) beziehen sich auf den *Organic Mode*. In Tabelle 2.3 werden die Formeln zur Berechnung von Aufwand und Entwicklungsdauer für die anderen beiden Projektumgebungen angegeben.

Organic Mode. In dieser Kategorie arbeiten die Programmierer in kleinen Gruppen und vertrauter Umgebung. Die meisten Projektbeteiligten haben große Erfahrung mit verwandten Systemen innerhalb der auftraggebenden Organisation und sind im Bilde, wie das zu

²⁶ Boehm, 1981, S. 74

entwickelnde System für diese von Nutzen sein wird. Dadurch können die meisten Projektbeteiligten sich schon früh in das Projekt einbringen und wissen, worum es bei dem Projekt geht. Dies führt zu effizienter Kommunikation, flachen Strukturen innerhalb des Teams und in weiterer Folge zu hoher Produktivität. Die Auftraggeber sind in der Regel entgegenkommend in Fragen der Anforderungen und Interface Spezifikationen, da die lockeren Randbedingungen einen hohen Grad an Flexibilität bieten. Probleme in diesem Zusammenhang, die eine größere Überarbeitung des gesamten Programms verursachen würden, können oft dadurch gelöst werden, dass der Vertragspartner in Verhandlungen zustimmt, dass das Interface oder die Anforderungen verändert werden, um unverhältnismäßige Mehrarbeit zu verhindern. Weitere Merkmale des *Organic Mode* sind ein stabiles Arbeitsumfeld, geringer Bedarf an innovativen Datenverarbeitungsmethoden, eine geringe Prämie für frühere Fertigstellung und eine relativ geringe Projektgröße (typischerweise unter 50 KDSI).

Semidetached Mode. Diese Art von Software stellt eine Mischform aus dem *Organic Mode* und dem *Embedded Mode* dar. Projekte werden dieser Kategorie zugeordnet, weil ihre Charakteristika entweder nicht eindeutig einer der beiden anderen Kategorien zuordenbar sind, oder weil sie teilweise auf eine und teilweise auf die andere zutreffen.

Embedded Mode. Das Hauptmerkmal dieses Projekttypes ist das Operieren innerhalb starrer Vorgaben eines bestehenden Systems, das zu ändern (nahezu) unmöglich wäre. Daher muss mehr Aufwand in Änderungen und Fehlerbehebung investiert werden, um den Anforderungen des umgebenden Systems (mit dem die Programmierer außerdem anfangs oft nicht vertraut sind) genau zu entsprechen. Das führt zu einer niedrigeren Produktivität und einer höheren Anzahl an parallel am Programm arbeitenden Personen und höheren Personalspitzen, um die Auslieferung des Produktes nicht zu verzögern.²⁷

Tabelle 2.3. Basic COCOMO: Gleichungen für Aufwand und Entwicklungsdauer für die unterschiedlichen Projekttypen ²⁸

Projekttyp	Projektaufwand	Entwicklungsdauer
<i>Organic</i>	$MM = 2.4 \times (KDSI)^{1.05}$	$TDEV = 2.5 \times (MM)^{0.38}$
<i>Intermediate</i>	$MM = 3.0 \times (KDSI)^{1.12}$	$TDEV = 2.5 \times (MM)^{0.35}$
<i>Embedded</i>	$MM = 3.6 \times (KDSI)^{1.20}$	$TDEV = 2.5 \times (MM)^{0.32}$

²⁷ Boehm, 1981, S. 78ff

²⁸ Quelle: Boehm, 1981, S. 117

2.1.6 Genauigkeit

Die Auswertung der 63 Programme zeigt, dass das *Basic Model* noch keine verlässlichen Ergebnisse liefert. Bei der Aufwandsabschätzung liegt das Modellergebnis nur bei 29 % der Projekte innerhalb eines Faktors von 1,3 der wahren Werte. Der Faktor 2,0 wird nur von 60 % der Projekte unterschritten (Anm.: vermutlich innerhalb 0,5 - 2,0). Die Werte für die Entwicklungsdauer sind etwas besser. 58 % der errechneten Zeitspannen liegen innerhalb von 20 % der tatsächlichen Projektdauer.²⁹

2.2 Intermediate COCOMO

Die zweite Stufe von COCOMO stellt - wie bereits angesprochen - eine vollkommen kompatible Erweiterung zu *Basic COCOMO* dar. Die größte Veränderung gegenüber der ersten Stufe des Modells besteht aus der Einführung von 15 zusätzlichen Vorhersagefaktoren, den sogenannten *cost driver attributes*. Hierbei werden 15 Aspekte des Softwareprojekts qualitativ bewertet und durch jeweils einen Faktor berücksichtigt.³⁰

Der Aufwand ergibt sich dann durch Multiplikation des Ergebnisses der jeweiligen Formel des Basismodells für den Projektaufwand aus Tabelle 2.3 mit dem Produkt aller Kosteneinflussfaktoren EM, dem sogenannten *resulting overall effort adjustment factor* EAF. Die Berechnung für die Projektdauer erfolgt analog dazu.³¹

$$MM_{org} = 2.4 \times (KDSI)^{1,05} \times EAF \quad (2.6 \text{ Personalaufwand Intermediate})$$

$$EAF = \prod_{i=1}^{15} EM_i \quad (2.7 \text{ Effort Adjustment Factor})$$

2.2.1 Kostentreiber und ihre Attribute

Die Attribute der Kostentreiber sind in vier Kategorien eingeteilt: Produktattribute, Computerattribute, Personalattribute und Projektattribute.³²

Produktattribute

RELY	Geforderte Verlässlichkeit der Software
DATA	Größe der Datenbasis
CPLX	Produktkomplexität

²⁹ Boehm, 1981, S. 86ff, S. 114

³⁰ Boehm, 1981, S. 114f

³¹ Boehm, 1981, S. 125f

³² Boehm, 1981, S. 115f

Computerattribute

TIME	Ausführungsverzögerung
STOR	Verzögerung des Arbeitsspeichers
VIRT	Schwankungen der virtuellen Maschine
TURN	Bearbeitungszeit des Computers

Personalattribute

ACAP	Fähigkeit der Analysten
AEXP	Anwendungserfahrung
PCAP	Fähigkeit der Programmierer
VEXP	Erfahrung mit der virtuellen Maschine
LEXP	Erfahrung mit der verwendeten Programmiersprache

Projektattribute

MODP	Einsatz moderner Programmiertechniken
TOOL	Verwendung von Softwaretools
SCED	Straffheit des Entwicklungszeitplans

Die Gemeinsamkeiten dieser 15 Kostentreiber sind ein Mindestmaß an Signifikanz für das Projekt und Unabhängigkeit von der Projektgröße. Natürlich existieren weitere Faktoren, wie schnell oder effizient ein Softwareprojekt abgewickelt werden kann, an der Aufnahme als Kostentreiber scheitern sie aber an mindestens einem dieser beiden Kriterien.³³ Die Qualität des Projektmanagements ist hier deswegen kein kostenbeeinflussender Faktor, weil sie laut Definition ohnehin „gut“ ist.³⁴

³³ Boehm, 1981, S. 115

³⁴ Siehe dazu Kapitel 2.1.1

Tabelle 2.4. Intermediate COCOMO Aufwandsmultiplikatoren für Softwareentwicklung ³⁵

Kostentreiber	Sehr niedrig	Niedrig	Nominal	Hoch	Sehr hoch	Extra hoch
Produktattribute						
RELY	0,75	0,88	1,00	1,15	1,40	
DATA		0,94	1,00	1,08	1,16	
CPLX	0,70	0,85	1,00	1,15	1,30	1,65
Computerattribute						
TIME			1,00	1,11	1,30	1,66
STOR			1,00	1,06	1,21	1,56
VIRT		0,87	1,00	1,15	1,30	
TURN		0,87	1,00	1,07	1,15	
Personalattribute						
ACAP	1,46	1,19	1,00	0,86	0,71	
AEXP	1,29	1,13	1,00	0,91	0,82	
PCAP	1,42	1,17	1,00	0,86	0,70	
VEXP	1,21	1,10	1,00	0,90		
LEXP	1,14	1,07	1,00	0,95		
Projektattribute						
MODP	1,24	1,10	1,00	0,91	0,82	
TOOL	1,24	1,10	1,00	0,91	0,83	
SCED	1,23	1,08	1,00	1,04	1,10	

Für die Evaluierung der Parameter existiert eine genaue Beschreibung, welche Bewertung (von sehr niedrig bis extra hoch) wann genau zutrifft. Dies kann durch eine qualitative Beschreibung oder durch messbare Größen festgelegt sein.³⁶ Alle Werte dürfen interpoliert werden - für jene, deren Bewertung numerisch festgelegt ist, wird es sogar empfohlen. Von einer Extrapolation wird auch hier abgeraten.³⁷

³⁵ Quelle: Boehm, 1981, S. 118

³⁶ Boehm, 1981, S. 119

³⁷ Boehm, 1981, S. 132f

Tabelle 2.5. Bewertungshilfe für die Attribut-Ratings zweier exemplarisch ausgewählter Kostentreiber: geforderte Softwareverlässlichkeit RELY und Erfahrung der Softwareanalysten AEXP ³⁸

	Sehr niedrig	Niedrig	Nominal	Hoch	Sehr hoch
RELY	Effekt: leichte Unannehmlichkeit	Geringer Effekt, leicht wieder-herstellbare Verluste	Moderater Effekt, wiederherstellbare Verluste	Großer Effekt, hoher finanzieller Verlust	Effekt: Lebensgefahr
AEXP	≤ 4 Monate	1 Jahr	3 Jahre	6 Jahre	12 Jahre

2.2.2 Intermediate COCOMO als Analysetool

Die Einsatzmöglichkeiten des Modells beschränken sich nicht auf die bloße Abschätzung des Aufwands und der Projektdauer. Vielmehr eignet es sich hervorragend als Behelfsmittel für grundlegende Entscheidungen, die für das Projekt getroffen werden müssen. Zum Beispiel lässt sich monetär bewerten, ob sich die Anschaffung neuer Hardware auszahlt, oder ob die Einstellung von erfahreneren Programmierern, die dafür mehr Salär beziehen, die Projektkosten steigern oder senken.³⁹

Beispiel. Das BIM-Konversionstool aus dem Beispiel in Kapitel 2.1.2 umfasst 80 KDSI, hat einen mit *Basic COCOMO* errechneten Personalaufwand von 239 Mannmonaten und die durchschnittlichen Gehaltskosten betragen 6.000 €. Für *Intermediate COCOMO* werden nun die projektrelevanten Parameter evaluiert: das Programm hat eine niedrige geforderte Verlässlichkeit (RELY = „hoch“) und eine sehr große Datenbasis (DATA = „sehr hoch“). Es werden moderne Programmieretechniken verwendet (MODP = „hoch“). Alle anderen Werte sind als „nominal“ anzunehmen. Wie sich der *resulting overall effort adjustment factor* EAF berechnet, wird in Tabelle 2.6 gezeigt. Gesucht sind der Aufwand, die Produktivität, die Projektdauer und die Personalkosten.

Weiters soll in einer Fallstudie untersucht werden, ob es sich finanziell auszahlt, erfahrene aber auch teurere Analysten und Programmierer einzustellen, deren Personalkosten 8.000 € statt 6.000 € betragen und deren Fähigkeit (ACAP, PCAP) jeweils als „hoch“ einzuschätzen ist.

³⁸ Quelle: Boehm, 1981, S. 119

³⁹ Boehm, 1981, S. 126f

Tabelle 2.6. Berechnung des *resulting overall effort adjustment factor EAF*

Kostentreiber	Rating	Faktor
RELY	Hoch	0,88
DATA	Sehr hoch	1,16
CPLX	Nominal	1,00
TIME	Nominal	1,00
STOR	Nominal	1,00
VIRT	Nominal	1,00
TURN	Nominal	1,00
ACAP	Nominal	1,00
AEXP	Nominal	1,00
PCAP	Nominal	1,00
VEXP	Nominal	1,00
LEXP	Nominal	1,00
MODP	Hoch	0,91
TOOL	Nominal	1,00
SCED	Nominal	1,00
Effort Adjustment Factor		0,93

Aufwand: $239 \text{ MM} \times 0,93 = 222,3 \text{ MM}$

Produktivität: $\frac{80000 \text{ DSI}}{222,3 \text{ MM}} = 359,9 \frac{\text{DSI}}{\text{MM}}$

Projektdauer: $TDEV = 2,5 \times (290,2)^{0,38} = 19,5 \text{ Monate}$

Personalkosten: $222,3 \times 6.000 \frac{\text{€}}{\text{MM}} = 1.333.800 \text{ €}$

Fallstudie: $ACAP_{neu} = 0,86$; $PCAP_{neu} = 0,86$

$$EAF_{neu} = \frac{0,93 \times 0,86 \times 0,86}{1,00 \times 1,00} = 0,69$$

$$239 \text{ MM} \times 0,69 = 164,2 \text{ MM}$$

$$164,2 \text{ MM} \times 8.000 \text{ €} = 1.313.600 \text{ €}$$

Die Personalgesamtkosten würden in diesem Beispiel leicht sinken, die Einstellung besserer Mitarbeiter würde sich also tatsächlich auszahlen. Da der Unterschied von 20.200 € mit 1,5 % der Gesamtkosten relativ gering im Vergleich zur Streuung des Modells ist (nur 68 % der Projekte liegen innerhalb von 20 %), wäre jedoch eine tiefergehende Analyse, in diesem Fall zum Beispiel eine eingehende Prüfung der neuen Angestellten, empfehlenswert.

2.2.3 Adaption existierender Software

Bis jetzt bezog sich alles auf die Annahme, dass die zu entwickelnde Software „vom weißen Blatt Papier“ entsteht. In der Praxis entstehen viele Programme durch die Modifizierung bereits bestehender Software, indem Design und/oder Code verändert werden, um den neuen Anforderungen zu entsprechen.⁴⁰

Für die Berechnung werden die DSI durch EDSI - *equivalent delivered source instructions* - ersetzt, dessen Größe mithilfe eines *adaptation adjustment factors* (AAF) berechnet wird. Weiters werden für die Berechnung der EDSI folgende Adaptionparameter benötigt:

- ◆ ADSI *Adapted DSI*. Anzahl der Codezeilen, die zur Modifizierung von der existierenden Software übernommen werden.
- ◆ DM *Percent Design Modified*. Prozentsatz des Designs, das für die Adaption modifiziert werden muss. Nur subjektiv quantifizierbar.
- ◆ CM *Percent Code Modified*. Prozentsatz des Codes, der für die Adaption modifiziert werden muss.
- ◆ IM *Percent of Integration Required for Modified Software*. Prozentsatz des Aufwands, der betrieben werden muss, um die adaptierte Software in ein Gesamtprodukt zu integrieren und dieses zu testen, verglichen mit dem normalen Aufwand für Integration und Tests einer Software vergleichbarer Größe.

⁴⁰ Boehm, 1981, S. 133

$$AAF = 0,40(DM) + 0,30(CM) + 0,30(IM) \quad (2.8 \text{ Adaption Adjustment Factor})$$

$$EDSI = (ADSI) \times \frac{AAF}{100} \quad (2.9 \text{ Equivalent DSI 1})$$

Mit diesem Wert für KEDSI (1000 EDSI = 1 KEDSI) kann nun in eine der Formeln aus Tabelle 2.3 in das Modell eingestiegen werden (KEDSI substituiert KDSI).⁴¹

Inzwischen ist es üblich, neue Software aus alten Codefragmenten zusammenzustücken, indem diese wiederverwendet und erweitert werden, was zu deutlich niedrigeren Kosten und Risiken führt. Diese neuen Programmieransätze zu berücksichtigen tut sich COCOMO schwer, da die Branche noch eine andere war, als die COCOMO-Methode entwickelt wurde. Auf diese Neuerungen wird allerdings in der Weiterentwicklung COCOMO II eingegangen.⁴²

2.2.4 Genauigkeit

Das *Intermediate Model* zeigt eine schlagartige Verbesserung gegenüber dem *Basic Model*. Bei 68 % aller untersuchten Projekte liegt der errechnete Aufwand innerhalb von 20 % dem Real-Wert,⁴³ was für die meisten praktischen Zwecke für eine Schätzung genau genug ist. Unterschiede in der Genauigkeit zwischen den drei Modi sind gering.⁴⁴

2.2.5 Component Level Estimation

Diese Erweiterung des *Intermediate Models* zerlegt die Software in die Hauptkomponenten des Codes und ordnet ihnen individuelle Kosteneinflussfaktoren zu.⁴⁵ Es könnte zum Beispiel sein, dass manche Komponenten des Codes eine höhere Komplexität aufweisen als andere und dadurch einen höheren Kosteneinflussfaktor für das Attribut Produktkomplexität (CPLX) zugewiesen bekommen.

Für die Berechnung wird vorerst der nominelle Aufwand MM_{NOM} und die nominelle Produktivität $(DSI/MM)_{NOM}$ aus den Gleichungen in Kapitel 2.1.2 errechnet (oder aus Tabellen interpoliert). Dann werden die Komponenten in eine Tabelle, das sogenannte *Component Level Estimating Form* (CLEF, siehe Tabelle 2.7), in die Zeilen, die Kosteneinflussfaktoren in die Spalten des CLEFs eingetragen. Jede Komponente erhält eine Anzahl DSI (deren Summe der des Projekts entsprechen muss) und einen Wert für jedes Attribut zugewiesen. Der nominelle Aufwand wird Komponentenweise durch Multiplikation der jeweiligen DSI mit

⁴¹ Boehm, 1981, S. 133f

⁴² Boehm et al., 2000, Preface S. xxix

⁴³ Boehm, 1981, S. 115, S. 138

⁴⁴ Boehm, 1981, S. 138

⁴⁵ Boehm, 1981, S. 145

der nominellen Produktivität bestimmt, der adjustierte Aufwand pro Komponente ist das Produkt aus dem nominellen Aufwand mit dem EAF (Produkt aller Kosteneinflussfaktoren) der jeweiligen Komponente. Die Summe der Aufwände aller Komponenten ergibt den gesamten Aufwand des Projekts. Schließlich kann noch die Produktivität (Projekt- oder Komponentenweise) durch eine einfache Division bestimmt werden. Die *Component Level Estimation* kann auch auf adaptierte Software angewandt werden. Hierfür müssen nur die DSI Komponentenweise in EDSI umgerechnet werden.⁴⁶

Tabelle 2.7. Component Level Estimating Form CLEF für ein Softwareprojekt⁴⁷

Project: <u>REFINERY PROCESS CONTROL</u>			Analyst: <u>A. SMITH</u>															Date: <u>4/1/85</u>						
① COMPONENT	② EDSI	③ AAF	Product				Computer				Personnel Attributes				Project				⑲ EAF	⑳ MM NOM	㉑ MM DEV/ AM	㉒ EDSI/ MM ACT	㉓ \$K	㉔ \$ EDSI
			④ RELY	⑤ DATA	⑥ CPLX	⑦ TIME	⑧ STOR	⑨ VIRT	⑩ TURN	⑪ ACAP	⑫ AEXP	⑬ PCAP	⑭ VEXP	⑮ LEXP	⑯ MODP	⑰ TOOL	⑱ SCED							
1. PROCESS	7 000	1.0	HI 1.15	LO 0.94	HI 1.15	HI 1.11	N 1.0	N 1.0	LO 0.87	HI 0.86	N 1.0	N 1.0	N 1.0	N 1.0	HI 0.91	N 1.0	N 1.0	0.94	26	24	292	5.5	19	
2. OPSYS	5 000	1.0	HI 1.15	LO 0.94	VHI 1.30	HI 1.11	N 1.0	N 1.0	LO 0.87	HI 0.86	LO 1.13	HI 0.86	LO 1.10	LO 1.07	HI 0.91	N 1.0	N 1.0	1.21	19	23	217	6.0	28	
3. I/O	10 000	1.0	N 1.0	LO 0.94	N 1.0	N 1.0	N 1.0	N 1.0	LO 0.87	N 1.0	N 1.0	N 1.0	LO 1.10	N 1.0	HI 0.91	N 1.0	N 1.0	0.82	37	30	333	5.0	15	
4.																								
5.																								
6.																								
7.																								
8.																								
9.																								
10.																								
11.	22 000		Total EDSI																Totals	77	286	420	19	
12.	82		(MM) _{NOM}																Schedule (Months)	13				
13.	268		(EDSI/MM) _{NOM}																					

2.3 Detailed COCOMO

Während die Ergebnisse des *Intermediate Models* gut genug für kleine und mittlere Projekte sind, hat es seine Schwächen bei der detaillierten Schätzung von großen. Einerseits ist die Phasenverteilung des Aufwands ungenau, andererseits ist es bei Produkten mit mehreren Komponenten sehr mühsam zu handhaben.⁴⁸ *Detailed COCOMO* bietet zwei große Neuheiten, die diese Mängel beheben sollen.

Phase-sensitive Effort Multipliers. Das Projekt wird in vier Projektphasen aufgeteilt: *requirements planning and product design (RPD)*, *detailed design (DD)*, *code and unit test (CUD)* und *integration and test phase (IT)*. Jedem Aufwandsmultiplikator aus Tabelle 2.4

⁴⁶ Boehm, 1981, S. 146 - 151
⁴⁷ Quelle: Boehm, 1981, S. 147
⁴⁸ Boehm, 1981, S. 344

wird für jede dieser Phasen anhand seiner jeweils dortigen Signifikanz ein eigener Wert zugewiesen. Zum Beispiel findet die geforderte Verlässlichkeit der Software in der Integrations- und Testphase wesentlich mehr Relevanz als in den vorhergehenden Phasen, was sich in Tabelle 2.8 durch „extremere“ Werte (größerer Differenzbetrag zu „1“) äußert.

Three-Level Product Hierarchy. Die Software wird in drei hierarchische Ebenen unterteilt: das *module-*, das *subsystem-* und das *system level*. Ähnlich der *Component Level Estimation*⁴⁹ wird der Code in logische Einzelteile zerlegt, jedoch mit dem Unterschied, dass ähnliche Komponenten („Module“) in Subsystemen gebündelt werden, das Gesamtsystem der Software besteht aus der Summe seiner Subsysteme. Kostentreiber von Attributen, die von Modul zu Modul variieren, werden auf dem *module level* behandelt, solche, die weniger häufig variieren, auf dem *subsystem level*. Effekte, die das gesamte Produkt betreffen (z.B. die Gesamtgröße des Produkts), beeinflussen das *system level*.⁵⁰

Tabelle 2.8. Für ein Attribut exemplarische *Subsystem Level Effort Multipliers*⁵¹

Attribut	Bewertung	RPD	DD	CUT	IT
	Sehr niedrig	0,80	0,80	0,80	0,60
	Niedrig	0,90	0,90	0,90	0,80
RELY	Nominal	1,00	1,00	1,00	1,00
	Hoch	1,10	1,10	1,10	1,30
	Sehr hoch	1,30	1,30	1,30	1,70

2.3.1 Software Hierarchy Estimating Form

Analog zum CLEF gibt es beim *Detailed COCOMO* das SHEF – das *Software Hierarchy Estimating Form*. Es existiert aus einem Formular für das *subsystem-* und einem für das *module level*. Der Aufwand wird vorab prozentuell auf die 4 Projektphasen verteilt, indem jede Phase einen entsprechenden Wert $FRAC_P$ zwischen 0 und 1 zugewiesen bekommt. Dann werden wie beim CLEF der nominelle Aufwand MM_{NOM} und die nominelle Produktivität $(DSI/MM)_{NOM}$ des Projekts berechnet - das sind die Werte, die die Projektattribute und ihre Kosteneinflussfaktoren noch nicht berücksichtigen.⁵²

Beim Formular für das Modul-Level (Tabelle 2.9) werden alle Subsysteme in ihre Module aufgespalten, die benötigten EDSI abgeschätzt und diejenigen Kosteneinflussfaktoren

⁴⁹ Siehe dazu Kapitel 2.2.5

⁵⁰ Boehm, 1981, S. 133f

⁵¹ Quelle: Boehm, 1981, S. 354

⁵² Boehm, 1981, S. 352

quantifiziert, die nur auf Modulebene gültig sind, es kann für jedes Modul und jede Phase ein individueller Wert gewählt werden. Dann wird bei jedem Modul für jede Projektphase der nominelle Aufwand MM_{NOM} berechnet, indem die EDSI des Moduls mal dem $FRAC_P$ - Wert durch die nominelle Produktivität $(DSI/MM)_{NOM}$ dividiert werden. Der nominelle Aufwand jeder Phase wird dann mit dem Produkt der Kosteneinflussfaktoren der jeweiligen Phase EAF_M multipliziert. Die Ergebnisse aller Module - die *module adjusted effort estimates* MM_{MOD} - werden für jede Phase aufsummiert und die Summen in das Formular für das Subsystem-Level (Tabelle 2.10) eingetragen. Dort wird das EAF_{SS} aus den übrigen Kosteneinflussfaktoren bestimmt, die auf der gesamten Subsystemebene gültig sind und mit MM_{MOD} multipliziert, um MM_{EST} zu erhalten - den Aufwand in Mannmonaten für die Phasen des zugehörigen Subsystems. Diese können für das gesamte Subsystem oder jeweils phasenweise aufsummiert werden.⁵³

Tabelle 2.9. Software Hierarchy Estimating Form SHEF für das Modul-Level⁵⁴

(3) SS NO.	(4) MOD NO.	(5) Module	(6) EDSI	(7) AAF	(14) CPLX	(15) PCAP	(16) VEXP	(17) LEXP	(18) EAF M	(11) MM NOM	(11) MM MOD	(12) MM EST	Percent %
1	1	QEDIT	1800	100	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	15
									1.0	1.6	1.6	0.9	27
									1.0	2.6	2.6	1.4	42
									1.0	1.2	1.2	0.5	15
1	2	SEARCH	700	100					0.90	0.4	0.4	0.2	22
									0.98	0.6	0.4	0.2	22
									0.92	1.0	0.7	0.4	45
1	3	OUTPUT	1200	100					0.90	0.7	0.6	0.3	12
									0.85	1.1	1.2	0.7	27
									0.85	1.7	2.2	1.2	46
									0.85	1.29	1.7	1.2	15
1	TOT		3700							2.0	1.0	1.0	15
										3.2	1.8	1.8	26
										5.5	3.0	3.0	44
										2.5	1.0	1.0	15
2	1	UPEDIT	1700	100					1.0	1.0	1.0	0.5	16
									1.0	1.5	1.5	0.9	28
									1.0	2.4	2.4	1.3	40
									1.0	1.1	1.1	0.5	16
2	2	MODIFY	900	100					0.89	0.5	0.4	0.2	11
									0.85	0.8	0.9	0.5	26
									0.85	1.3	1.7	0.9	47
									0.85	1.29	0.6	0.3	16
2	TOT		2600							1.4	0.7	0.7	14
										2.4	1.4	1.4	27
										4.1	2.2	2.2	43
										1.9	0.8	0.8	16
3	1	UTILS	1700	34					0.74	1.0	0.7	0.7	17
									0.70	1.5	1.4	1.1	26
									0.70	2.4	2.5	1.7	40
									0.70	1.1	1.2	0.7	17

⁵³ Boehm, 1981, S. 352f

⁵⁴ Quelle: Boehm, 1981, S. 351

Softwareprojekts - hat das Modell nun außerdem noch mehr den Anspruch, als Managementtool und Entscheidungshilfe wahrgenommen zu werden: Unterstützung bei Entscheidungen über Investments oder andere finanzielle Fragen, über Kosten/Qualität - Tradeoffs, Risikomanagement, ...

Das Modell unterscheidet sich vom Original insbesondere durch ein Zugeständnis an die Weiterentwicklung der Softwarebranche:

„Das COCOMO-II-Modell berücksichtigt modernere Ansätze der Softwareentwicklung wie die schnelle Anwendungsentwicklung mit dynamischen Programmiersprachen, die Entwicklung durch die Komposition von Komponenten und die Anwendung der Datenbankprogrammierung.“⁵⁹

COCOMO II enthält neue Parameter für Aufwandsmultiplikatoren (maximal 17 statt 15, wobei die Bestehenden neu kalibriert wurden) und außerdem fünf Skalierungsfaktoren für den Exponenten der Basisgleichung, was die verschiedenen Formeln für die drei Projekttypen aus COCOMO 81 substituiert. Die Bezeichnung „KSLOC“ (*kilo source lines of code*) ersetzt die bekannten KDSI, das geschlechtsneutrale „PM“ (*Person month*) ersetzt MM.

2.4.1 Unterschiede zwischen den Programmiersprachen

Eine der Schwächen des Vorgängers, COCOMO 81, die COCOMO II ausbessert, ist die Diskrepanz der Anzahl der Codezeilen zwischen Programmiersprachen. C++ benötigt für dasselbe Programm nur etwas mehr als halb so viele Codezeilen wie Pascal, COCOMO stellt aber den Anspruch, von der Programmiersprache unabhängig zu sein. Um diese Ungleichheit zu bereinigen und um die Abschätzung einfacher zu machen, wird die Methode der *Function Points* FP eingeführt. *Function Points* sind Gradmesser für die Informationsverarbeitung eines Codefragments. Es gibt fünf Gruppen von *User Functions*: *External Input*, *External Output*, *Internal Logical File*, *External Interface Files* und *External Inquiries*.⁶⁰

Zu Beginn werden die geplanten *Function Points* eruiert – deren Anzahl basiert auf Informationen, die sehr früh im Projektverlauf bekannt sind.⁶¹ Dann werden im ersten Schritt jedem FP ein Typ (Gruppe) zugewiesen. Im zweiten Schritt wird anhand der Anzahl der in ihnen enthaltenen Datenelemente und referenzierten Dateien tabellarisch jedem FP ein Komplexitätslevel (*Low/Average/High*) zugewiesen. Im dritten Schritt wird jedem FP mit Hilfe einer separaten Tabelle ein Komplexitätsgewicht zugewiesen, das von seinem Typ

⁵⁹ Sommerville, 2012, S. 694

⁶⁰ Boehm et al., 2000, S. 15ff

⁶¹ Boehm et al., 2000, S. 15

und dem Komplexitätslevel abhängt. Im vierten Schritt werden die Komplexitätsgewichte addiert, die Summe ergibt die *Unadjusted Function Points* UFP. Schließlich können aus den Durchschnittswerten von Codezeilen, die pro UFP benötigt werden, die Codezeilen des Projekts berechnet werden. C++ benötigt beispielsweise 55, Pascal 91 SLOC/UFP. Mit diesem Ergebnis kann in die Berechnung von COCOMO II gestartet werden.⁶²

2.4.2 Post-Architecture Model

Für das *Post-Architecture model* sollte die Softwarearchitektur bereits verfügbar und das Projekt bereit zur Entwicklung sein. Durch den weiteren Projektfortschritt und damit höheren Grad an Information bietet dieses Modell genauere Schätzergebnisse.⁶³ Arbeitsaufwand und Projektdauer werden durch folgende Formeln abgeschätzt:

$$PM = A \times Size^E \times \prod_{i=1}^n EM_i \quad (2.10 \text{ Personalaufwand Post-Architecture})$$

$$\text{mit } E = B + 0,01 \times \sum_{j=1}^5 SF_j \quad (2.11 \text{ Kalibrierung Post-Architecture 1})$$

$$TDEV = [C \times PM_{NS}^F] \times \frac{SCED \%}{100} \quad (2.12 \text{ Zeitplan Post-Architecture})$$

$$\text{mit } F = D + 0,02 \times (E - B) \quad (2.13 \text{ Kalibrierung Post Architecture 2})$$

wobei KSLOC für *Size* einzusetzen ist, Boehm folgende Werte für A bis D vorschlägt

$$A = 2,94 \quad B = 0,91$$

$$C = 3,67 \quad D = 0,28$$

und SCED % den Prozentwert darstellt, auf den der „nominale“ Zeitplan komprimiert oder expandiert werden soll (würde man z.B. in der halben nominalen Zeit fertig werden wollen, wäre dieser Wert 50).⁶⁴

Formel (2.10) ist vom Aufbau gleich wie Formel (2.6), allerdings sind mehr Werte variabel. Die Indizierung „NS“ für die Personenmonate steht für *nominal-schedule* und bezieht sich auf einen durchschnittlichen Projektzeitplan, also den Aufwand ohne Berücksichtigung des Parameters SCED für den Zeitplan (Aufwandswert für SCED „nominal“ = 1,00). *n* ist für dieses Modell 17 und damit gleich der Anzahl an Kosteneinflussfaktoren. Es existieren sieben neue Parameter gegenüber Intermediate COCOMO:^{65 66}

DOCU *Documentation match to life-cycle needs.* Eignung der Projektdokumentation für dessen Dauer

⁶² Boehm et al., 2000, S. 18ff

⁶³ Boehm et al., 2000, S. 12

⁶⁴ Boehm et al., 2000, S. 13f, S. 29, S. 57

⁶⁵ Boehm et al., 2000, S. 42, S. 48f

⁶⁶ Siehe dazu Kapitel 2.2.1

RUSE	<i>Developed for reusability.</i> Zusätzlicher Aufwand, der dadurch entsteht, dass Komponenten so generiert werden, dass sie bei zukünftigen Projekten wiederverwendet werden können
PCON	<i>Personnel continuity.</i> Hoch bei niedriger jährlicher Personalfuktuation
APEX	<i>Applications experience.</i> Entspricht AEXP aus <i>Intermediate COCOMO</i>
PLEX	<i>Platform experience.</i> Produktivität bei hoher Vertrautheit mit der verwendeten Plattform nimmt zu.
LTEX	<i>Language and tool experience.</i> Messwert für das Erfahrungslevel der Entwickler mit der Programmiersprache und den verwendeten Softwaretools
SITE	<i>Multisite development.</i> Abhängig von 2 Faktoren: Räumliche Ausdehnung (von sehr niedrig: international bis extra hoch: alle Beteiligten im selben Raum) und der Qualität der Interkommunikation

SF₁, ..., SF₅ sind die bereits angesprochenen Skalierungsfaktoren, die durch ihre Platzierung im Exponenten der Formel die *economies* bzw. *diseconomies of scale* des Projekts ausdrücken sollen.⁶⁷ Die dazugehörigen Parameter sind folgende:

PREC	<i>Precedentedness.</i> Präzedenz: Hoch, wenn ähnliche, kürzlich entwickelte Projekte existieren
FLEX	<i>Development flexibility.</i> Grad der Flexibilität bei der Entwicklung
RESL	<i>Architecture/risk resolution.</i> Hoch, wenn ein ausführliches Risikomanagement besteht und sichergestellt wird, dass die Softwarearchitektur sauber und von Experten erstellt wird. Gewichteter Durchschnitt vieler Einzelfaktoren
TEAM	<i>Team cohesion.</i> Hoch, wenn alle Projektbeteiligten (User, Kunden, Entwickler, ...) an einem Strang ziehen, dieselben Ziele verfolgen und als Team gewachsen sind
PMAT	Process maturity. Prozessreife: „Das Ausmaß, in dem Prozesse explizit definiert, gemanagt, gemessen und kontrolliert werden und in dem sie effektiv sind.“ ⁶⁸

⁶⁷ Siehe dazu Kapitel 2.1.2

⁶⁸ Definition laut IGI Global, International Publisher of Information Science and Technology Research, vom Autor ins Deutsche übersetzt

Hohe Ratings besitzen hier niedrige Skalierungsfaktoren und senken somit den Projektaufwand.⁶⁹ Es ist zu beachten, sich nicht von der Bezeichnung „Faktoren“ in die Irre führen zu lassen, da es sich hier um Summanden handelt und - anders als bei den Kostentreibern - nicht ihr Produkt relevant ist, sondern ihre Summe. Sowohl für die Kosteneinflussfaktoren als auch für die Skalierungsfaktoren existieren – wie bei *Intermediate COCOMO* – Tabellen,⁷⁰ in welchem Fall welche Bewertung zu verteilen ist.

2.4.3 Early Design Model

Das *Early Design Model* eignet sich - wie der Name schon verrät - gut für die Anfangsphase von Softwareprojekten, zum Ausloten von alternativen Softwarearchitekturen oder Entwicklungsstrategien. Es bietet eine Genauigkeit, die proportional zum Informationsstand und für diese Projektphase ausreichend ist.⁷¹

Die Formeln (2.10 Personalaufwand Post-Architecture) - (2.13 Kalibrierung Post Architecture 2), die vorgeschlagenen Werte von A bis D und auch die Skalierungsfaktoren SF₁ bis SF₅ bleiben für dieses Modell gleich. Der Wert für *n* ist 7, da dieses Modell nur so viele kostenbeeinflussende Parameter kennt, davon 5 kumulative: für das *Early Design model* werden jeweils ein oder mehrere Kostentreiber des *Post-Architecture models* in einen Kostentreiber zusammengefasst, siehe Tabelle 2.11.⁷²

Tabelle 2.11. Early Design und Post-Architecture Aufwandsmultikatoren⁷³

<i>Early Design</i> Parameter	<i>Post Architecture</i> - äquivalente Parameter
RCPX Product reliability and complexity	RELY, DATA, CPLX, DOCU
RUSE Developed for reusability	RUSE
PDIF Platform difficulty	TIME, STOR, PVOL
PERS Personnel capability	ACAP, PCAP, PCON
PREX Personnel experience	APEX, PLEX, LTEX
FCIL Facilities	TOOL, SITE
SCED Required developmend schedule	SCED

⁶⁹ Boehm et al., 2000, S. 33f

⁷⁰ Boehm et al., 2000, S. 32, S. 35f, S. 41 - 56

⁷¹ Boehm et al., 2000, S. 12

⁷² Boehm et al., 2000, S. 51f

⁷³ Quelle: Boehm, 1981, S. 51

Das *Early Design Model* ist also eine Abwandlung des *Post-Architecture Models*. Die kumulativen Parameter werden gerated, indem alle darin enthaltenen Parameter des *Post Architecture Models* gerated werden und jedem Rating eine Zahl von „1“ für „sehr niedrig“, „2“ für „niedrig“, ... bis „6“ für „extra hoch“ zugewiesen wird. Diese Zahlen werden aufsummiert und wiederum in ein Rating umgewandelt; es ist jeder möglichen Summe für jeden *Early Design*-Kostentreiber ein Rating mit zugehörigem Faktor zugeteilt.⁷⁴

Beispiel. Der *Early Design*-Parameter für Personalerfahrung, PREX, setzt sich aus der durchschnittlichen Anwendungserfahrung APEX, Plattformerfahrung PLEX und Erfahrung mit Tools und der Programmiersprache LTEX zusammen. Die jeweiligen Ratings und ihre zugehörigen Summanden für diese 3 Parameter seien in diesem Beispiel „niedrig“ (2), „hoch“ (4) und „sehr hoch“ (5). $2 + 4 + 5 = 11$, das Rating für PREX ist also laut Tabelle 2.12 „hoch“, der Kosteneinflussfaktor 0,87. Alternativ dazu könnte man auch die durchschnittliche Erfahrung des Personals in diesen drei Bereichen zur Bewertung heranziehen.

Tabelle 2.12. Zusammensetzung des Parameters PREX ⁷⁵

PREX Beschreibung:							
Σ APEX, PLEX, LTEX	3, 4	5, 6	7, 8	9	10, 11	12, 13	14, 15
Erfahrung mit Anwendung, Plattform und Tools	≤ 3 Monate	5 Monate	9 Monate	1 Jahr	2 Jahre	4 Jahre	6 Jahre
Bewertung	Extra niedrig	Sehr niedrig	niedrig	Nominal	Hoch	Sehr hoch	Extra hoch
Aufwandsmultiplikator	1,59	1,33	1,22	1,00	0,87	0,74	0,62

2.4.4 Reuse Model

Wie mit wiederverwendeter Software umgegangen wird, unterscheidet sich bei COCOMO II von *Intermediate COCOMO* dadurch, dass die Umwandlung der zu adaptierenden Codezeilen in äquivalente Codezeilen anders funktioniert, nämlich nicht mehr linear über den zu adaptierenden Anteil an Code.⁷⁶

Formel (2.8), die den *adaption adjustment factor* AAF berechnet,

$$AAF = 0,40(DM) + 0,30(CM) + 0,30(IM)$$

⁷⁴ Boehm et al., 2000, S. 52

⁷⁵ Quelle: Boehm et al., 2000, S. 55

⁷⁶ Siehe dazu Kapitel 2.2.3

behält ihre Gültigkeit, genau wie die Parameter DM, CM und IM. Zusätzlich gibt es drei neue Parameter, die an dieser Stelle auftauchen:

- ◆ *software understanding* SU: durch diesen Parameter wird die Struktur, Verständlichkeit und Qualität der vorhandenen Beschreibung der ursprünglichen Software zum Ausdruck gebracht. Der Wert von SU ist der Prozentwert an zusätzlichem Aufwand für das Einarbeiten in die Software und variiert von „50“ für „sehr niedriges“ in Zehnerschritten bis „10“ für „sehr hohes“ Softwareverständnis.
- ◆ *software unfamiliarity* UNFM: Maß an Unvertrautheit mit der Software. Der Wert hierfür reicht von komplett mit der Software vertraut „0“ bis komplett unvertraut „1“.
- ◆ *assessment and assimilation* AA: ein Parameter für den Aufwand der Eruiierung, ob die zu adaptierende Software überhaupt zur Adaption geeignet ist und um deren Beschreibung in die des Gesamtproduktes zu integrieren. Auch AA ist ein Prozentwert für Zusatzarbeit und reicht von 0 (kein Aufwand vorhanden) bis 8 (extensiver Aufwand für Modultest und -evaluierung).

Diese drei neuen Variablen SU, UNFM und AA dienen gemeinsam mit dem bereits bekannten Faktor AAF zur Berechnung des *adaption adjustment modifiers* AAM. AT steht für *automatically translated Code*, den Prozentsatz an wiederverwendetem Code, der also keine zusätzliche Arbeit verursacht und der daher subtrahiert wird.⁷⁷

Die Berechnung der EDSI funktioniert nun wie folgt:

$$EDSI = ADSI \times \left(1 - \frac{AT}{100}\right) \times AAM \quad (2.14 \text{ Equivalent DSI 2})$$

$$\text{wobei } AAM = \begin{cases} \frac{[AA + AAF \times (1 + (0,02 \times SU \times UNFM))]}{100} & \text{für } AAF \leq 50 \\ \frac{[AA + AAF + (SU \times UNFM)]}{100} & \text{für } AAF > 50 \end{cases}$$

2.5 Genauigkeit

Eine Besonderheit von COCOMO II ist, dass die Parameter für jedes Projekt durch die Methode der multiplen Regression lokal kalibriert werden können, um bestimmte Umgebungen genauer widerzuspiegeln. Durch die lokale Kalibrierung des Faktors A aus Formel (2.10) konnte die Genauigkeit von COCOMO II für die Aufwandswerte von 52 % auf 64 %

⁷⁷ Boehm et al., 2000, S. 22 ff

gesteigert werden, die Genauigkeit für den Zeitplan zu diesem Zeitpunkt beträgt 64 %, bezogen auf eine Genauigkeit von ± 30 %. Die Genauigkeit von innerhalb ± 20 % für den Aufwand beträgt 49 %.⁷⁸

Durch eine Erweiterung des Modells, die eine *crossvalidation* der Parameterwerte der Produktattribute mithilfe des Bayes'schen Modells erlaubt, wobei die Tabellenwerte als *a priori* Werte dienen, konnte die Genauigkeit noch einmal erheblich verbessert werden: sie steigt auf 75 %, durch zusätzliche Kalibrierung von *A* sogar auf 80 % innerhalb von 30 % und von 63 % auf 70 % innerhalb 20 %. Die Genauigkeit des Zeitplans steigt durch die Bayes-Kalibrierung auf 75 %, bezogen auf ± 30 %.⁷⁹

2.6 Aktuelle Anwendungsgebiete von COCOMO

Das Hauptanwendungsgebiet der COCOMO-Modelle ist derzeit ihr eigentlicher Zweck, die Abschätzung von Aufwand und Zeitplan von Softwareprojekten und als Tool für Entscheidungen im Softwaremanagement.

COCOMO ist außerdem Gegenstand mehrerer Forschungsarbeiten. Die meisten davon zielen entweder darauf ab, bessere Ergebnisse zu erzielen: entweder durch individuelle Kalibrierung der Parameter für ein Spezialgebiet oder durch eine allgemeine Verbesserung des Algorithmus. Beispiele hierfür sind die NASA, die COCOMO für ihre Umgebung spezialisiert hat,⁸⁰ oder Versuche, COCOMO durch eine *neuro-fuzzy* Herangehensweise (bei der die „Wahrheit“ nicht nur „0“ oder „1“, sondern auch jede Zahl dazwischen sein kann) zu verbessern.^{81 82}

Das andere, umfassende Forschungsgebiet ist es, COCOMO in ein größeres System zu integrieren, zum Beispiel in ein System des *Enterprise-Resource-Planing*⁸³ oder für Service-orientierte Applikationen.⁸⁴

⁷⁸ Boehm, 1981, S. 156 - 163, S. 191

⁷⁹ Boehm, 2000, S. 172f

⁸⁰ Aala, 2006

⁸¹ Huang et al., 2007

⁸² Fei und Liu, 1992

⁸³ Shad und Bahadar, 2017

⁸⁴ Tansey und Stroulia, 2007

2.7 Vergleich der Modelle

Tabelle 2.13. Unterschiede zwischen dem „originalen“ COCOMO (1981) und COCOMO II (2000)

	COCOMO 81	COCOMO II
Mathematischer Aufbau der Grundformel	$MM = A \times \prod EM_i \times KDSI^{Exp}$	$MM = A \times \prod EM_i \times KDSI^{Exp}$
Exponent	fixe Konstante, die durch den Modus bestimmt wird: Organic: 1,05 Semidetached: 1,12 Embedded: 1,20	variabel, wird mit den 5 Skalierungsfaktoren SF berechnet: $Exp = 0,91 + 0,01 \times \sum SF_j$
Kostentreiber	0 (Basic) bzw. 15 (<i>Intermediate, Detailed</i> COCOMO) Parameter	7 (<i>Early Design</i>) bzw. 17 (<i>Post-Architecture</i>) Parameter
Adaption von Software	lineare Formel, Kenntnis der zu adaptierenden Software wird vorausgesetzt	nichtlineare Formel, Einarbeitungsaufwand und Softwarekenntnis werden berücksichtigt
Projektdauer	Funktion des Aufwands	Funktion des Aufwands und des Zeitdrucks
Unterstützt <i>component level estimation</i>	Ab dem <i>Intermediate Model</i>	Ja
Genauigkeit Aufwand	<i>Basic</i> : 29 % innerhalb 30 % <i>Intermediate</i> : 68 % innerhalb 20 % <i>Detailed</i> : 70 % innerhalb 20 %	Nach Bayes-Kalibrierung: 80 % innerhalb 30 % 70 % innerhalb 20 %
Genauigkeit Zeitplan	<i>Basic</i> : 60 % innerhalb des Faktors 2,0 <i>Intermediate</i> : keine Daten <i>Detailed</i> : 58 % innerhalb 20 %	Nach Bayes-Kalibrierung: 75 % innerhalb 30 %

3 Kostenermittlung und Kalkulation im Bauwesen

Um später vor bösen Überraschungen gefeit zu sein, werden die Kosten eines jeden Bauprojekts über dessen gesamte Dauer verfolgt. Bereits entstandene Kosten werden festgestellt und protokolliert (und nach der Umrechnung in den Preis möglichst schnell dem Bauherrn verrechnet), in Zukunft entstehende Kosten werden anhand von Plan- und Ausführungsunterlagen abgeschätzt. Die Kostenermittlung kann nur so gut sein, wie der Informationsstand, weswegen ihre Genauigkeit im Zuge des Baufortschritts stetig zunimmt.

Die Baukosten sind nicht mit den Preisen zu verwechseln, die neben den durch Bautätigkeiten entstehenden Kosten auch noch solche für Wagnis, Gewinn und Zinsen beinhalten. Die Kostenermittlung laut deutscher Norm ist die „Vorausberechnung der entstehenden Kosten bzw. Feststellung der tatsächlich entstandenen Kosten. Entsprechend dem Planungsfortschritt werden die folgenden Stufen der Kostenermittlung unterschieden.“⁸⁵

3.1 Stufen der Kostenermittlung nach DIN 276 und ÖNORM B 1801-1

Die deutsche Norm kennt fünf, die österreichische sechs Stufen der Kostenermittlung, die jeweils sowohl als Kostenvorgabe für die nächste Stufe als auch als Kostenkontrolle im Zuge eines Soll-/Ist- Vergleiches dienen können. Bei abweichenden Kosten sind entweder die Qualitäten und/oder Quantitäten abzuändern oder die Kosten bei definierter Qualität/Quantität anzupassen. Die österreichische Norm schreibt zudem vor, die Kostenermittlung mit den Daten und Informationen der Sphären Termine und Qualitäten in Übereinstimmung zu gestalten. Die ÖNORM schließt außerdem die Finanzierung ausdrücklich in die Kostenplanung mit ein.^{86 87} Weder die ÖNORM B 1801-1 noch die DIN 276 schreiben den einzelnen Ermittlungsstufen eine geforderte Mindestgenauigkeit vor.

Alle Stufen haben vollständig zu sein - müssen also alle Kostengruppen umfassen und ausreichend tief gegliedert sein - auch dann, wenn der Ersteller nicht an allen Planungsleistungen selbst beteiligt ist.⁸⁸

⁸⁵ DIN 276:2008-12 Abschnitt 2.4.

⁸⁶ Priebornig, 2009, S. 1f

⁸⁷ ÖNORM B 1801-1 2015 Abschnitt 4.3.1 und Abschnitt 4.3.3

⁸⁸ Siemon, 2012, S. 59f

3.1.1 Kostenziel

Diese Stufe der Kostenermittlung ist in der DIN exkludiert. Die ÖNORM unterscheidet hingegen zwischen Entwicklungs- und Vorbereitungsphase, wobei das Kostenziel der Entwicklungsphase zugeordnet ist. Vorgabe bezüglich der Gliederung besteht für das Kostenziel keine, die Gliederung ist frei wählbar.⁸⁹

Das Kostenziel dient einer ungefähren (ca. +/- 12 % Genauigkeit) vom Auftraggeber festgelegten Budgetvorgabe und kann anhand der Zahl der Nutzungseinheiten (z.B. Stellplätze, Spitalsbetten, Hotelzimmer...) sowie für diese charakteristische Kostenwerte berechnet werden.⁹⁰

3.1.2 Kostenrahmen

Der Kostenrahmen oder auch Kostenüberschlag ist die erste Abschätzung der zu erwartenden Baukosten. Sie erfolgt auf Grundlage der Bedarfsplanung,⁹¹ das heißt, es sollte zumindest ein Raumprogramm vorhanden und Anforderungen an Bautechnik, Funktion und Ausstattung des Bauwerks bekannt sein.⁹² Daher wird der Kostenrahmen vom Auftraggeber erstellt bzw. in Auftrag gegeben.⁹³

Laut österreichischer Norm ist der Kostenrahmen der Vorbereitungsphase zugeordnet, basiert auf dem Kostenziel und hat bis in die erste Ebene der Baugliederung aufgegliedert zu sein.⁹⁴

Wie der Name schon verrät, handelt es sich um eine von/bis-Größe und nicht um eine Prognose, da viel zu viele Variablen (Materialien, Qualitäten, ausführende Firmen, ...) noch unbekannt sind. In Deutschland sollten im Kostenrahmen die Bauwerkskosten als solche eigenständig erkennbar sein, die Kostengruppen 300 und 400 der DIN 276 können als Bauwerkskosten zusammengefasst werden, so dass sechs Hauptkostengruppen als von der Norm gefordertes Minimum übrigbleiben. Eine tiefere Gliederung ist durchaus sinnvoll.⁹⁵

Als Grundlage des Kostenrahmens dienen Objektdaten. Für die 1. Ebene der Baugliederung können Netto-Raumfläche, Brutto-Grundfläche oder Brutto-Rauminhalt herangezogen werden.⁹⁶ Diese Parameter werden mit Kosten aus Erfahrungswerten beziffert. Dabei kann

⁸⁹ ÖNORM B 1801-1 2015 Abschnitt 4.3.2.1

⁹⁰ Mathoi, 2005, S. 51, S. 60

⁹¹ DIN 276:2008-12 Abschnitt 2.4.1

⁹² Seifert, 2013, S. 232

⁹³ Seifert, 2013, S. 21

⁹⁴ ÖNORM B 1801-1 2015 Abschnitt 4.3.2.2

⁹⁵ Seifert, 2013, S. 232ff

⁹⁶ ÖNORM B 1801-1 2015 Abschnitt 6.3.1

es sich um bürointerne oder statistische Werte, z.B. aus der jährlich erscheinenden Baukostendatenbank des Baukosteninformationszentrums BKI oder des gemeinsamen Ausschusses Elektronik im Bauwesen handeln: www.bki.de, www.gaeb.de

Wird eine Kostenvorgabe nach DIN 276 Abschnitt 3.2 vereinbart, kann der Kostenrahmen (bzw. dessen Obergrenze) auch als deren Grundlage dienen.⁹⁷

3.1.3 Kostenschätzung

Auf Basis der Vorplanung wird überprüft, ob die objektbasierte Kostenschätzung dem vorliegenden Kostenrahmen entspricht. Hierfür wird aus der Vorplanung eine in der Systematik der Kostengliederung geordnete Objektbeschreibung erstellt sowie Mengen der Bezugseinheiten der Elemente (z.B. m² Außenwand) berechnet. Die Kosten von Objekten eines möglichst vergleichbaren Standards werden als Kostenkennwerte auf das Objekt der Planung umgelegt. Durch die mathematischen Produkte von Elementmengen und Kostenkennwerten kann schließlich eine Kostenschätzung erstellt werden, die in Deutschland mindestens bis zur ersten Ebene der Kostengliederung reichen soll, eine Gliederung bis zur zweiten Ebene wird jedoch empfohlen. Die Unsicherheiten dieser Stufe der Kostenermittlung sind immer noch hoch, da noch keine Details über Standards der Qualität und Ausstattung bekannt sind.⁹⁸

Die österreichische Norm sieht ebenfalls die vorgegebenen bzw. angewendeten Bezugsmengen als mögliche Basis für die Kostenschätzung. Hier ist außerdem noch die Kostenermittlung aufgrund von Objektdaten zulässig, die Gliederung sollte bis in die 2. Ebene der Baugliederung reichen,⁹⁹ abhängig vom Planungsfortschritt kann eventuell auch schon die Elementmethode teilweise oder vollständig angewendet werden, im Sinne einer Plausibilitätskontrolle wird zusätzlich trotzdem die Berechnung mit BRI oder BGF empfohlen.¹⁰⁰

Im Anschluss an die Kostenschätzung kann die erste Kostenkontrolle auf zwei Arten erfolgen: entweder durch Vergleich mit dem Kostenrahmen oder durch Plausibilitätskontrolle: Die Gesamtkosten (brutto) von Hauptkostengruppen werden durch ihren Bezugswert (z.B. m³ Rauminhalt) dividiert; der so erhaltene Kostenkennwert (z.B. €/m³) des geplanten Bauwerks kann dann mit dem von bereits verwirklichten Projekten verglichen werden.¹⁰¹

⁹⁷ Seifert, 2013, S. 22, S. 233

⁹⁸ Seifert, 2013, S. 246ff

⁹⁹ ÖNORM B 1801-1 2015 Abschnitt 4.3.2.3 und Abschnitt 6.3.1

¹⁰⁰ Mathoi, 2005, S. 64f

¹⁰¹ Seifert, 2013, S. 254f

3.1.4 Kostenberechnung

Die Kostenberechnung ist die Methode zur finanziellen Beurteilung der Entwurfsplanung. Die Objekte der Kostenschätzung werden eine Gliederungsebene der Kostengruppen weiter nach unten zerlegt (mindestens zweite Gliederungsebene in Deutschland), deren Mengen ermittelt und diese mit Kostenkennwerten versehen. Optimalerweise ist die Planung bereits soweit fortgeschritten, dass die Elementkosten nach der 3. Gliederungsebene gegliedert werden können, zum Beispiel wird die Kostengruppe „Decken“ der Kostenhauptgruppe „Bauwerk - Baukonstruktionen“ in die Leistungspositionen „Deckenkonstruktionen“, „Deckenbeläge“, „Deckenbekleidungen“ und „Decken, sonstiges“ unterteilt. Die Mengenermittlung kann aus den Planungsunterlagen, aus deren schriftlichen Erläuterungen oder durch Berechnung mit Hilfe der jeweiligen Bezugseinheiten erfolgen. Da die Entwurfsplanung bereits eine Objektbeschreibung enthält, die Qualitätsstandards definiert, sollte es in der Regel möglich sein, in diesem Stadium eine Kostengenauigkeit von $\pm 10\%$ zu erreichen.¹⁰²

In Österreich ist die Gliederung bis in die dritte Ebene vorgeschrieben, das heißt, die Kostendaten haben sich auf vorgegebene oder angenommene Bezugsmengen zu beziehen.¹⁰³ Die Elementmethode wird standardmäßig empfohlen, allerdings ergibt auch hier die Prüfung mit Flächen oder Rauminhalten Sinn.¹⁰⁴

Die Kostenkontrolle kann auch hier auf zwei Arten erfolgen: entweder durch Vergleich mit der vorigen Stufe der Kostenermittlung, der Kostenschätzung, oder durch fortlaufende Erfassung aller Kosten der jeweiligen Kostengruppen. Die zweite Möglichkeit bietet eine bessere Übersicht, dafür eine geringere Gliederungstiefe.¹⁰⁵

3.1.5 Kostenanschlag

Der Kostenanschlag dient als Entscheidungshilfe für die Ausführungsplanung und für die Vorbereitung der Vergabe (jedoch nicht über die Vergabe selbst). Die Planungsunterlagen inklusive der Details sind in dieser Phase bereits vollständig vorhanden und sind dem Kostenanschlag zugrunde gelegt. Die Kostengruppen sind in Deutschland bereits mindestens bis zur 3. Ebene gegliedert und nach Vergabeeinheiten geordnet.¹⁰⁶

In Österreich gliedert sich der Kostenanschlag nach Leistungspositionen oder nach den Elementtypen der Baugliederung. Die Ausführungsplanung ist hier bereits abgeschlossen

¹⁰² Seifert, 2013, S. 257 - 261

¹⁰³ ÖNORM B1801-1 2015 Abschnitt 4.2.2.4 und Abschnitt 6.3.2

¹⁰⁴ Mathoi, 2005, S. 67

¹⁰⁵ Seifert, 2013, S. 265f

¹⁰⁶ Seifert, 2013, S. 274

und bildet gemeinsam mit Leistungsbeschreibung inklusive Massenermittlung (Ressourcenplan) die Grundlage für den Kostenanschlag.¹⁰⁷ Man könnte den Kostenanschlag als vom Planer ausgefülltes Leistungsverzeichnis betrachten. Für ein Eingreifen bei hier festgestellten Kostenüberschreitungen ist es meistens bereits zu spät.¹⁰⁸

Bei einer Totalausschreibung, bei der die Vergabe erst nach vollständig abgeschlossener Planung stattfindet, kann der Kostenanschlag mit einem einzigen (statischen) Kostenstand erstellt werden, sofern die Ausschreibung und Vergabe aller Bauleistungen vor Baubeginn erfolgen. Dem Vorteil einer hohen Kostensicherheit steht bei dieser Methode jedoch in der Regel eine Verzögerung der Bauzeit entgegen, da die Leistungsphasen konsekutiv erfolgen. Deshalb werden diese in der Praxis meist zeitlich überlappend ineinander verschoben, man spricht von dynamischer Leistungserbringung. Leistungsverzeichnisse werden schon vor Abschluss der restlichen Planungsabschnitte erstellt und zur Ausschreibung gebracht, zu Baubeginn sind oft noch nicht alle Vergabeblocke ausgeschrieben oder vergeben. Anders als bei den vorherigen Stufen der Kostenermittlung,¹⁰⁹ die auf einen bestimmten Stichtag bezogen werden können, kann der Kostenanschlag¹¹⁰ entsprechend dem Projektablauf in mehreren Schritten aufgestellt werden. Man spricht dann von einem dynamischen Kostenanschlag, wenn dieser parallel zum Verlauf der Vergabe fortgeschrieben wird.¹¹¹

Die Kostenkontrolle in dieser Phase kann entweder durch Vergleich des Kostenanschlags mit der Kostenberechnung (statische Kostenkontrolle) oder von Angeboten, Aufträgen und Abrechnungen mit Erfahrungswerten erfolgen (dynamische Kostenkontrolle). Ersteres ist vor allem bei einem statischen Kostenanschlag sinnvoll, ansonsten kann man einen Vergleich nur stichtagbezogen auf Basis von Schätzungen der noch nicht vergebenen Bauleistungen ziehen.¹¹² Die dynamische Kostenkontrolle vergleicht laufend die Kostenentwicklung von Unternehmerangeboten und zeigt aktuelle Kostereignisse sofort an – sie wird daher auch dynamische Kostenverfolgung genannt.¹¹³

¹⁰⁷ ÖNORM B 1801-1 2015 Abschnitt 4.3.2.5

¹⁰⁸ Mathoi, 2005, S. 69

¹⁰⁹ Siehe dazu Kapitel 3.1.2 bis 3.1.4

¹¹⁰ gemäß DIN 276:2008-12 Abschnitt 3.4.4

¹¹¹ Seifert, 2013, S. 275ff

¹¹² Seifert, 2013, S. 281f

¹¹³ Seifert, 2013, S. 284

3.1.6 Kostenfeststellung

Sie dient als Nachweis der tatsächlich entstandenen Kosten und als Dokumentation des Projekts für spätere Verwendung. Sie wird hauptsächlich anhand geprüfter Abrechnungsbelege erstellt und reicht in Deutschland - genau wie der Kostenanschlag - bis zur 3. Gliederungsebene der Kostengruppen.¹¹⁴

In Österreich ist die Kostenfeststellung genau wie der Kostenanschlag jedenfalls bis zu den Elementtypen der Baugliederung oder nach dem Leistungsverzeichnis zu gliedern.¹¹⁵

3.1.7 Vergleich ÖNORM B 1801-1 2015 und DIN 276:2008-12

Tabelle 3.1. Die geforderten Mindestgliederungstiefen von ÖNORM B 1801-1 2015 und DIN 276:2008-12

	ÖNORM 1801-1 2015	DIN 276:2008-12
Kostenziel	freie Struktur, freie Gliederung	-
Kostenrahmen	Baugliederung 1. Ebene	Kostengliederung 1. Ebene, 6 Hauptkostengruppen
Kostenschätzung	Baugliederung 2. Ebene	Kostengliederung 2. Ebene,
Kostenberechnung	Baugliederung 3. Ebene	Kostengliederung 3. Ebene
Kostenanschlag	Gliederung nach Element- typ oder Leistungspositio- nen	Kostengliederung 3. Ebene/ nach Vergabeeinheiten ge- ordnet
Kostenfeststellung	Gliederung nach Element- typ oder Leistungspositio- nen	Kostengliederung 3. Ebene/ nach Vergabeeinheiten ge- ordnet

3.2 Kostengruppen und Kostengliederung

Kostengruppen umfassen einzelne Kosten, die nach Planungs- oder Bauablaufskriterien sinnvoll zusammengefasst werden können.¹¹⁶ Die Vorschläge zur Unterteilung unterscheiden sich in der ÖNORM B 1801-1 etwas von denen der DIN 276, wie Tabelle 3.2 entnommen werden kann.

¹¹⁴ Seifert, 2013, S. 300

¹¹⁵ ÖNORM B 1801-1 2015 Abschnitt 4.3.2.6

¹¹⁶ DIN 276:2008-12 Abschnitt 2.9

Tabelle 3.2. Gegenüberstellung der Baugliederung der österreichischen ÖNORM B 1801-1 und der deutschen DIN 276¹¹⁷

ÖNORM B 1801-1		DIN 276	
Baugliederung		Kostengruppe (1. Ebene)	
0	Grundstück	100	Grundstück
1	Aufschließung	200	Herrichten und Erschließen
2	Bauwerk – Rohbau	300	Bauwerk – Baukonstruktion
3	Bauwerk – Technik	400	Bauwerk – Technische Anlagen
4	Bauwerk – Ausbau		
5	Einrichtung	600	Ausstattung und Kunstwerke
6	Außenanlagen	500	Außenanlagen
7	Planungsleistungen	700	Baunebenkosten
8	Nebenkosten		
9	Reserven		

Die Kostengruppen der Planung sind in Deutschland standardmäßig in drei Ebenen untergliedert. Bei ausführungorientierten Verfahren werden die Kostengruppen der ersten Ebene weiters in Gewerke oder Leistungsbereiche (entspricht der zweiten) und noch weiter in deren Teilleistungen (entspricht der dritten Ebene) gegliedert. Unabhängig von der Art der Kostengliederung sind die Kosten in Vergabeeinheiten zu ordnen.¹¹⁸

Auch in Österreich wird in drei Ebenen gegliedert. Die erste Ebene entspricht den Kostengruppen der Baugliederung (= in dem Fall Leistungsgliederung), ab der zweiten Ebene ist in Baugliederung und Leistungsgliederung zu unterteilen. Die zweite Ebene entspricht den Grobelementen der Baugliederung bzw. den Leistungselementen der Leistungsgliederung. Die dritte Ebene listet in der Baugliederung die Elemente auf, in der Leistungsgliederung alle Unterleistungsgruppen. Soll noch feiner gegliedert werden, so stößt man in der Baugliederung auf die einzelnen Elementtypen, in der Leistungsgliederung auf die dementsprechenden Leistungspositionen.¹¹⁹

¹¹⁷ Quelle: Kropik, 2010, Teil 1: Kostenplanung aus Bauherrensicht, S. 28

¹¹⁸ DIN 276:2008-12 Abschnitt 4.1 und Abschnitt 4.2

¹¹⁹ ÖNORM B 1801-1 2015 Abschnitt 5.1

Die Summe der Kosten aller Kostengruppen sind die Gesamtkosten,¹²⁰ also die Gesamtheit aller erwarteten Kosten für Vorbereitung, Planung und Durchführung einer Baumaßnahme.¹²¹ Zusätzlich kann noch in Errichtungskosten, Baukosten und Bauwerkskosten unterschieden werden, siehe Abbildung 3.1.¹²²

Baugliederung	Abk.	Bauwerkskosten BWK	Baukosten BAK	Errichtungskosten ERK	Gesamtkosten GEK
0 Grund	GRD				
1 Aufschließung	AUF				
2 Bauwerk-Rohbau	BWR	100 %			
3 Bauwerk-Technik	BWT				
4 Bauwerk-Ausbau	BWA				
5 Einrichtung	EIR				
6 Außenanlagen	AAN				
7 Planungsleistungen	PLL				
8 Nebenleistungen	NBL				
9 Reserven	RES				

Abbildung 3.1. Kostengruppierung ¹²³

3.3 Kostenermittlungsverfahren

Kostenermittlung bildet gemeinsam mit Kostenkontrolle und Kostensteuerung die Kostenplanung. Einheitliches System existiert dafür keines, in den Normen ist der Begriff zwar definiert, jedoch sind dessen Aufbau und Funktionsweise an dieser Stelle nicht weiter bestimmt. Über das „richtige“ Verfahren der Kostenermittlung scheiden sich die Geister – hauptsächlich deshalb, weil sich der Charakter der Informationen über das Bauvorhaben laufend verändert: von der Bedarfsorientierung zu Projektbeginn wechselt er zu planungsorientiert, ab der Ausschreibung ist er ausführungsorientiert. Für eine vernünftige Kostenkontrolle müssen die Daten vergleichbar sein, weswegen man sich zu Projektbeginn für eine der folgenden Methoden entscheiden sollte, die in das Kostenplanungssystem eingeht.¹²⁴

¹²⁰ DIN 276:2008-12 Abschnitt 2.10

¹²¹ Seifert, 2013, S. 113

¹²² ÖNORM B 1801-1 2015 Abschnitt 4.3.5

¹²³ Quelle: Auszug aus ÖNORM B 1801-1 2015, Abschnitt 4.3.5

¹²⁴ Seifert, 2013, S. 57f

3.3.1 Planungsorientierte Einwertverfahren

Diese sehr einfachen Verfahren eignen sich gut für die frühe Planungsphase, wo nur sehr wenige und hauptsächlich planungsorientierte Informationen vorliegen. Bei ihnen ist ausschließlich ein einziger Bezugswert von Relevanz.¹²⁵

Funktionale Verfahren. Für sie sind Parameter der Gebäudenutzung relevant, sogenannte Nutzeinheiten (NE), z.B. Anzahl der KfZ-Stellplätze, Hotelzimmer, Arbeitsplätze in Büros oder Ähnliches. Sie können zudem als Planungsvorgabe dienen (vorgegebener Maximalpreis pro Nutzungseinheit) und eignen sich gut für eine rasche Plausibilitätskontrolle.¹²⁶ Laut DIN 276 sind planungsorientierte Einwertverfahren bis hin zur Kostenschätzung zulässig.

Die Methode ist auch als „Auftraggebermethode“ bekannt.¹²⁷

$$K = NE \times \text{Kosten}/NE \quad \text{(3.1 Abschätzung nach Nutzeinheiten)}$$

Geometrische Verfahren. Sie verwenden eine Größe mit Bezug zur Gebäudegeometrie es handelt sich daher um objektbezogene Kostenermittlung. Das in der Praxis am häufigsten verwendete Verfahren bedient sich des Bezugswerts „Rauminhalt“ des Planungsobjektes (in m³), aber auch die BGF oder die Nutzfläche (in m²) sind übliche Größen.¹²⁸

$$K = BRI \times KKW_{BRI} \quad \text{(3.2 Abschätzung nach Objektdaten)}$$

Anstelle des Bruttorauminhaltes könnten in Formel (3.2 Abschätzung nach Objektdaten) selbstverständlich auch die Nutzfläche oder ein anderer geometrischer Parameter stehen.

Diese von Planern gerne verwendete Methode zeichnet sich zwar durch Einfachheit aus, hat aber keine hohe Genauigkeit. Es wird eine Analyse empfohlen, ob die geplanten Qualitäten mit dem Ergebnis von solchen geometrischen Verfahren umgesetzt werden können.¹²⁹

3.3.2 Planungsorientierte Mehrwertverfahren

Mehrwertverfahren unterscheiden sich von den Einwertverfahren dadurch, dass das geplante Bauobjekt nicht als Ganzes, sondern elementweise bewertet wird. Die Philosophie dahinter ist, dass die Gebäude, die als Vergleichsgrundlage dienen, nicht in ihrer Gesamt-

¹²⁵ Seifert, 2013, S. 58

¹²⁶ Seifert, 2013, S. 60

¹²⁷ Rauh, 2009, S. 159

¹²⁸ Seifert, 2013, S. 59f

¹²⁹ Rauh, 2009, S. 162

heit in ihren qualitativen Merkmalen dem Planungsobjekt ähneln müssen. Stattdessen werden von verschiedenen existierenden Objekten jeweils nur die Kostenkennwerte qualitativ gleichwertiger oder zumindest ähnlicher Elemente erfasst, die außerdem ähnliche Randbedingungen (z.B. Gebäudegeometrie) aufweisen. Sind alle Elemente mit einem Kostenkennwert beziffert, können diese mit der jeweiligen Bezugsmenge multipliziert und zu den Gesamtkosten aufsummiert werden.¹³⁰ Die Kennwerte sind aus zuschlagsbereinigten Preisen zu ermitteln und sollten vor Verwendung auf Aktualität überprüft werden.¹³¹ Natürlich ist außerdem auf Vollständigkeit zu achten. Wird diese eingehalten, erzielen erfahrene und sorgfältige Kostenplaner mit dieser Methode sehr gute Ergebnisse.¹³² Formel (3.3 Kostenkennwertmethode) gilt für Grobelement- und Feielementverfahren gleichermaßen.

$$K = \sum_{i=1}^n \text{Menge Bauelement}_i \times \text{KKW Bauelement}_i \quad \text{(3.3 Kostenkennwertmethode)}$$

Grobelement-Verfahren. Dieses Verfahren reicht bis zur 2. Gliederungsebene der Kostengruppen, deren Einträge den Grobelementen entsprechen, für die existierende Vergleichsobjekte gesucht werden, um Kostenkennzahlen zu erhalten. Durch die relativ geringe Gliederungstiefe ist eine Anwendung bereits in der Vorplanung bei der Kostenschätzung möglich.¹³³

Tabelle 3.3. Kostengruppe 300: Bauwerk - Baukonstruktionen nach DIN 276, exemplarisch gewählte Kostengruppe, 2. Gliederungsebene¹³⁴

KG-Nr.	Kostengruppe nach DIN 276	Mengeneinheit	Mengen-Benennung
310	Baugrube	m ³	Baugrubenrauminhalt
320	Gründung	m ²	Gründungsfläche
330	Außenwände	m ²	Außenwandfläche
340	Innenwände	m ²	Innenwandfläche
350	Decken	m ²	Deckenfläche
360	Dächer	m ²	Dachfläche
370	Baukonstruktive Einbauten	m ²	Brutto-Grundfläche
390	Sonstige Maßnahmen für Baukonstruktionen	m ²	Brutto-Grundfläche

¹³⁰ Seifert, 2013, S. 60f

¹³¹ Rauh, 2009, S. 164

¹³² Seifert, 2013, S. 63

¹³³ Seifert, 2013, S. 63

¹³⁴ Quelle: DIN 277-3:2005-04 S. 5f, Auszug, vereinfachte Darstellung

Feinelement-Verfahren. Die Kostenkennzahlen werden eine Gliederungsebene tiefer als beim Grobelement-Verfahren anhand Qualität und Randbedingungen ermittelt, nämlich bis zu Gliederungsebene 3. Da Informationen über Feinelemente in ausreichender Genauigkeit üblicherweise ab der Entwurfsplanung verfügbar sind, ist es die Kostenberechnung in dieser Phase, in der das Feinelement-Verfahren hauptsächlich Anwendung findet.¹³⁵

Tabelle 3.4. Kostengruppe 310: Baugrube nach DIN 276, exemplarisch gewählte Kostenuntergruppe, 3. Gliederungsebene¹³⁶

KG-Nr.	Kostengruppe nach DIN 276	Mengeneinheit	Mengen-Benennung
310	Baugrube	m³	Baugrubenrauminhalt
311	Baugrubenherstellung	m ³	Baugrubenrauminhalt
312	Baugrubenerschließung	m ²	Verbaute Fläche
313	Wasserhaltung	m ²	Gründungsfläche
314	Baugrube, sonstiges	m ²	Baugrubenrauminhalt

Für beide Verfahren ist anzumerken, dass sie in Deutschland aus Gründen der Homogenität und der Nachvollziehbarkeit der Elementermittlungen Tabelle 1 der DIN 277-3 entsprechen müssen.¹³⁷

Kostenermittlung mittels des Kostensimulationsmodells des BKI. Das deutsche Baukosteninformationszentrum BKI bietet eine weitere Vereinfachung der Methode der Mehrwertverfahren. Über Planungskennwerte wird jedem Element bis zur 2. Gliederungsebene ein für den jeweiligen Gebäudetyp und -standard spezifischer Wert (bzw. dessen Bandbreite) in Abhängigkeit von einem Objektparameter (BGF oder NF) angegeben. Diesen Wert nennt man Planungskennwert, zum Beispiel haben Bürogebäude mittleren Standards typischerweise einen Anteil von 28,1 % Verkehrsfläche der NF mit einer Bandbreite von 21,8 % bis 41,2 %, oder 0,42 m² Dachfläche je m² BGF, mit einer Bandbreite von 0,36 m² bis 0,62 m². Gemeinsam mit den bekannten Objektdaten kann über diese Faktoren leicht eine Menge für die Elementtypen ermittelt werden, mit der durch Multiplikation mit den jeweiligen Kostenkennwerten ein Wert für die Kosten entsteht.¹³⁸

Diese Methode entspricht einer Erweiterung des Grobelementverfahrens, da es bis zur 2. Gliederungsebene reicht. Zieht man Teil 2 und 3 des BKI dazu, können die Elemente der

¹³⁵ Seifert, 2013, S. 65, S. 69

¹³⁶ Quelle: DIN 277-3:2005-04 S. 5, Auszug, vereinfachte Darstellung

¹³⁷ Seifert, 2013, S. 63

¹³⁸ BKI Baukosten Gebäude 2010, S. 46 - 49

3. Gliederungsebene bzw. sogar einzelne Positionen bepreist werden.^{139 140} In diesem Fall wäre diese Vorgehensweise den Feinelementverfahren zuzurechnen.

Kostensimulationsmodell							
KG	Kostengruppen der 2.Ebene	Einheit	Mengen mit PlanungskennWerten			KostenKennWerte	Kosten
Berechnungsmethode:							
			BGF	X	PKW/BGF = Simulation → gewählt	X	KKW € → gewählt = Kosten €
310	Baugrube	m ³ BGI			1,05		23
320	Gründung	m ² GRF			0,38		253
330	Außenwände	m ² AWF			0,78		442
340	Innenwände	m ² IWF			0,77		251
350	Decken	m ² DEF			0,66		291
360	Dächer	m ² DAF			0,42		293
370	Baukonstruktive Einbauten	m ² BGF			1,00		30
390	Sonstige Baukonstruktionen	m ² BGF			1,00		46
300 Bauwerk - Baukonstruktionen							Σ300:
410	Abwasser, Wasser, Gas	m ² BGF			1,00		52
420	Wärmeversorgungsanlagen	m ² BGF			1,00		70
430	Lufttechnische Anlagen	m ² BGF			1,00		44
440	Starkstromanlagen	m ² BGF			1,00		107
450	Fernmeldeanlagen	m ² BGF			1,00		38
460	Förderanlagen	m ² BGF			1,00		26
470	Nutzungsspezifische Anlagen	m ² BGF			1,00		18
480	Gebäudeautomation	m ² BGF			1,00		265
490	Sonstige Technische Anlagen	m ² BGF			1,00		10
400 Bauwerk - Technische Anlagen							Σ400:
Summe 300+400							Σ300+400:

BGF für alle Zeilen

als MS Excel-Tabelle erhältlich unter www.bki.de/formulare

Abbildung 3.2. Kostensimulationsmodell mit ausgefüllten empfohlenen Planungskennwerten für Bürogebäude mittleren Standards mit der Berechnungsmethode nach BGF¹⁴¹

3.3.3 Ausführungsorientierte Verfahren

Diese Verfahren gehen nicht von einem Bauwerk als Summe geometrischer Körper, sondern als Summe handwerklicher Leistungen aus. Grundlage dafür ist daher jedenfalls die Ausführungsplanung. Die Gliederung kann je nach gewünschter Genauigkeit über Vergabeeinheiten, Leistungsbereich, Gewerke, Titel, Lose oder Einzelleistungen erfolgen.¹⁴² Bei ausführungsorientierter Gliederung der Kosten ist eine weitere Unterteilung der Leistungsbereiche bis zur 3. Ebene (z.B. Teilleistungen) und eine Ordnung nach Vergabeeinheiten vorzunehmen.¹⁴³

Es existieren zwei wesentliche Verfahren:

Verfahren nach Leistungspositionen. Hierbei werden in alle Leistungspositionen Einheitspreise eingesetzt und aufsummiert. Das Verfahren ähnelt den bauelementbezogenen

¹³⁹ BKI Baukosten Bauelemente, 2010

¹⁴⁰ BKI Baukosten Positionen, 2010

¹⁴¹ Quelle: BKI Baukosten Gebäude 2010, S. 91

¹⁴² Seifert, 2013, S. 73

¹⁴³ DIN 276:2008-12 Abschnitt 4.2

Verfahren¹⁴⁴, jedoch werden die Elemente statt aus den Planungsunterlagen direkt aus dem LV extrahiert. Formel (3.3) ist auch hier sinngemäß anzuwenden.

Verfahren nach Leitpositionen. Nur die wichtigsten Positionen („Leitpositionen“) werden erfasst und berechnet, die vielen restlichen „kleinen“ Positionen werden durch einen Zuschlag berücksichtigt. Die verwendete Methode ist die einer ABC-Analyse: es ist davon auszugehen, dass je nach Gebäudetyp 10 - 20 % der Positionen 70 – 80 % der Gesamtkosten verursachen (A-Positionen). Weitere 10 - 30 % der Positionen umfassen weitere 10 - 30 % der Gesamtkosten (B-Positionen) und die übrigen 50 - 80 % nur ca. 10 % der Kosten. Im Zuge der Analyse wird festgestellt, welche Positionen des LVs welchem Gewerk zuzurechnen sind und Sonderpositionen (SP) ausgeklammert. Anschließend werden die Positionen nach ihrem Wert geordnet, summiert und in die Bereiche A, B und C eingeteilt.

$$K = \sum_{\text{Gewerke } i} \left[\left(\sum_{\text{A-Positionen } j} \text{Menge}_j \times EP_j \right) \times f_R \right]_i + SP \quad (3.4 \text{ Leitpositionsverfahren})$$

wobei EP für „Einheitspreis“ steht und der Restwertfaktor f_R gemäß Formel (3.5 Restwertfaktor) aus dem Schwellenwert der A-Positionen S_A zu berechnen ist.

$$f_R = \frac{100}{S_A} \quad (3.5 \text{ Restwertfaktor})$$

Dies stellt eine legitime Methode dar, falls eine ausführungorientierte Kostenplanung bereits in einer früheren Planungsphase gewünscht wird. Voraussetzung dafür ist, dass zu diesem Zeitpunkt auf die Ausführungsplanung zumindest so weit vorgegriffen wird, dass die Leitpositionen für die Gewerke und deren Kostenanteile bekannt sind.¹⁴⁵

Eine EDV-gestützte ABC-Analyse wird auch für eine Kalkulationsanalyse als Kontrollwerkzeug und zur Berechnung der notwendigen Kapazitäten empfohlen.¹⁴⁶

3.3.4 Mischverfahren

Variationen von planungs- und ausführungorientierten Verfahren haben sich in der Praxis entwickelt. Sie stellen Erweiterungen oder Kombinationen der Grundverfahren dar und werden Mischverfahren genannt. Zum Beispiel können Gesamtkosten, die planungsorientiert berechnet wurden, mittels eines Prozentschlüssels in die ausführungsbasierten Strukturen der Leistungsbereich, Gewerke oder Vergabeeinheiten aufgeteilt werden. Dieses Verfahren kommt vornehmlich für den Vergleich der Ergebnisse von Kostenberechnung (planungsorientiert) und Kostenanschlag (ausführungsbasiert) zur Anwendung. Auch eine weiterführende Gliederung der 3. Ebene nach DIN 276 in eine 4, ausführungorientierte Ebene stellt ein

¹⁴⁴ siehe dazu Kapitel 3.3.2

¹⁴⁵ Seifert, 2013, S. 74f, Rauh, 2009, S. 181ff

¹⁴⁶ Drees, 2015, S. 303f

Mischverfahren dar. Diese Methode lässt einen sehr detaillierten und übersichtlichen Umgang mit Kostenelementen zu (z.B. können Leistungsbeschreibungen beliebig nach Gewerken oder Elementen sortiert werden), was vor allem bei komplexen Baumaßnahmen von Vorteil ist.¹⁴⁷

Da mehrere Gewerke an einer Kostengruppe arbeiten und Gewerke an mehreren Kostengruppen beteiligt sein können, braucht es bei Mischverfahren eine systematische Herangehensweise, um planungs- und ausführungorientierte Daten miteinander zu verknüpfen. Die allgemeine Systematik ist eine Tabelle mit Gewerken in den Zeilen, Kostengruppen in den Spalten und in den Schnittpunkten jeweils diejenigen Kostenelemente, die vom betreffenden Gewerk innerhalb dieser Kostengruppe ausgeführt werden.¹⁴⁸

3.3.5 Statistische Verfahren

Bei einander ähnlichen, vielfach wiederkehrenden Objekten werden Kosten und Kostenkennwerte aus einer vorhandenen Datenmenge extrahiert und auf deren Basis statistische Verteilungen (laut Seifert: Gauß'sche Normalverteilung) und Mittelwerte errechnet. Um den Projektstandard und sonstige Kosteneinflussfaktoren an die Datenmenge anzupassen, existieren Rechenfaktoren, die das Ergebnis präzisieren sollen. In der Praxis sind statistische Verfahren unüblich und nur sehr eingeschränkt empfehlenswert, da die errechnete Genauigkeit (durch existierende Verfahren) aufgrund der Unterschiedlichkeit von Bauvorhaben faktisch nicht erreicht wird.¹⁴⁹

3.4 Kostenkennwerte

Ein Kostenkennwert ist ein „Wert, der das Verhältnis von Kosten zu einer Bezugseinheit darstellt.“¹⁵⁰ Es wird je nach Beschaffenheit der Bezugseinheit zwischen geometrischen und funktionalen Kostenkennwerten unterschieden. Geometrische Kostenkennwerte beschreiben die Kosten von Flächen oder Kubaturen, funktionale Kostenkennwerte Kosten von Funktions- oder Nutzungseinheiten.¹⁵¹

Funktionale Kennwerte kennt die österreichische Norm in diesem Sinn nicht, sie schreibt je nach Tiefe der Kostengliederung für Objektdaten NRF, BGF und BRI oder die vorgegebenen bzw. angewendeten Bezugsmengen, für Kostendaten je nach Tiefe der Gliederung

¹⁴⁷ Seifert, 2013, S. 75

¹⁴⁸ Seifert, 2013, S. 75f

¹⁴⁹ Seifert, 2013, S. 77f

¹⁵⁰ DIN 276:2008-12 Abschnitt 2.7

¹⁵¹ Seifert, 2013, S. 99

Bauwerkskosten, Baukosten, Errichtungskosten und Gesamtkosten oder die vorgegebenen oder angewendeten Bezugsmengen vor.¹⁵²

Kostenkennwerte können verschiedenen Ursprungs sein: eigene Kennwerte können durch Auswertung und Katalogisierung von fertigen Objekten gebildet werden. Bei Vorhandensein mehrerer Kostenkennwerte verschiedener Objekte (und wenn Daten nicht über die erforderliche Tiefe existieren, um das ähnlichste Objekt ausfindig zu machen) kann deren arithmetisches Mittel als Kostenkennwert für das Planungsobjekt verwendet werden. Öffentliche Kostenkennwerte sind in Datenbanken zu finden, z.B. in denen der BKI oder der WEKA Baufachverlage. Im Einzelfall kann es notwendig sein, öffentliche Kostenkennwerte mit Korrekturfaktoren anzupassen, wenn Abweichungen zwischen den Referenzobjekten und dem Planungsobjekt klar erkennbar sind. Außerdem sind Regionalfaktoren zu berücksichtigen. Sind die vorliegenden Daten allesamt unzureichend, besteht noch die Möglichkeit, (Brutto-)Elementkostenkennwerte aus den (Netto-)Einheitspreisen der jeweiligen Leistungsposition zusammensetzen.^{153 154}

Schließlich muss jeder Kennwert noch an die zeitliche Veränderung des Preisniveaus angepasst werden. In Österreich dient dazu der Baupreisindex, der quartalsweise für jede Subbranche den prozentuellen Anteil eines Referenzjahres (aktuell: 2015) mit definiertem Wert 100 angibt. Um den aktuellen Kostenkennwert zu berechnen, wird der historische Kostenkennwert durch den Baupreisindex seiner Zeit dividiert und mit dem aktuellen Index multipliziert.

$$\text{Kostenkennwert}_{\text{neu}} = \text{Kostenkennwert}_{\text{alt}} \times \frac{\text{Index}_{\text{neu}}}{\text{Index}_{\text{alt}}} \quad \text{(3.6 Indexierung)}$$

3.5 Terminplanung

Parallel zur Kostenermittlung wird mit Voranschreiten des Projektes auch die Terminplanung immer genauer. Die Stufen der Terminplanung lauten Terminziel (Entwicklungsphase), Terminrahmen (Vorbereitungsphase), Grobterminplan (Vorentwurfsphase), Genereller Ablaufplan (Entwurfsphase), Ausführungsterminplan (Ausführungsphase) und Terminfeststellung (Abschlussphase). Die Gliederung hat dabei jeweils mindestens so weit zu gehen wie für die Kostenermittlung der jeweiligen Phase.¹⁵⁵

¹⁵² ÖNORM B 1801-1 2015 Abschnitt 6.3

¹⁵³ Seifert, 2013, S. 99 - 103

¹⁵⁴ www.bki.de, Homepage des BKI

¹⁵⁵ ÖNORM B 1801-1 2015, Abschnitt 4.2

Terminpläne können nach der Feinheit unterteilt werden. Der Größte Plan ist der Meilensteinplan, gefolgt vom Übersichtszeitplan, dem Ausführungszeitplan und schließlich dem Detailzeitplan, der zumeist nur für einzelne Bauabschnitte verläuft.¹⁵⁶

Eine andere Möglichkeit der Unterteilung ist nach der Darstellungsform. Die simpelste und ursprünglichste Form ist die Liste: eine tabellarische Form der Vorgänge, Start- und Endtermine und Vorgänger bzw. Nachfolger bei einem vernetzten Vorgang.¹⁵⁷ Balkendiagramme bieten mehr Übersicht und können hervorragend ergänzend neben einer Liste aufgetragen werden. Vorangehende und nachfolgende Vorgänge können mit Pfeilen miteinander verknüpft werden.¹⁵⁸ Für überwiegend 1-dimensionale Bauwerke wie Straßen und Brücken ist ein Bauphasenplan (ergänzend) gut geeignet. Hier wird der erwünschte Baufortschritt zum geplanten Termin mittels Skizzen visualisiert.¹⁵⁹ Für solche Bauwerke existieren zusätzlich oft auch Liniendiagramme, die den geplanten Baufortschritt in einem Zeit-Weg-Diagramm darstellen verläuft.¹⁶⁰ Für komplexe Bauprojekte führt heutzutage kein Weg an einem Netzplan vorbei. Diese graphische oder tabellarische Darstellung des Bauablaufs umfasst alle Vorgänge, Ereignisse, deren Termine und logische Verknüpfungen und lässt die Berechnung des kritischen Weges zu (die Verkettung jener Vorgänge, deren termingerechte Fertigstellung für die Einhaltung des Fertigstellungstermins ausschlaggebend sind). Der Netzplan bietet eine eindeutige Darstellung des Projektablaufs, guten Überblick und lässt Vergleiche zwischen unterschiedlichen Ausführungsvarianten zu.¹⁶¹

3.6 Kalkulation

Für jede Baufirma ist eine gute Kalkulation unumgänglich und sogar überlebenswichtig. Wird zu vorsichtig kalkuliert, werden keine Aufträge akquiriert, bei zu knapper Kalkulation steigt dafür die Wahrscheinlichkeit, einen Verlust einzufahren. Parallel zur Kostenplanung sollten die Termine geplant werden, da viele Kosten - vor allem Personal- und Gerätekosten - zeitabhängig sind und daher ohne Kenntnis des Zeitplans keine seriöse Kalkulation erstellt werden kann.

Die Aufgaben des Kalkulanten umfassen unter anderem die Erfassung von Menge und Kosten der Produktionsfaktoren, deren optimalen Einsatz und die Beurteilung des Marktes.¹⁶²

¹⁵⁶ Kropik, Kosten und Terminplanung WS 2010, Teil 2: Terminplanung, S. 7

¹⁵⁷ Kropik, Kosten und Terminplanung WS 2010, Teil 2: Terminplanung, S. 17

¹⁵⁸ Kropik, Kosten und Terminplanung WS 2010, Teil 2: Terminplanung, S. 18f

¹⁵⁹ Kropik, Kosten und Terminplanung WS 2010, Teil 2: Terminplanung, S. 20f

¹⁶⁰ Kropik, Kosten und Terminplanung WS 2010, Teil 2: Terminplanung S. 22

¹⁶¹ Kropik, Kosten und Terminplanung WS 2010, Teil 2: Terminplanung, S. 25f

¹⁶² Kropik, 2016, S. 355

Die für die Kalkulation wichtigen Größen sind der Aufwandswert und der Leistungswert. Der Aufwandswert ist als die zur Erstellung einer Einheitsgröße einkalkulierte Arbeitszeit definiert:

$$AW = \frac{\text{Arbeitszeit}}{EH} \quad \text{(3.7 Aufwandswert)}$$

Die Arbeitszeit ist typischerweise in Stunden angegeben, die Art der Einheit variiert mit der Position, z.B. lfm, m², m³ oder Stück. Ein typischer Aufwandswert wäre z.B. h/m² für Malerarbeiten. Aufwandswerte sind normalerweise von der Qualität unabhängig und lassen sich (bis zu einem gewissen Punkt) linear skalieren, wobei der Aufwandswert von der Anzahl der Arbeiter unabhängig ist. Es ist also irrelevant, ob ein Arbeiter drei Stunden oder drei Arbeiter je eine Stunde an einer Leistungserstellung arbeiten.

Bei Arbeiten mit Maschinen spricht man meistens von Leistungswerten, die diese Maschinen erbringen können. Dieser ist per Definition die Leistung, die pro Zeiteinheit erbracht werden kann, z.B. könnte ein Bagger 50 m³/h Bodenmaterial ausheben. Der Leistungswert ist also gewissermaßen der Kehrwert des Aufwandswertes.

$$LW = \frac{EH}{\text{Einsatzzeit}} \quad \text{(3.8 Leistungswert)}$$

Bei voneinander abhängigen Leistungserbringungen (Verkettungen) ist darauf zu achten, dass in diesen Fällen für die Kalkulation nur der Leistungswert des schwächsten Gliedes der Kette von Relevanz ist. Ein Beispiel dafür wäre, wenn die zur Verfügung stehenden LKWs nur 40 m³/h Bodenmaterial (Lagerungsdichte!) abtransportieren könnten.¹⁶³

In Österreich ist die Kalkulation in der ÖNORM B 2061 - Preisermittlung für Bauleistungen geregelt. In Deutschland existiert eine vergleichbare Norm nicht, die rechtlichen Rahmenbedingungen der Vergabe sind in Form von allgemeinen Vertragsbestimmungen in der Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen (VOB). Die VOB besteht aus drei Teilen, wobei Teil C die DIN 18299 ersetzt.

3.7 Kostenarten

Es existieren folgende Kostenarten-Grundlagen:¹⁶⁴

3.7.1 Personalkosten

Personalkosten setzen sich aus Lohnkosten für Arbeiter und Gehaltskosten für Angestellte sowie Lohn- und Gehaltsnebenkosten zusammen. Je nachdem, ob die den Personalkosten

¹⁶³ Kropik, 2016, S. 357f

¹⁶⁴ ÖNORM B 2061 1999-09-01 Abschnitt 4

gegenüberstehende Arbeit direkt zur Leistungserbringung beiträgt oder nicht, spricht man von Fertigungsentgelt oder Gemeinkostenentgelt. Eine weitere Unterteilungsmöglichkeit besteht anhand der Bezugsbasis in zeitbezogene, prämienbezogene und leistungsbezogene Arbeitsentgelte.¹⁶⁵

Bevor die Lohnkosten bestimmt werden können, müssen zuerst die Mittellohnkosten ermittelt werden. Diese sind in Zeile M des K3-Blattes gemäß ÖNORM B 2061 zu finden und setzen sich in Österreich wie folgt zusammen:¹⁶⁶

- ◆ durchschnittlicher kollektivvertraglicher Lohn aller Arbeiter, gewichtet über deren Einsatzzeit
- ◆ Lohnnebenbestandteile: Umlagen unproduktiven Personals, Aufzahlungen, Mehrlöhne und andere abgabepflichtige Lohnbestandteile
- ◆ Lohnnebenkosten: andere nicht abgabepflichtige Lohnbestandteile, direkte und umgelegte Lohnnebenkosten und andere Lohngebundenen Kosten

In Deutschland ist die Aufteilung eine andere, Hier gibt es drei Arten des Mittellohns:

- ◆ Mittellohn A: durchschnittlicher Lohn aller Arbeiter, inklusive aller Zulagen und Zuschläge, z.B. für Nachtarbeit, Leistungsprämien etc.
- ◆ Mittellohn AS: umfasst zusätzlich alle Sozialkosten
- ◆ Mittellohn ASL: umfasst zusätzlich alle Lohnnebenkosten, das sind in dem Zusammenhang hauptsächlich Zusatzkosten für Arbeiter, deren Arbeitsplatz außerhalb des Betriebes liegt, z.B. Reisegeld und Reisezeitvergütung, Verpflegungszuschuss, etc.

Wenn die Löhne des aufsichtsführenden Personals als unproduktives Personal anteilig auf die produktiven Arbeiter umgelegt werden, verwendet man die Abkürzungen zu Mittellohn AP, APS und APL („P“ für Polier).¹⁶⁷

Die Lohnkosten werden über die Aufwandswerte bestimmt. Dafür werden diese mit ihrer jeweiligen Menge (ME) und dem Mittellohn multipliziert.¹⁶⁸

$$LKO = ML \times \sum_i (AW_i \times ME_i) \quad \text{(3.9 Lohnkosten)}$$

Gehaltskosten setzen sich aus der Summe der Produkte aller Bruttogehaltskosten der am Projekt beschäftigten Angestellten mit der jeweiligen Dauer zusammen.

¹⁶⁵ Kropik, 2016, S. 160ff

¹⁶⁶ ÖNORM B 2061:1999-09, Abschnitt 4.1.1, Tabelle 1

¹⁶⁷ Drees, 2015, S. 51ff

¹⁶⁸ Rauh, 2009, S. 267

Tabelle 3.5.. Zusammensetzung der Bruttogehaltskosten ¹⁶⁹

Bruttogehaltskosten	
	Kollektivvertragliches Monatsentgelt
+	Überzahlung, Prämien udgl.
+	eventuell Überstundenpauschalierung
=	Monatsgehalt
+	Direkte Gehaltsnebenkosten
+	Umgelegte Gehaltsnebenkosten
+	Andere gesetzliche gehaltsgebundene Kosten
=	Gehaltskosten
+	Gehaltsgemeinkosten
=	Bruttogehaltskosten

Gehaltsgemeinkosten sind den Angestellten direkt zuordenbare Kosten, z.B. Firmenhandys oder Dienstwagen. ¹⁷⁰

$$GKo = \sum_i (BGK_i \times \text{Monate am Projekt } i) \quad \text{(3.10 Gehaltskosten)}$$

Sowohl Lohnkosten als auch Gehaltskosten enthalten an dieser Stelle noch keinen Zuschlag für Geschäftsgemeinkosten.

3.7.2 Materialkosten

Die ÖNORM B 2061 unterteilt die Kosten für Material in die Kosten für Baumaterial (das eingebaut wird), Hilfsmaterial (z.B. Schalung, Gerüste) und Betriebsstoffe (z.B. Energie, Treibstoff).

Die Materialkosten entstehen dem Bauunternehmer erst bei dessen Einbau bzw. Verwendung. Daher ist gerade bei Preisschwankungen die Ermittlung der Kosten nicht immer einfach und von der gewählten Methode zur Materialkostenbewertung zum Zweck der nachträglichen Zuordnung abhängig. Die zwei gängigen Verfahren sind folgende:

Festpreisverfahren. Hier wird ein gültiger Verrechnungspreis pro Periode festgesetzt. Wenn die Differenz zwischen Verrechnungspreis und Anschaffungspreisen zu groß wird,

¹⁶⁹ Quelle: Auszug aus Kropik, 2016, S. 213

¹⁷⁰ Kropik, 2016, S. 218

kann der Festpreis angepasst werden. Bei häufiger Anpassung gleicht die Methode dann dem IST-Preisverfahren.¹⁷¹

IST-Preisverfahren. Es existiert eine Ermittlungssystematik, in die die jeweiligen Anschaffungspreise für alle Materiallieferungen eingetragen werden. Bei den Durchschnittsverfahren wird der Preis über einen periodischen, permanenten oder gleitenden Durchschnitt der letzten Einkaufspreise gebildet.¹⁷² Verbrauchsfolgeverfahren ordnen jeder Materialeinheit einen Einkaufszeitpunkt zu, zu dem sie dann auch wieder das Lager verlassen. Dazu gibt es eine Reihe an Möglichkeiten, am gebräuchlichsten sind das LIFO- (Last-In-First-Out) und das FIFO-Verfahren (First-In-First-Out), bei denen jeweils das oberste bzw. unterste Element eines fiktiven Stapels das Lager „verlässt“.¹⁷³

Die Komponenten der Materialkosten sind folgende:

Tabelle 3.6. Zusammensetzung der Materialkosten ¹⁷⁴

Materialkosten
Bezugspreis je nach Methode
+ Materialgemeinkosten
+ Lieferung und Manipulation (Lagerplatz)
= Materialkosten [im Lager]
+ Transport zur Baustelle
= Materialkosten frei Bau
+ Abladen und Manipulation
+ Verlust und Schwund
= Materialkosten

Die resultierenden Materialkosten sind die Summe aller eingebauten Materialien:

$$MK_o = \sum_i (ME_i \times \sum_k (ME_k \times EP_k)) \quad (3.11 \text{ Materialkosten})$$

wobei in dieser Gleichung i den Positionsindex, k den Stoffindex und EP den Einheitspreis darstellt.¹⁷⁵

¹⁷¹ Kropik, 2016, S. 226

¹⁷² Kropik, 2016, S. 226f

¹⁷³ Bragg, 2018

¹⁷⁴ Quelle: Kropik, 2016, S. 230

¹⁷⁵ nach Rauh, 2009, S. 290

3.7.3 Gerätekosten

Die Kosten für den Einsatz von Betriebsmitteln und Geräten entstehen durch die Abschreibung der Anschaffungskosten, die aus den Anschaffungskosten entstehenden Kapitalkosten (Verzinsung) und durch notwendige Reparaturen.

Die Abschreibung eines Baugeräts oder Betriebsmittels hängt von der kalkulierten Lebensdauer ab. Da diese im Vorhinein nicht genau bekannt ist und geschätzt werden muss, gibt es hier natürlich viel Spielraum in Bezug auf die Bilanzen. Auch die Art der Abschreibung ist nicht einheitlich festgelegt. Die einfachere Methode ist die lineare Abschreibung. Die jährlichen Abschreibungskosten betragen hier simpel der Anschaffungswert (AW) durch die Zahl der Nutzungsjahre bzw. für die monatlichen Abschreibungskosten die Vorhaltemonate (VM):

$$A^{VM} = \frac{AW}{VM} \quad (3.12 \text{ Abschreibung})$$

Bei geometrisch-degressiver Abschreibung wird der Restwert (RW) eines jeden Jahres um einen fixen Prozentsatz verringert, wodurch sich für jedes Jahr (streng genommen sogar für jedes Monat) ein anderer Abschreibungsbetrag ergibt. Diese Methode ist zwar komplizierter, kommt dem realen Wertverlauf jedoch bedeutend näher.¹⁷⁶

Die Kosten für Verzinsung entsprechen der des jährlichen Restwertes. Bei Annahme einer linearen Abschreibung sehen die Kosten für die Verzinsung des gebundenen Kapitals etwa folgendermaßen aus:

$$K^g = \frac{AW+RW}{2} \times \frac{p\%}{100} \quad (3.13 \text{ Kapitalkosten})$$

K^g sind hierbei die gesamten Kapitalkosten und p% der der Kalkulation zugrundeliegende Zinssatz (Kropik, 2016, S. 289f). Richtwerte für die Abschreibung und Verzinsung (als Prozentsatz vom Neuwert), aber auch für Mittlere Neuwerte von Baugeräten sind in der Österreichischen Baugeräteliste (ÖBGL) zu finden.

Für die Reparaturkosten muss auf Erfahrungswerte zurückgegriffen werden. In der ÖBGL existieren auch hierfür Werte, die eine gute Schätzung liefern.

Die gesamten Kosten für Baugeräte und Betriebsmittel können mithilfe folgender Formel erfasst werden:

$$GKo = \sum_i [(K_{A,i} + K_{V,i}) \times F_{1,i} + K_{R,i} \times F_{2,i}] \quad (3.14 \text{ Gerätekosten})$$

F_1 und F_2 stellen optionale Abminderungsfaktoren für Abschreibung und Verzinsung und für Reparaturkosten dar. Sie bewegen sich üblicherweise im Bereich von 0,6 - 0,8. Für

¹⁷⁶ Kropik, 2016, S. 244, S. 287

Schalungsmaterial, mit dem oft sorglos umgegangen wird, sind Werte von 0,8 - 1,0 üblich.¹⁷⁷
Formel (3.14) gilt für Betriebsmittel gleichermaßen.

3.7.4 Kosten für Fremdleistungen

Die meisten Bauunternehmer führen nicht alle ausgeschriebenen Leistungen aus, sondern bedienen sich Subunternehmern. Aber auch Kosten für Berater, Versicherungen, Transport, Miete oder dergleichen zählen zu den Fremdleistungskosten. Die Erfassung der Fremdleistungskosten ist in den meisten Fällen nicht schwierig.¹⁷⁸

Als Grundlage sollen Tarife, Richtpreise, Angebote Dritter etc. dienen.¹⁷⁹

3.7.5 Zinskosten

Der Bauunternehmer erhält die Bezahlung erst nach der Leistungserbringung, das heißt, jede erbrachte Leistung muss von ihm über die Zeitspanne von Erbringung der Leistung bis zur Bezahlung der zugehörigen Rechnung vorfinanziert werden. Die Kosten, die durch die Verzinsung der Vorfinanzierung entstehen, nennt man Zins- oder Kapitalkosten. Sie werden in der Kalkulation mit einem fixen Prozentsatz angenommen und sind Teil des Gesamtschlags. Je öfter Abschlagsrechnungen gelegt werden, desto kürzer wird die Zeitspanne der Vorfinanzierung und desto geringer fallen die Kapitalkosten aus.¹⁸⁰

3.7.6 Andere Kosten

Hier werden alle restlichen Kosten umfasst, z.B. Steuern, Gebühren und sonstige Abgaben, Lizenzen, EDV-Anlagen, Büromaterial, Mieten, Pacht und Sachverständigenleistungen.¹⁸¹

3.8 Aufbau der Kostenermittlung

Die Kostenarten-Grundlagen¹⁸² sind die Basis für folgende Kosten:

Einzelkosten. Bestehend aus fixen und variablen Kosten. Sie können weiter in Einzellohn-, Einzelmaterial- und Einzelgerätekosten unterteilt werden.¹⁸³

¹⁷⁷ Rauh, 2009, S. 307

¹⁷⁸ Kropik, 2016, S. 254

¹⁷⁹ ÖNORM B 2061, 1999-09-01 Abschnitt 4.4

¹⁸⁰ Kropik, 2016, S. 258f

¹⁸¹ ÖNORM B 2061 1999-09-01 Abschnitt 4.6

¹⁸² Siehe dazu Kapitel 3.7.1 bis 3.7.6

¹⁸³ ÖNORM B 2061 1999-09-01 Abschnitt 5.1

Baustellengemeinkosten. Auch sie bestehen aus fixen und variablen Kosten und können weiter in einmalige Kosten der Baustelle, zeitgebundene Kosten der Baustelle, Gerätekosten der Baustelle und sonstige Kosten der Baustelle unterteilt werden.¹⁸⁴

Geschäftsgemeinkosten. Folgende Kosten sind in der ÖNORM explizit aufgezählt: Gehälter inkl. Gehaltsnebenkosten, Löhne inkl. Lohnnebenkosten, Betriebssteuern und sonstige Abgaben, Beiträge für Berufsvereinigungen und Fachvereinigungen, Büro- und EDV-Kosten, Miete und Pacht für dem Gesamtbetrieb dienlichen Anlagen, Reisekosten, Versicherungskosten (Versicherungen allgemeiner Art), Werbung, Kosten für Lohnverrechnung und Kosten des Aufsichtsrates.¹⁸⁵

Sonstige Gemeinkosten. Umfassen fallweise auftretende Gemeinkosten.¹⁸⁶

Bauzinsen. Umfasst alle Zinsen mit Ausnahme der Verzinsung von Baugeräten, Betriebsmitteln und des Gesamtbetriebs dienlichen Anlagen.¹⁸⁷

Wagnis. Wagnis umfasst die Risiken, die während eines Bauvorhabens auftreten können. Risiken sind üblicherweise negativ konnotiert und verschlechtern bei ihrem Auftreten das Bauergebnis. Sie sind das Produkt der jeweiligen Eintrittswahrscheinlichkeit mit den Eintrittsfolgekosten („Schaden“). Das Gegenteil von Risiko sind Chancen, bei deren Auftreten sich das Bauergebnis verbessert und die daher von den Wagniskosten abzuziehen sind. In der Praxis sind sie jedoch seltener.

Risiken können mannigfaltiger Natur sein. Baustellen befinden sich unter freiem Himmel, es arbeiten eine hohe Anzahl Menschen mit und jeder davon ist eine potenzielle Fehlerquelle. Die Risiken können wie folgt kategorisiert werden:¹⁸⁸

- ◆ Projektrisiko: betrifft das betrachtete Bauprojekt im Speziellen
 - Kalkulationsrisiko: Fehler und Unsicherheiten bei der Kalkulation
 - Dispositionsrisiko: potentielle Störungen bei der Bauabwicklung
- ◆ Unternehmensrisiko: betrifft allgemeine Wirtschaftslage, Unternehmensauslastung, Vertragspartner, ...

Die Risikokosten werden üblicherweise bei der Preisbildung gemeinsam mit den Zinskosten, dem erwünschten Gewinn und den Geschäftsgemeinkosten in Form des Gesamtzuschlags auf alle Kosten aufgeteilt.

¹⁸⁴ ÖNORM B 2061 1999-09-01 Abschnitt 5.2

¹⁸⁵ ÖNORM B 2061 1999-09-01 Abschnitt 5.3

¹⁸⁶ ÖNORM B 2061 1999-09-01 Abschnitt 5.4

¹⁸⁷ ÖNORM B 2061 1999-09-01 Abschnitt 5.5

¹⁸⁸ Kropik, 2016, S. 267

Gewinn. Aus dem einkalkulierten Gewinn sind ungedeckte bzw. nicht ausreichend gedeckte Wagniskosten zu bestreiten.¹⁸⁹

3.9 Verteilung von Kosten

Um die entstehenden Kosten wieder einzuspielen, müssen sie an den Bauherren weitergegeben werden. Dafür müssen sie in irgendeiner Form in der Kalkulation aufscheinen, um schließlich auch verrechnet werden zu können. Für diese Weiterverrechnung der Kosten stehen in der Bauwirtschaft mehrere Methoden zur Verfügung, die am meisten verwendete davon (die auch in der ÖNORM B 2061 angegeben wird) ist die Zuschlagskalkulation.¹⁹⁰

Die Kostenumlage von nicht direkt verrechenbaren Kostenelementen auf die Kostenträger wandelt die Kosten in Preise um. Die Komponenten der nicht direkt verrechenbaren Elemente sind:

- ◆ Geschäftsgemeinkosten
- ◆ Sonstige Gemeinkosten
- ◆ Bauzinsen
- ◆ Wagnis
- ◆ Gewinn

Die Zuschlagsträger (Kostenträger) sind die Kostenarten der Baukalkulation (ohne Zinsen und andere Kosten), wobei die Personalkosten noch einmal in Lohn- und Gehaltskosten unterteilt sind:

- ◆ Lohnkosten
- ◆ Gehaltskosten
- ◆ Materialkosten
- ◆ Gerätekosten
- ◆ Kosten für Fremdleistungen

Auf sie können die Zuschläge verteilt werden, diese können auch verschieden hoch sein.¹⁹¹

¹⁸⁹ ÖNORM B 2061 1999-09-01 Abschnitt 5.3

¹⁹⁰ Kropik, 2016, S. 81

¹⁹¹ ÖNORM B 2061 1999-09-01 Abschnitt 6.1

3.9.1 Divisionskalkulation

Um die Stückkosten zu berechnen, werden die Gesamtkosten einer Produktionseinheit durch die Anzahl der produzierten bzw. bei Plankostenrechnung der prognostizierten Einheiten dividiert. Dabei wird nicht zwischen Gemeinkosten und Einzelkosten unterschieden.¹⁹²

Einstufige Divisionskalkulation. Voraussetzung für eine einstufige Kalkulation ist, dass der Betrieb bzw. die Abteilung nur ein Produkt herstellt, das in einer Zahl als Produktionsmenge erfasst werden kann. Die produzierende Stelle fungiert somit als Kostenstelle.¹⁹³

$$K = \frac{\text{Gesamtkosten einer Periode}}{\text{Produktionsmenge einer Periode}} \quad \text{(3.15 Stückkosten)}$$

Stufendivisionskalkulation. Für den Fall, dass bei der Produktion in mehreren Stufen unterschiedliche Produkte erzeugt werden (z.B. Nebenprodukte), kann auch stufenweise kalkuliert werden. In der Bauwirtschaft ist dies nicht üblich.¹⁹⁴

Äquivalenzziffernkalkulation. Werden verschiedene artverwandte oder -ähnliche Leistungen mit derselben Messeinheit produziert, bietet sich die Äquivalenzziffernkalkulation an. Die Kosten (je Produktionsmenge) der einzelnen Leistungen werden als Äquivalenzziffer proportional zu den Kosten einer definierten Basisleistung mit Äquivalenzziffer 1,0 ausgedrückt. Diese dient dazu, die unterschiedlichen Leistungen preislich zu homogenisieren, nämlich durch Multiplikation mit der Anzahl an tatsächlich produzierten Einheiten, was die Anzahl der „Verrechnungseinheiten“ für ein einzelnes Produkt ergibt. Die Stückkosten der Basisleistung können dann als Division der Gesamtkosten durch die Summe der Verrechnungseinheiten aller Produkte berechnet werden.¹⁹⁵

3.9.2 Zuschlagskalkulation

Die Zuschlagskalkulation oder auch Umlagekalkulation¹⁹⁶ trennt im Gegensatz zur Divisionskalkulation die Einzelkosten (direkte Kosten) von Gemeinkosten (indirekte Kosten), die über Zuschlagssätze den Kostenträgern zugerechnet werden. Es wird zwischen der einfachen Zuschlagskalkulation, die die Gemeinkosten als Ganzes betrachtet, und der differenzierenden Zuschlagskalkulation, die versucht, die Gemeinkosten möglichst verursachungstreu zuzuordnen, unterschieden.¹⁹⁷

¹⁹² Kropik, 2016, S. 81

¹⁹³ Kropik, 2016, S. 81f

¹⁹⁴ Kropik, 2016, S. 83

¹⁹⁵ Kropik, 2016, S. 83f

¹⁹⁶ Drees, 2015, S. 41

¹⁹⁷ Kropik, 2016, S. 87

Einfache Zuschlagskalkulation. Es können einer oder mehrere Zuschlagssätze verwendet werden. Bei der einfachen Zuschlagskalkulation mit nur einem Zuschlagssatz werden der Umsatz und die Geschäftsgemeinkosten einer Periode erhoben und jeweils für die nächste Periode prognostiziert. Dann wird der Anteil der Gemeinkosten der folgenden Periode erhoben und nach einem Basiswechsel wird dieser Prozentsatz in der folgenden Periode allen Einzel- und Sonderkosten zugeschlagen. Ist eine Kostenartenrechnung vorhanden, können auch mehrere Zuschlagssätze verwendet werden. Hierbei werden alle bis auf eine Kostenartengruppe mit fixen Zuschlagssätzen versehen, für die verbliebene (in der Praxis üblicherweise die Kostenart „Lohn“) wird ausgerechnet, welcher Zuschlagssatz notwendig ist, um die Gemeinkosten vollständig abzudecken. Der Vorteil davon ist, dass der Einsatz von Arbeitskräften die am besten zu planende Größe ist und sich daher am besten dazu eignet, die Gemeinkosten zielgenau wieder einzubringen. Zum Beispiel ist es zu Beginn einer Periode unvorhersehbar, ob die kommenden Aufträge materialintensiv sein werden und wie die Qualität des Materials - und damit die Höhe der Materialkosten - ist.¹⁹⁸

Differenzierende Zuschlagskalkulation. Die Kosten werden in diesem Verfahren nach Kostenarten sortiert, dann (entweder direkt oder Gemeinkosten über eine Umlage mit einem sinnvoll gewählten Schlüssel) verursachungsgerecht den Kostenstellen (Verursachern) zugeordnet und dort addiert, um dann wieder über Verrechnungs- und Zuschlagssätze auf die Kostenträger weitergegeben zu werden. Diese Kostenträger können auch intern verrechnete Leistungen sein (z.B. Reparaturwerkstatt). In diesem Fall werden die Kosten zu den jeweiligen Kostenstellen rückgeführt. Dies geschieht so lange, bis alle Kosten einem dem Kunden verrechenbaren Endkostenträger zugeordnet sind.¹⁹⁹

Die Kosten können bei der Zuschlagskalkulation zusätzlich nach der Variabilität ihrer Entstehung unterschieden werden: betriebs- und leistungsabhängige Kosten hängen vom Baufortschritt ab (z.B. Materialkosten), zeitabhängige Kosten nur von der Zeit (z.B. Vorhaltekosten), während sich Fixkosten nicht ändern (z.B. Baustelleneinrichtungskosten). Der Unternehmer sollte seine Kalkulation in dieser Hinsicht nachvollziehbar und prüfbar gestalten, um Unklarheiten bei Nachtragsforderungen zu vermeiden.²⁰⁰

¹⁹⁸ Kropik, 2016, S. 88ff

¹⁹⁹ Kropik, 2016, S. 95, S. 104

²⁰⁰ Rauh, 2009, S. 245

3.9.3 Weitere Methoden

Der Vollständigkeit wegen werden noch die Methoden der Prozesskostenrechnung,²⁰¹ der Zielkostenkalkulation,²⁰² des Benchmarkcostings,²⁰³ und der Verrechnungssatzkalkulation²⁰⁴ genannt, auf die an dieser Stelle jedoch nicht weiter eingegangen wird.

3.10 Phasen der Kalkulation

Die Kalkulation durchläuft nach Bekanntwerden der Ausschreibungsunterlagen bis nach dem Projektabschluss mehrere Phasen. Zuerst wird in der Vorkalkulation geschaut, was die Durchführung des Bauvorhabens realistisch kosten wird. Dann wird unter Rücksichtnahme auf den Markt, die Firmensituation und Besonderheiten der Ausschreibung eine Angebotskalkulation erstellt, deren Resultat das Angebot ist. Wird der Zuschlag erteilt, geht sie im Zuge von Nachverhandlungen in eine Auftragskalkulation über, die meistens auch Grundlage für den Bauvertrag ist. Während der Bauphase wird die Kalkulation in Form einer Arbeitskalkulation ständig aktualisiert, um über die jüngsten Entwicklungen Bescheid zu geben und die Chance zu bieten, bei Fehlentwicklungen eingreifen zu können. Schließlich wird in der Nachkalkulation der wirtschaftliche Erfolg des Projektes überprüft und Preisreferenzen für zukünftige Projekte erstellt.

3.10.1 Vorkalkulation

In der ersten Phase der Kalkulation wird im Zuge der Vorkalkulation in Hinblick auf die projektspezifischen Besonderheiten und die besonderen zu erwartenden Risiken eine objektive Einschätzung über die zu erwartenden Kosten erstellt, auf Basis derer später Strategien für kostendeckende Preise erstellt werden. Das bedeutet, dass in dieser Phase noch keine preisgestalterischen oder -strategischen Überlegungen angestellt werden, sondern ausschließlich solche zu möglichst wirtschaftlichem Vorgehen und dessen Kosten.²⁰⁵

3.10.2 Angebotskalkulation

Das Ziel der Angebotskalkulation ist es, einen Angebotspreis zu erstellen, der auf der einen Seite wettbewerbsfähig ist, also zu den niedrigsten Angeboten zählt (bzw. bei Niedrigstbieterprinzip: das niedrigste Angebot), andererseits aber auch für das Unternehmen

²⁰¹ Kropik, 2016, S. 117

²⁰² Kropik, 2016, S. 119

²⁰³ Kropik, 2016, S. 121

²⁰⁴ Drees, 2015, S. 42

²⁰⁵ Kropik, 2016, S. 138

wirtschaftlich tragbar ist (Deckung der Selbstkosten, optimalerweise Erzielen eines Gewinns). Diese Phase ist von höchster strategischer Bedeutung für die Gewinnmaximierung. Von völlig überpreisten Angeboten, die nur dazu dienen, den Markt zu scannen bis hin zu knapp kalkulierten Angeboten, die oft unternehmensstrategische oder sogar spekulative Hintergründe haben, ist hier alles möglich.²⁰⁶

Hierbei ist eine langfristige Betrachtung der Auftragslage im Unternehmen hilfreich. Sind die Kapazitäten gut ausgelastet, können sehr hohe Angebote abgegeben werden. Sind hingegen gerade wenige Projekte geplant, muss eventuell sehr knapp und riskant kalkuliert werden, denn selbst ein Projekt mit leichtem Verlust ist manchmal besser als gar kein Umsatz.²⁰⁷

3.10.3 Auftragskalkulation

Im Zuge von Nachverhandlungen bzw. Planänderungen entstehende Abweichungen der Ausschreibungsunterlagen müssen kalkulatorisch berücksichtigt werden. Die finale Auftragskalkulation findet in der Regel Einzug in den Bauvertrag.²⁰⁸

3.10.4 Arbeitskalkulation

Begleitend zur Ausführung wird die Arbeitskalkulation durchgeführt. Ihr Zweck ist nicht nur die Kontrolle des bisherigen Bauablaufs, sondern auch das Controlling der zukünftigen Schritte. Auf ihr beruhen die Nachkalkulation und die Soll- und Planwerte der Produktion. Außerdem löst die Arbeitskalkulation Kostenträger auf, indem sie LV-Positionen desselben Arbeitsganges unter einer Bauarbeiterschlüsselnummer zusammenfasst (z.B. Stiegenpodeste und Stiegenläufe). Auch die Umlagen werden wieder aufgelöst und Änderungen in der Ausführungsplanung berücksichtigt, etwa die nachträgliche Entscheidung zur Auslagerung in Subunternehmer oder die Änderung einer Ausführungsmethode.²⁰⁹

3.10.5 Nachkalkulation

Beim Soll-Ist-Vergleich werden die tatsächlichen Kosten nach Kostenarten getrennt der Baubetriebsrechnung mit dem Ergebnis der Arbeitskalkulation verglichen. Die Nachkalkulation unterscheidet sich hauptsächlich dadurch, dass die Kosten beim abschließenden Vergleich nach BAS-Schlüsseln getrennt sind. Bei der technischen Nachkalkulation wird die

²⁰⁶ Kropik, 2016, S. 139f

²⁰⁷ Kropik, 2016, S. 137

²⁰⁸ Rauh, 2009, S. 242

²⁰⁹ Kropik, 2016, S. 141f

Richtigkeit der Menge, bei der kaufmännischen Nachkalkulation die der Preise kontrolliert.²¹⁰

3.11 Kostenermittlung von Planungsleistungen

Planungsleistungen von Architekten und Ingenieuren wurden in Österreich bis 2006 nach der Honorarordnung für Architekten (HOA) sowie Honorarordnungen und -leitlinien für diverse Ingenieurleistungen, z.B. die Honorarleitlinie Bauwesen Ingenieurbauwerke, Planung und örtliche Bauaufsicht (HOB-I) bemessen. Nach der Aufhebung der HOA 2006 folgte die Honorar Information Architektur (HIA), die sich jedoch nicht etablierte. 2014 erschienen die Leistungs- und Vergütungsmodelle LM.VM von Univ.-Prof. Hans Lechner der TU Graz. Sie präsentieren eine weithin akzeptierte Richtlinie für die Beschreibung von Planungsleistungen und die Ermittlung von Honoraren, die auch von der Bundeskammer der Architekten und Ingenieurkonsulenten vorgeschlagen wird. Auch die Bundesinnung Bau der WKO entwickelte 2006 eine Methode für die Kostenermittlung von Planungsleistungen, die 2008 auf insgesamt sechs Bände erweitert wurde.

In Deutschland gibt es eine einzige Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI), die eine preisrechtliche Vorschrift mit Unter- und Obergrenze darstellt und deren Bestimmungen für die Honorarbildung als verbindlich anzusehen sind.²¹¹

Da der Planer vom Bauherrn zu bezahlen ist, ist die Summe der Honorare der Planer mit den Planungskosten (für den Bauherrn) gleichzusetzen.

3.11.1 Pauschalhonorar

Sowohl die HOA als auch die unverbindliche Kalkulationsempfehlung für Ingenieurleistungen der WKO sehen diese Möglichkeit vor. Wird diese Methode gewählt, ist es besonders wichtig, die notwendigen Bearbeitungsinhalte und die geforderte Bearbeitungstiefe im Vorhinein festzulegen.²¹²

3.11.2 Verrechnung nach dem Zeitaufwand

Honorare für Planungsleistungen können auch abhängig von der für ihre Erstellung benötigte Zeit sein, wobei die Ober- und Untergrenze des Stundensatzes für jeweils drei Leistungskategorien (des Planers, abhängig von dessen Qualifikation) in der HOA festgesetzt

²¹⁰ Drees, 2015, S. 323

²¹¹ Rauh, 2009, S. 395

²¹² HOA, 2002, Abs. A § 3 Abs. (4) Z.3

sind. Hinzu kommen Zuschläge für Arbeiten außerhalb der normalen Arbeitszeit (7:00 - 19:00 an Wochentagen) und für Arbeiten außerhalb Österreichs bzw. außerhalb Europas. Bei Ingenieurleistungen existieren insgesamt fünf Qualifikationskategorien für Angestellte, die sich am Rahmenkollektivvertrag für Information und Consulting orientieren.²¹³

Diese Methode wird von der Bundeskammer der Architekten und Ingenieurkonsulenten vor allem dann empfohlen, wenn in der HOA keine andere Möglichkeit sinnvoll erscheint.²¹⁴

3.11.3 Nebenkosten und Spesen

Prinzipiell sind Nebenkosten und zur Leistungserbringung notwendige Spesen getrennt vom Honorar zu vergüten.²¹⁵

3.11.4 Honorarermittlung laut HOA²¹⁶

Die HOA schlägt zusätzlich zu den erwähnten Methoden eine weitere, von den Baukosten abhängige Methode vor. Hierbei wird zunächst zwischen den Planungsdisziplinen unterschieden, es existiert jeweils ein Abschnitt für:

- A - Bauliche Planungsleistungen
- B - Innenraumgestaltung sowie kunstgewerbliche und industrielle Formgebung
- C - Freianlagengestaltung
- D - Raumplanung und Städtebau
- E - Gutachten und Immobilienbewertungen

An dieser Stelle wird ausschließlich auf Abschnitt A für bauliche Planungsleistungen exemplarisch näher eingegangen. Es wird nach 10 Schwierigkeitsgraden - von 1 - Bauwerke einfachster Art bis 10 - Sonderbauten - unterschieden. Für jeden Schwierigkeitsgrad existiert ein Faktor für die Planung f_k von 0,704 bis 1,667 und ein ÖBA Faktor $f_{k,B}$ 0,397 bis 0,604. Die Honorarsätze für Planung und örtliche Bauaufsicht errechnen sich wie folgt:

$$h_p = 0,0580 \times \left(0,65 + 0,55 \times \sqrt[3]{\frac{255.000}{K}} \right) \times f_k \quad \text{(3.16 Honorarsatz Planung)}$$

$$h_B = 0,0767 \times \left(0,65 + 0,55 \times \sqrt[3]{\frac{131.000}{K}} \right) \times f_{k,B} \quad \text{(3.17 Honorarsatz Bauaufsicht)}$$

²¹³ HOA, 2002, Abs. A § 5

²¹⁴ HOA, 2002, Abs. A § 3 Abs. (2) Z.3

²¹⁵ HOA, 2002, Abs. A § 9

²¹⁶ Die HOA ist seit 2006 außer Kraft gesetzt

Mit

$$f_k = -0,00004 \times (\text{Klasse} \times 10)^2 + 0,0151 \times (\text{Klasse} \times 10) + 0,5574$$

(3.18 Schwierigkeitsfaktor Planung)

bzw.

$$f_{k,B} = -0,00002 \times (\text{Klasse} \times 10)^2 + 0,0045 \times (\text{Klasse} \times 10) + 0,3539$$

(3.19 Schwierigkeitsfaktor Bauaufsicht)

wobei K die Herstellungskosten sind und f_k , $f_{k,B}$, h_p und h_B auch aus Tabellen in der HOA entnommen werden können. Daraus ergeben sich - sofern vertraglich vereinbart - die Honorare für Planung, für Planungsteilleistungen (Faktor t, siehe Tabelle 3.7) und für die örtliche Bauaufsicht.²¹⁷

$$H_p = K \times h_p \times t \quad \text{(3.20 Honorar Planung)}$$

$$H_B = K \times h_B \quad \text{(3.21 Honorar Bauaufsicht)}$$

Tabelle 3.7. Gemäß diesen Anteilen sind die Teilleistungen innerhalb der Gesamtleistung laut HOA für bauliche Planungsleistungen zu bewerten²¹⁸

Bewertung der Teilleistungen		
(1)	Vorentwurf	13 %
(2)	Entwurf	17 %
(3)	Einreichung	10 %
(4)	Ausführungsplanung	33 %
(5)	Kostenermittlungsgrundlagen	12 %
(6)	künstlerische Oberleitung	5 %
(7)	technische Oberleitung	5 %
(8)	geschäftliche Oberleitung	5 %
(9)	volle Planungsleistung	100 %

3.11.5 Methode der Wirtschaftskammer Österreich

Die seit 2018 nicht mehr verwendete Honorarordnung für Architekten und Zivilingenieure wurde durch einen von mehreren Autoren im Auftrag und unter Mitwirkung des Ausschusses für Planungsrecht, Gebühren und Sachverständigenfragen in der Bundesinnung Bau

²¹⁷ HOA, 2002, § 6 - § 11, S. 22 – 26

²¹⁸ Quelle: HOA, 2002, S. 9

der Wirtschaftskammer Österreich ausgearbeiteten Leitfaden zur Kostenabschätzung von Planungsleistungen ersetzt, der als Kalkulationsrichtlinie für Planungsbüros aller Art dienen soll. Ziele der Richtlinie sind Kostenwahrheit, Erstellung eines praxisnahen und umfassenden Leistungsbilds, einfache Anwendbarkeit sowie die Sicherung eines fairen Wettbewerbs. Sie umfasst je einen Band für die Grundlagen,²¹⁹ für Objektplanung,²²⁰ örtliche Bauaufsicht,²²¹ Projektmanagement,²²² Tiefbauplanung,²²³ Tragwerksplanung²²⁴ und integrale Planung.²²⁵ In den Grundlagen ist die allgemeine Vorgehensweise beschrieben, in den folgenden Bänden sind die für die Planungsart spezifischen Leistungen mit den für die Kostenabschätzung relevanten Einzelheiten beschrieben.²²⁶

Die allgemeine Vorgehensweise sieht zunächst eine Sphärenaufteilung in Bauherren- und Planungsleistungen vor. Die Planungsleistungen können dann nach den Projektphasen geordnet und in Teilleistungen und Leistungsgruppen unterteilt werden.²²⁷

Es gibt drei Arten von Verträgen: Selbstkostenerstattungsverträge (bedingt eine Kostenabschätzung), Pauschalverträge und Einheitspreisverträge (bedingen eine Kostenermittlung), wobei auch Mischformen erlaubt und üblich sind.²²⁸

Der Preis von Planungsleistungen setzt sich wie folgt zusammen:

²¹⁹ Stempowski et al., 2012, Band 1

²²⁰ Stempowski et al., 2012, Band 2

²²¹ Stempowski et al., 2012, Band 3

²²² Stempowski et al., 2013, Band 4

²²³ Stempowski et al., 2013, Band 5

²²⁴ Stempowski et al., 2013, Band 6

²²⁵ Stempowski et al., 2013, Band 7

²²⁶ Stempowski et al., 2012, Band 1, S. 1f

²²⁷ Stempowski et al., 2012, Band 1, S. 6, S. 12

²²⁸ Stempowski et al., 2012, Band 1, S. 13f

Tabelle 3.8. Preiszusammensetzung von Planungsleistungen ²²⁹

Preisanteile	
(1)	Summe Stundenaufwand für die einzelnen Teilleistungen
	× Stundensatz
(2)	= Kosten der Einzelkosten Personal
(3)	+ Gemeinkosten Personal (% von Einzelkosten)
(4)	= Personalkosten
(5)	+ Gemeinkosten Material & Sonstiges (% von Personalkosten)
(6)	= Selbstkosten Eigenleistung
(7)	+ Zuschlag für Risiko (% von Selbstkosten Eigenleistung)
(8)	+ Zuschlag für Gewinn (% von Selbstkosten Eigenleistung)
(9)	= Preis Eigenleistung
(10)	+ Fremdleistungen (inkl. Fremdleistungszuschläge)
(11)	= Angebotspreis (exkl. USt.)
(12)	+ Umsatzsteuer
(13)	= Angebotspreis (inkl. Ust.)

Der Preis berechnet sich unabhängig vom Vertragstyp als der erwartete Arbeitsaufwand in Stunden (errechnet oder geschätzt), multipliziert mit dem mittleren Stundensatz des Planungsbüros in €/h (inkl. aller Zuschläge) plus alle Fremdleistungen (inkl. aller Zuschläge).²³⁰

Leistungen können hinsichtlich ihrer Verrechnung von dreierlei Art sein: abhängig von der Bauwerksgröße (Bruttogrundfläche), von den Herstellkosten oder von deren Dauer. Über diese Werte kann die Dauer aller Planungsteilleistungen errechnet werden, wobei das Ergebnis noch mit einem Projektklassenfaktor zu multiplizieren ist, der vorab bestimmt werden muss. Der Projektklassenfaktor ist die Summe aus Punkten, die für die Kriterien

- ◆ Komplexität der Projektorganisation
- ◆ Art des Bauwerks
- ◆ Komplexität der Planungsleistung
- ◆ Projektrisiken in der Planungsphase

²²⁹ Quelle: Stempowski et al., 2012, Band 1, S.21

²³⁰ Stempowski et al., 2012, Band 1, S. 22, S. 31

- ◆ Anforderungen an die Terminvorgaben
- ◆ Anforderungen an die Kostenvorgaben

vergeben werden, wobei für jede Kategorie zwischen 1 und 30 Punkten vergeben werden können und 10 Punkte den Durchschnittswert darstellen sollen. Die Gesamtpunktezahl liegt demnach zwischen 6 und 180, woraus der Projektklassenfaktor anhand Abbildung ablesbar ist.²³¹

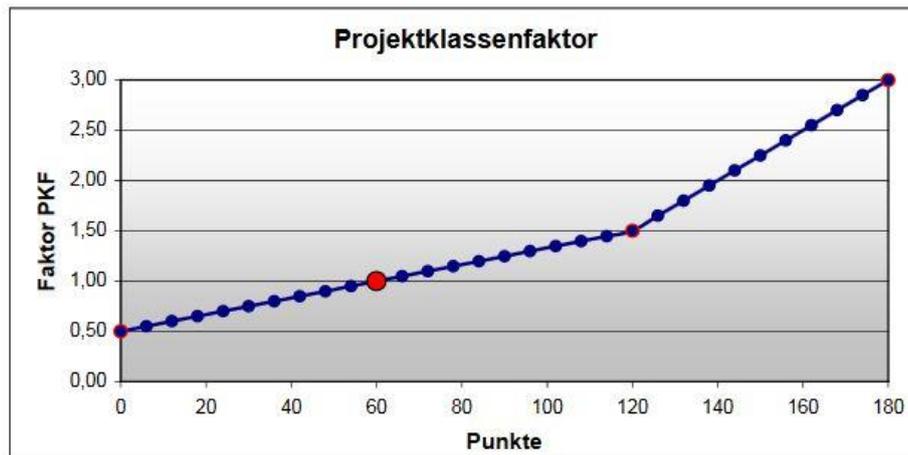


Abbildung 3.3. Projektklassenfaktor ²³²

Der mittlere Stundensatz des Planungsbüros errechnet sich als gewichtetes Mittel aller Brutto-Mitarbeiterstundenlöhne inkl. Dienstgeberabgaben (ähnlich dem Hilfsblatt zum K3-Blatt). Dieses kann in Zeile (2) von Tabelle 3.8 eingesetzt werden, nach demselben Schema ergibt sich der mittlere Eigenleistungspreis pro Stunde in der Zeile (9) „Preis Eigenleistung“, indem Gemeinkosten für Material und Personal und Zuschläge für Risiko und Gewinn hinzugefügt werden.²³³

²³¹ Stempowski et al., 2012, Band 1, S. 32, S. 36

²³² Quelle: Stempowski et al., 2012, Band 1, S.36

²³³ Stempowski et al., 2012, Band 1, S. 48 - 51

	%-Anteil	€ / h
Gehilfen		
Fachkräfte / Techniker		
Fachkräfte in gehobener Stellung		
Büro- / Abteilungsleiter		
<u>Mischwert Stundensatz</u>		

	%-Zuschlag	€	%-Anteil von Preis
Mischwert Stundensatz			
+ Gemeinkosten Personal (in % von Einzelkosten)			
= Personalkosten			
+ Gemeinkosten Material (in % von Personalkosten)			
= Selbstkosten Eigenleistung			
+ Zuschlag für Risiko (in % von Selbstk. Eigenl.)			
+ Zuschlag für Gewinn (in % von Selbstk. Eigenl.)			
= Preis Eigenleistung pro Stunde			

Abbildung 3.4. Ermittlung eines gewichteten Stundensatzes ²³⁴

Die Bände für die einzelnen Planungsarten umfassen im Prinzip nur noch vorgefertigte Leistungsverzeichnisse (für Planungsleistungen), Erläuterungen, durchschnittliche Aufwandswerte mit Bandbreiten, Vorlagen für Tabellen, Plausibilitätskontrollen und dergleichen, die es dem Planer einfach machen sollen, die Honorargestaltung gut und übersichtlich zu gestalten.²³⁵

²³⁴ Quelle: Stempowski et al., 2012, Band 1, S. 51

²³⁵ Stempowski et al., 2012 bzw. 2013, Band 2 – 7

4 Umlegung des COCOMO-Modells auf die Bauwirtschaft

Im folgenden Kapitel wird versucht, die Methoden und Erkenntnisse aus Kapitel 2 auf die Bauwirtschaft umzulegen. Fokus und Zielsetzung liegen darauf, bauwirtschaftliche Potentiale aufzudecken und bereits bestehende Überlappungen zwischen den Disziplinen Bauwirtschaft und *Software Engineering Management* festzuhalten.

Zu diesem Zweck werden zuerst die Prozesse der Kostenermittlung, Kalkulation und Terminplanung auf vorhandene statistisch-algorithmische Methoden untersucht. In einem weiteren Schritt wird geschaut, ob diese durch Input von COCOMO verbessert oder ergänzt werden können und - wo derartige Methoden noch nicht verwendet werden - ob eine Implementierung von COCOMO-inspirierten, statistisch-algorithmischen Methoden sinnvoll erscheint und wie diese aussehen könnten. Schließlich wird auch darauf Bezug genommen werden, wo der Einsatz von COCOMO keinen Sinn ergeben würde und warum das jeweils der Fall ist.

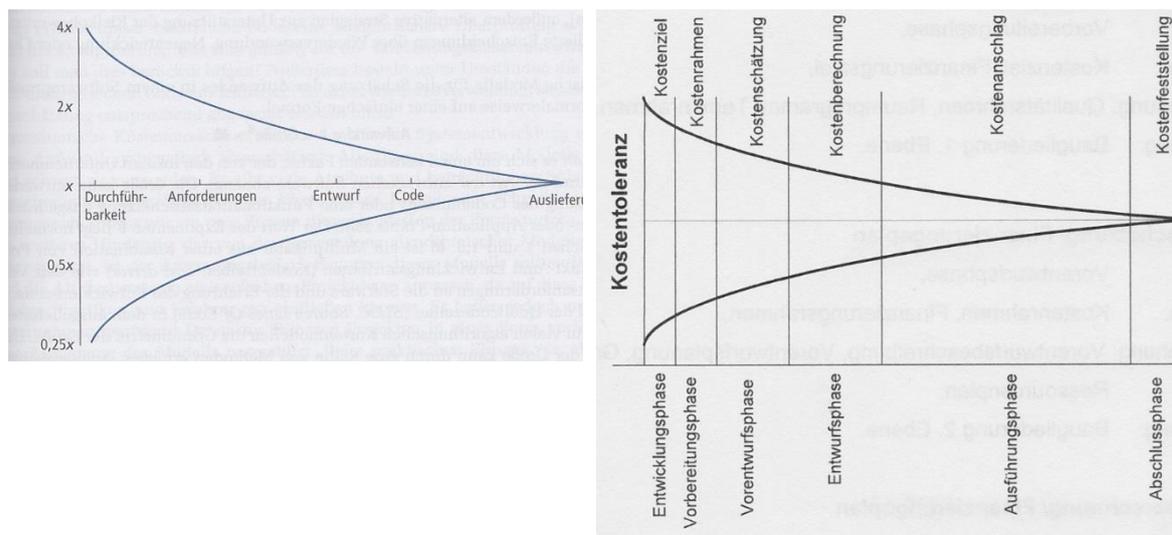


Abbildung 4.1. Vergleich der Präzision der Aufwandschätzung in der Softwareentwicklung (links) und der Kostentoleranz bei Bauprojekten (rechts) ²³⁶

Wie schon in der Einleitung beschrieben wird, weisen Bau- und Softwarebranche einige Gemeinsamkeiten auf. Die mitunter sehr hohen Auftragssummen bedingen die Notwendigkeit einer hohen Kostensicherheit in allen Projektphasen. Auch die Erstellung eines Zeitplans und dessen Einhaltung sind bei beiden Disziplinen wichtig für die Zufriedenstellung des Auftraggebers. Auch die stetig zunehmende Genauigkeit der Kostenermittlung über die Projektdauer ist ein Merkmal, das beide Branchen aufweisen.

²³⁶ Quellen: Sommerville, 2012, S. 691 und Kropik, 2010, Teil 1, S. 10

Einer der Unterschiede zwischen Bauen und Programmieren ist, dass die Erstellung der Software geistige Arbeit und damit der Planung der Software nicht unähnlich ist. Dadurch verschwimmen die Grenzen dazwischen, während bei Bauprojekten Planung und Ausführung in der Regel getrennt voneinander und wegen Termindruck überlappend stattfinden. Durch die mit Baufortschritt immer tiefer ins Detail voranschreitende Planung wird die letzte Stufe der Kostenermittlung vor der Abrechnung - der Kostenanschlag - zumindest teilweise erst nach Beginn der Ausführung fertig. Bei der Softwareentwicklung hingegen sind mit dem Start des *scriptings* die voraussichtliche Menge der Codezeilen und die meisten anderen Umgebungsparameter bekannt, sodass sich die Berechnungen für Kosten und Termine außer durch auftraggeberseitige Änderungen oder grobe Unvorhersehbarkeiten (inklusive schlechtem Managements bzw. Fehlkalkulationen) nicht mehr stark verändern werden.

Außerdem sind die Risiken beim Bauen viel größer und zahlreicher. Während Programmierer und Analytiker in klimatisierten Büros arbeiten, sind Bauprojekte (außer bei Um- und Ausbauten) allen Umwelteinflüssen ausgesetzt, hinzu kommt das oft nicht unerhebliche, in der Regel den Bauherrn treffende Baugrundrisiko. Auch wenn dem mit einem soliden Risikomanagement entgegengewirkt werden kann, ist die Zahl der Unbekannten bis zum Schluss beim Bauen zahlreicher.

Diese Unterschiede spiegeln sich in zwei Phänomenen wieder:

- ◆ Es gibt mehr Variable, mehr Schnittstellen und mehr „Fallen“. Die Kostenberechnung für Bauprojekte ist also komplizierter als die für Softwareprojekte.
- ◆ Es gibt mehr und größere Unvorhersehbarkeiten, Risiken und Sachen, die schiefgehen können. Die Kostenberechnung für Bauprojekte ist also komplexer als die für Softwareprojekte.

Daher wird vermutet, dass ungefähre Abschätzungen der Kosten bei Bauprojekten ohne genaue Detailkenntnis unseriöser als bei Softwareprojekten, z.B. die Modellergebnisse von *Basic COCOMO*, sind. Eine Überprüfung dieser These befindet sich in Kapitel 4.1.3.

4.1 Statistische Methoden in der Kostenermittlung

Ein elementares Ziel dieser Arbeit ist es, die Bauwirtschaft auf die Anwendbarkeit der COCOMO-Methode bzw. Teilen davon zu überprüfen und festzustellen, ob ähnliche Vorgehensweisen bereits existieren. Natürlich lässt sich die Methode nicht in der ursprünglichen Form anwenden, sondern müsste an die neue Umgebung angepasst werden. Hierfür können Parameter ausgetauscht, hinzugefügt oder weggelassen, Vereinfachungen vorge-

nommen oder zusätzliche Verfahrensschritte eingebaut werden. Formeln können sich verändern oder müssen sogar neu eingeführt werden, wenn sich Zusammenhänge anders darstellen.

Dennoch ist die Implementierung von den statistisch-algorithmischen Methoden COCOMOs zur Prognose von Kosten und Terminen in die Bauwirtschaft nicht uneingeschränkt möglich - mancherorts werden ähnliche Verfahren dafür bereits angewendet.

4.1.1 Statistische Methoden in der Bildung von Kostenkennwerten

Die Kostenkennwerte des BKI sind durch eine Bandbreite innerhalb eines Minimal- und Maximalwerts angegeben, wobei jeweils ein Wert dazwischen empfohlen wird. Einflüsse laut BKI auf die Höhe des Kennwerts innerhalb der Bandbreite haben besondere Nutzungsanforderungen, Standortbedingungen, die Bauwerksgeometrie, die Bauwerksqualität und der Baumarkt.²³⁷ Es wäre weiter zu untersuchen, welche Faktoren den größten Einfluss auf den Kostenkennwert haben, eine einheitliche Aussage wird sich jedoch sicher nicht treffen lassen, zum Beispiel hat die Bauwerksqualität auf die Kosten für Bauwerk - Rohbau und Bauwerk – Ausbau (bzw. Bauwerk – Baukonstruktion in Deutschland) einen hohen Einfluss, auf die Kosten für die Herstellung der Baugrube hingegen vermutlich überhaupt keinen.

Wäre die Stärke der Einflüsse auf alle Elemente bekannt und empirisch belegt, wäre es möglich, jeden der fünf oben genannten Einflüsse auf jeden einzelnen Kostenkennwert als Parameter zu definieren. Die Parameter könnten wie bei *Intermediate* COCOMO z.B. mit niedrig / mittel / hoch etc. bewertet und mit Einflussfaktoren versehen werden. Auf diese Weise ließe sich der genaue Wert innerhalb der Bandbreite berechnen statt zu „erschätzen“.

4.1.2 Statistische Methoden bei den Kostenermittlungsverfahren

Die Anwendungsmöglichkeiten von statistischen Methoden bei Verfahren zur Kostenermittlung werden bereits in Kapitel 4.1 anhand der geometrischen Verfahren ausführlich erörtert. Es lässt sich festhalten, dass zwischen den Verfahren des Bauwesens und der COCOMO-Methode Ähnlichkeiten bestehen:

Beide gehen von Grundparametern aus, auf deren Basis anhand empirischer Zusammenhänge wichtige Daten für das Projekt berechnet werden sollen (Arbeitsaufwand, Zeitplan, Kosten). Bei COCOMO sind es die KDSI, bei den Verfahren im Bauwesen sind es

²³⁷ BKI Baukosten Gebäude 2010, S. 8

geometrische Werte, Nutzeinheiten oder bei den Mehrwertverfahren detailliertere Ausgangsdaten, die Elementmengen.

Die ÖNORM und die DIN sehen sechs bzw. fünf Stufen der Kostenermittlung vor, die im Projekt aufeinanderfolgend und mit steigender Genauigkeit erfolgen sollen. Die Grundlage für die steigende Genauigkeit ist die während des Projekts voranschreitende Planung. Die Qualität der Kostenermittlung steigt, weil viele Details, die zuvor nicht bekannt waren und angenommen oder geschätzt werden mussten, nun festgelegt sind und deren Kosten dadurch genauer geschätzt werden können. Was die Qualität der frühen Stufen der Kostenermittlung sicherstellt, ist die Anzahl der Schätzungen. Ein Kostenrahmen für ein Dach, dessen Konstruktionsart noch nicht einmal festgelegt ist, kann nicht sehr exakt sein. Dadurch, dass andere Bauteile auch noch nicht geplant sind und deren Kosten daher auch geschätzt werden müssen, ergibt sich der Kostenrahmen als Summe vieler Schätzungen, die nach den Regeln der Statistik (Gesetz der großen Zahlen) eine höhere Genauigkeit besitzt als die einzelnen Schätzungen.

COCOMO liefert drei Modellstufen im Original und zwei im Nachfolger COCOMO II. *Basic* COCOMO verwendet als Input neben den KDSI nur die Projektumgebung (*Organic, semi-embedded, embedded*). *Intermediate* COCOMO führt zusätzlich die Attribute der Kostentreiber und ihre Kosteneinflussfaktoren ein. Zusätzlich wird die Software (gedanklich) in ihre Komponenten zerlegt, auf die die Kosteneinflussfaktoren unterschiedlich wirken können. *Detailed* COCOMO zerlegt die Software nach einer anderen Dimension – nicht nach den Komponenten, sondern nach der Hierarchie, den Modulen und Submodulen. Kosteneinflussfaktoren können nun auf einzelne Submodule oder ganze Module separat wirken gelassen werden. Auch wenn mit steigendem Level die Zahl der Inputparameter steigt, ist es möglich, die Berechnung zum Start des Projekts oder kurz danach durchzuführen, im Gegensatz zu den fortgeschrittenen Stufen der Kostenermittlung im Bauwesen, wo ein immer stärkerer Detaillierungsgrad der Planung vonnöten ist, um bessere Ergebnisse als in der vorigen Stufe zu erzielen. Die zwei Modelle von COCOMO II zielen hingegen schon auf unterschiedliche Projektphasen ab, wie ihre Namen schon andeuten: *Early Design* und *Post-Architecture*. *Early Design* ist eine vereinfachte, rekaliبریerte Version von den Modellen aus COCOMO 81. *Post-Architecture* benötigt Informationen, die erst später im Projekt feststehen – nach Fertigstellung der Softwarearchitektur.

4.1.3 Anwendung des COCOMO-Verfahrens auf die Kostenermittlung von Neubauten

Im Folgenden wird versucht, die COCOMO-Methode auf die Kostenermittlung anzuwenden. Der Basisparameter KSLOC bzw. KDSI wird durch die Objektkennwerte BRI bzw. BGF

ersetzt, es wird also nur auf Objektebene gerechnet. Hierfür werden Gebäude- und Kostendaten aus dem BKI 2010 Gebäude entnommen und analysiert. Die Suche nach Gesetzmäßigkeiten wird in dieser Arbeit auf einen Gebäudetypus beschränkt, zwecks guter Datenlage wurden Ein- und Zweifamilienhäuser gewählt.

Tabelle 4.1 zeigt die Zusammensetzung der insgesamt 176 verwendeten Objekte hinsichtlich ihrer Eigenschaften.

Tabelle 4.1. Informationen zur verwendeten Datenmenge. Alle Objekte sind Ein- oder Zweifamilienhäuser. Ermittlung der Qualität (Standard) nach BKI-Methode.

Gebäudebeschreibung	Anzahl der Objekte
unterkellert, einfacher Standard	14
unterkellert, mittlerer Standard	40
unterkellert, hoher Standard	26
Nicht unterkellert, einfacher Standard	11
Nicht unterkellert, mittlerer Standard	17
Nicht unterkellert, hoher Standard	19
Passivhaus, einfacher Standard	1
Passivhaus, mittlerer Standard	8
Passivhaus, hoher Standard	14
Holzhaus, unterkellert, einfacher Standard	2
Holzhaus, unterkellert, mittlerer Standard	8
Holzhaus, unterkellert, hoher Standard	1
Holzhaus, nicht unterkellert, einfacher Standard	2
Holzhaus, nicht unterkellert, mittlerer Standard	8
Holzhaus, nicht unterkellert, hoher Standard	5
Summe einfacher Standard	30
Summe mittlerer Standard	81
Summe hoher Standard	65
Summe	176

Vorerst werden alle Projekte betrachtet. Hinsichtlich ihrer Bruttogrundfläche (BGF) bzw. ihres Bruttorauminhaltes (BRI) gegen die Kosten je Flächen/Volumseinheit aufgetragen ergibt sich folgendes Bild (Abbildung 4.2):

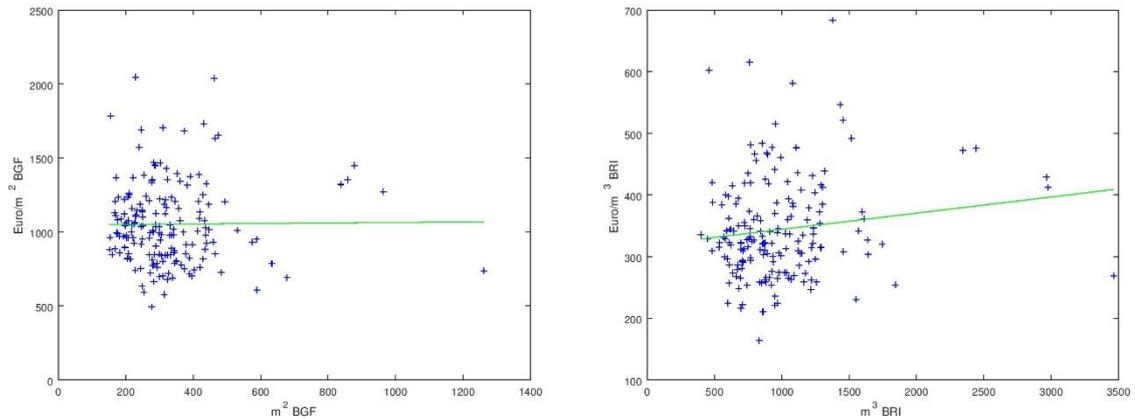


Abbildung 4.2. Baukosten aller Objekte in Abhängigkeit von BGF (links) und BRI (rechts)

Die grüne Linie stellt die lineare Regression dar. Von einer komplexeren Regressionsmethode (wie sie etwa in COCOMO verwendet wird) wurde aufgrund der Gefahr des Overfittings Abstand genommen.

Basismodell. Im nächsten Schritt werden die Bauobjekte gemäß *Basic COCOMO* in drei Gruppen geteilt. Statt *organic*, *semiembedded* und *embedded mode* sind es hier die Ausführungsstandards „einfach“, „mittel“ und „hoch“. Es wird für die drei Gruppen jeweils ein statistischer Zusammenhang zwischen den Gebäudekennwerten und den Baukosten gesucht, der als Basisformel für alle weiteren Stufen des Modells dienen soll.

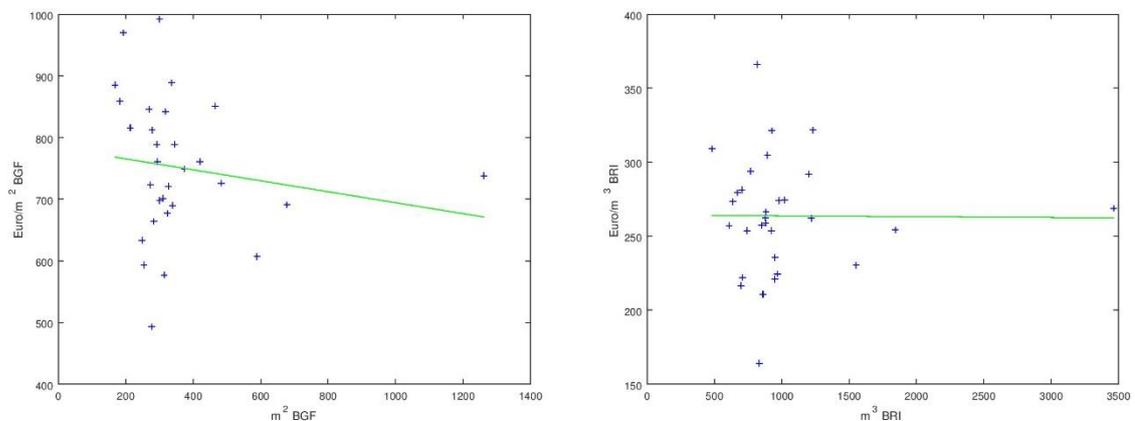


Abbildung 4.3. Baukosten aller Objekte einfachen Standards in Abhängigkeit von BGF (links) und BRI (rechts)

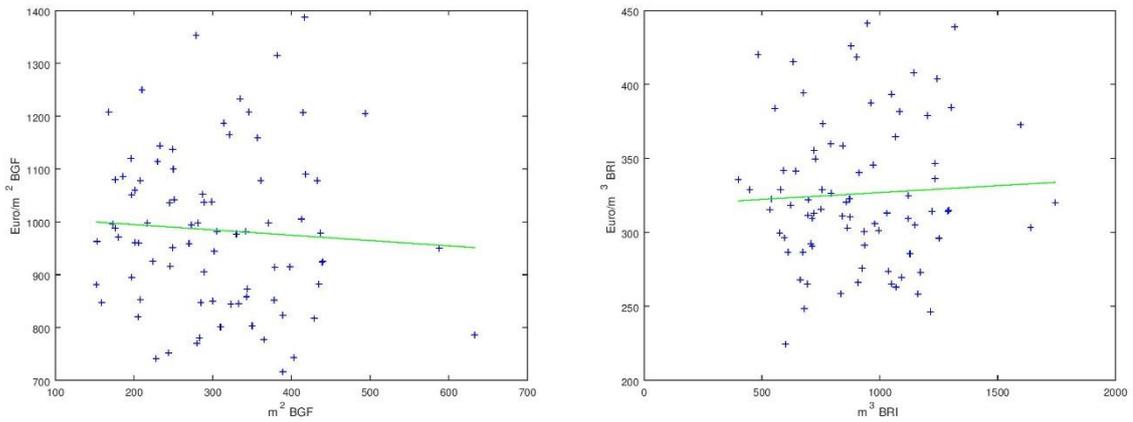


Abbildung 4.4. Baukosten aller Objekte mittleren Standards in Abhängigkeit von BGF (links) und BRI (rechts)

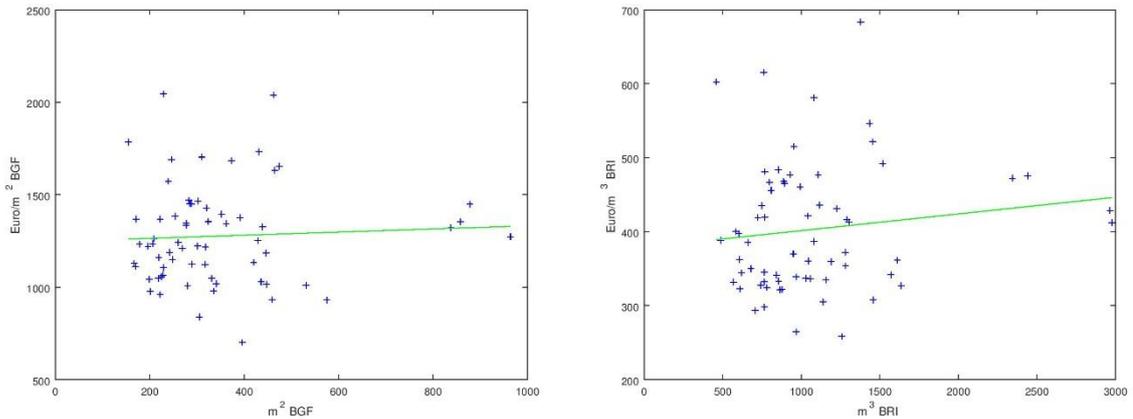


Abbildung 4.5. Baukosten aller Objekte hohen Standards in Abhängigkeit von BGF (links) und BRI (rechts)

Durch die Geradengleichungen der Regressionen ergeben sich die Grundformeln für das Basismodell (Tabelle 4.2). Die Zeile „Alle Standards“ bezieht sich auf die Regression aus der Gesamtmenge, diese Formel wäre z.B. anzuwenden, wenn der Objektstandard nicht bekannt ist.

Tabelle 4.2. Analog zu *Basic COCOMO* werden die Projekte in 3 Gruppen unterteilt, für die jeweils eine eigene Grundformel existiert.

	Baukosten / m ³ BRI [€ / m ³]	Baukosten / m ² BGF [€ / m ²]
Ohne Aufschlüsselung	$305 + 0,026 * BRI$	$1044 + 0,017 * BGF$
Einfacher Standard	$264 - 1*10^{-4} * BRI$	$798 - 0,089 * BGF$
Mittlerer Standard	$314 + 0,009 * BRI$	$1030 - 0,101 * BGF$
Hoher Standard	$369 + 0,023 * BRI$	$1234 + 0,085 * BGF$

Die Genauigkeit zur Überprüfung des Modells wird auf dreifache Weise bestimmt: durch die Anzahl der Objekte innerhalb der 20 % geforderten Genauigkeit für den Kostenrahmen laut Kropik (außerdem erlaubt dieser Wert einen guten Vergleich mit COCOMO) und der 12 % geforderten Genauigkeit laut Mathoi für den Kostenrahmen.

Tabelle 4.3. Die Genauigkeiten der jeweiligen Formeln mit Basis BRI: der Anteil an Objekten, der innerhalb der jeweiligen Prozentzahl liegt.

BRI	+/- 20 %	+/- 12 %
Ohne Aufschlüsselung	65 %	46 %
Einfacher Standard	83 %	60 %
Mittlerer Standard	80 %	59 %
Hoher Standard	69 %	40 %
Gesamtgenauigkeit nach Aufschlüsselung in Standards	77 %	52 %

Tabelle 4.4. Die Genauigkeiten der jeweiligen Formeln mit Basis BGF: der Anteil an Objekten, der innerhalb der jeweiligen Prozentzahl liegt.

BGF	+/- 20 %	+/- 12 %
Ohne Aufschlüsselung	60 %	37 %
Einfacher Standard	83 %	63 %
Mittlerer Standard	82 %	54 %
Hoher Standard	71 %	51 %
Gesamtgenauigkeit nach Aufschlüsselung in Standards	78 %	55 %

Folgende Gesetzmäßigkeiten werden hier offenbart:

- ◆ Je höher der Objektstandard, desto ungenauer lassen sich die Baukosten im Voraus (durch diese Methode) ermitteln.
- ◆ Für die Methode „Alle Standards“ scheint der BRI der bessere Grundparameter zu sein, bei den anderen Fälle erzielt die Methode mit der BGF als Grundparameter zumeist etwas bessere Werte.
- ◆ Unabhängig vom gewählten Grundparameter wird durch das Bekanntwerden des Objektstandards ein genaueres Ergebnis erzielt. Hierbei ist die Steigerung bei der BGF-Methode wesentlich größer (18 Prozentpunkte mehr Treffer als ohne Objektstandard) als bei der BRI-Methode (6 bzw. 12 Prozentpunkte).

Erweitertes Modell. Im letzten Schritt des Modells werden (wie bei *Intermediate COCOMO*) die besonderen Eigenschaften der Objekte betrachtet und versucht, durch ihre Berücksichtigung eine weitere Verbesserung des Ergebnisses zu erzielen. Die betrachteten Objekteigenschaften sind Unterkellerung, Holzbauweise und Passivbauweise. Folgende Faktoren würden sich für die beiden Methoden ergeben:

Tabelle 4.5. Einflussfaktoren für Parameter

	BRI	BGF
Unterkellerung	1,02	0,99
Holzbauweise	0,95	0,93
Passivbauweise	1,03	0,99

Zusätzlich sollten natürlich noch regionale Faktoren sowie Faktoren für die zeitliche Indexierung verwendet werden. Setzt man die obigen Werte ein, ergeben sich neue Trefferquoten für die Methoden gemäß folgender Tabelle:

Tabelle 4.6. Die Genauigkeiten der jeweiligen Formeln mit Basis BGF: der Anteil an Objekten, der innerhalb der jeweiligen Prozentzahl liegt.

	+/- 20 %	+/- 12 %
BRI mit Einflussfaktoren	80 %	53 %
BGF mit Einflussfaktoren	80 %	55 %

Es lässt sich also eine weitere, wenn auch nur leichtere Verbesserung gemäß der vorigen Stufe erzielen. Qualitätsunterschiede in der Berechnung nach BRI oder BGF verschwinden nun fast vollends. Vorsicht: das heißt natürlich nicht, dass sich bei den verschiedenen Methoden die einzelnen Resultate nicht unterscheiden.

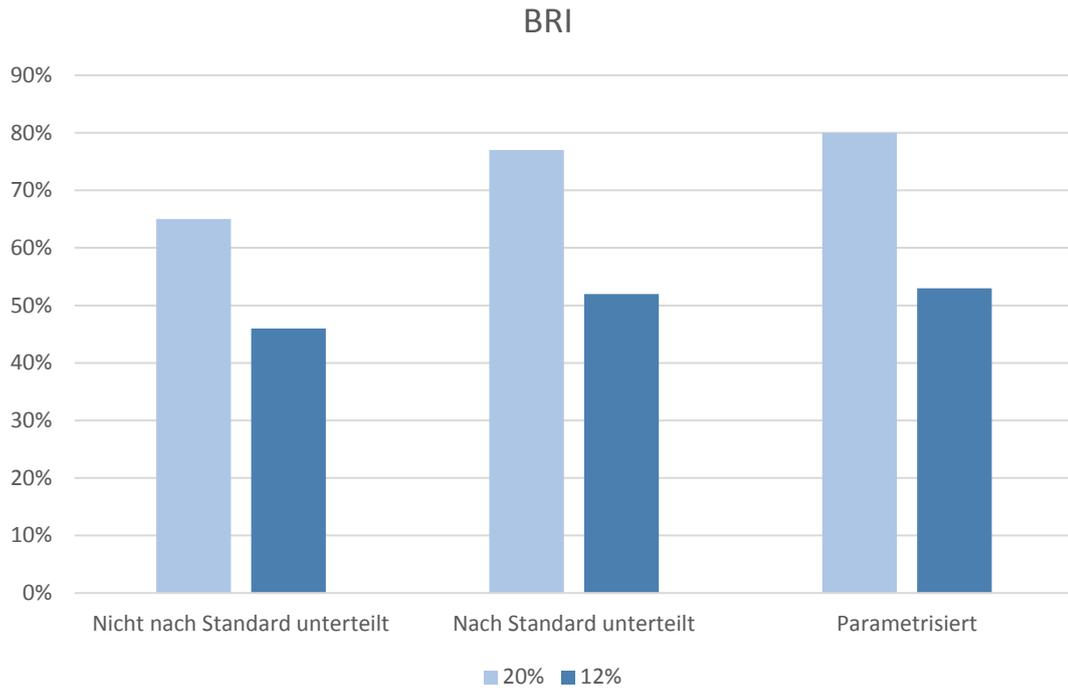


Abbildung 4.6. Anteil der Objekte, die für die drei Stufen des BRI-Modells innerhalb der Genauigkeiten liegen.

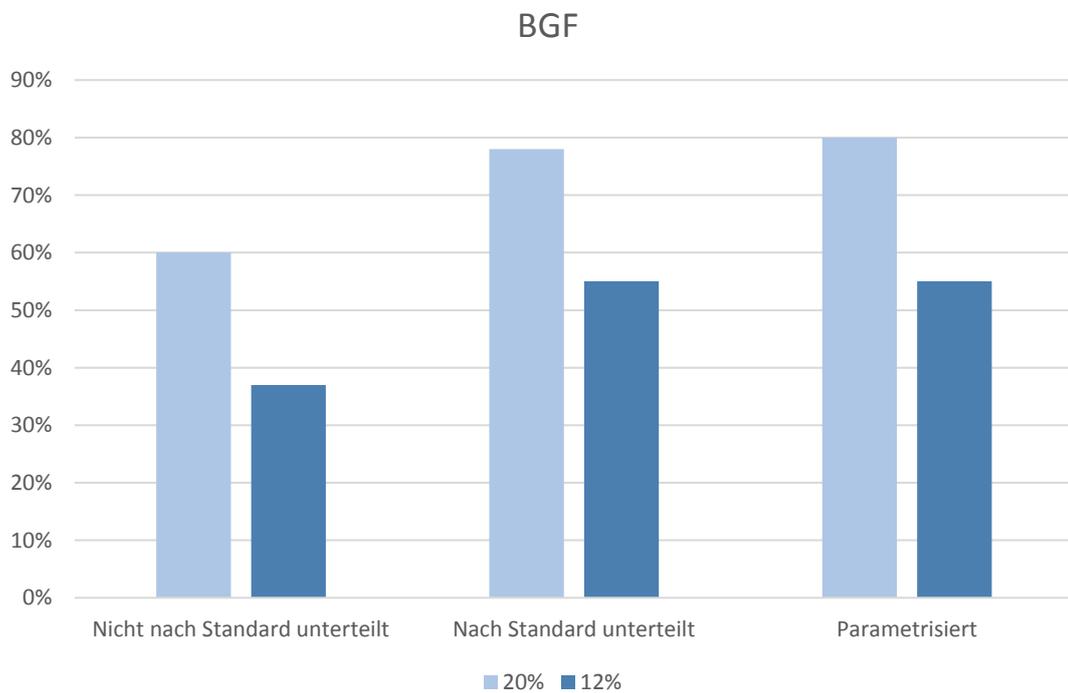


Abbildung 4.7. Anteil der Objekte, die für die drei Stufen des BGF-Modells innerhalb der Genauigkeiten liegen.

80 % der errechneten Werte liegen also unabhängig vom gewählten Basisparameter innerhalb von 20 % tatsächlichen Kosten. Das ist kein schlechter Wert und höher als die 70 % des *detailed COCOMO*. An dieser Stelle muss erwähnt werden, dass 100 % auch durch

die beste Methode nie erreicht werden können, da nachträgliche Änderungen, schlechtes Projektmanagement oder andere Faktoren auftreten können, die die Projektkosten beeinflussen und erst nach der Vorbereitungsphase bekannt werden.

Detailliertes Model. Um *Detailed COCOMO* gerecht zu werden, müssen die Parameter in den Kostengruppen separat betrachtet werden. Für den Parameter „Unterkellerung“ besteht die größte Auswirkung beispielsweise in den Kostengruppen „Baugrube“ und „Gründung“. Diese Methode existiert jedoch bereits, die Planungskennwertmethode des BKI weist unterkellerten Gebäuden andere Planungs- und Kostenkennwerte zu, als nichtunterkellerten. Die Methode des *Detailed COCOMO* wird demnach bereits in sehr ähnlicher Form bereits angewandt.

Tabelle 4.7. Vorschläge für Planungs- und Kostenkennwerte des Kostensimulationsmodells des BKI für Ein- und Zweifamilienhäuser mittleren Standards, mit und ohne Unterkellerung.

KG	Einheit	unterkellert			nicht unterkellert			
		PKW	KKW	Produkt	PKW	KKW	Produkt	
310	Baugrube	m ³ BGI	1,28	23	29,44	0,42	25	10,50
320	Gründung	m ² GRF	0,39	179	69,81	0,55	221	121,55

Um die These von Kapitel 4 wieder aufzugreifen, dass die Kosten von Bauprojekten schwieriger und ungenauer zu prognostizieren sind, als von Softwareprojekten: sie scheint sich aufgrund der vorliegenden Zahlen nicht zu bewahrheiten. Nur 60 % der Werte liegen bei *Basic COCOMO* überhaupt innerhalb von 50 - 200 %, dieser Wert wird beim „Basismodell“ für den Bau für die Genauigkeit von 20 % ohne Aufschlüsselung in Standards erreicht, mit Aufschlüsselung sind es sogar 77 bzw. 78 %. Bei *Intermediate COCOMO* werden die 20 % schließlich für 60 % der Projekte unterschritten, hier ist das „Erweiterte“ Baumodell (mit Parametern) jedoch schon bei 80 %.

4.1.4 Anwendung des Verfahrens auf tiefere Gliederungsebenen

Ähnlich wie beim *Software Hierarchy Estimation Form*²³⁸ kann auch die Methode aus Kapitel 4.1.3 in die Tiefe des Projekts hinein verfeinert werden. Voraussetzung dafür wäre eine Datenbank für alle Elemente der Ebene der gewünschten Gliederungstiefe mit den entsprechenden Parametern, die auf diese Elemente wirken und ihren Kosteneinflussfaktoren. Die Idee dahinter ist, dass einige Parameter nicht auf die Kosten aller Bauelemente dieselbe

²³⁸ siehe dazu Kapitel 2.3.1

Auswirkung haben und manche überhaupt nur für spezielle Elemente sinnvoll einsetzbar sind.

Im Folgenden wird gezeigt, wie solch ein Modell aufgebaut sein könnte und dessen Berechnung erfolgt.

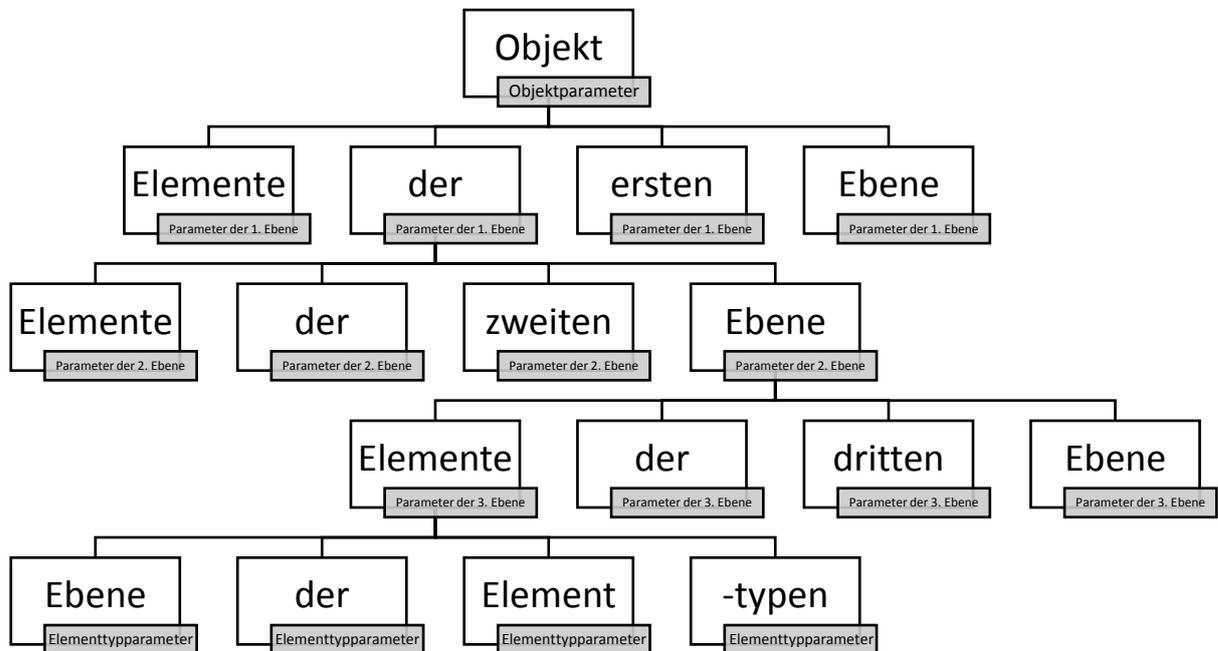


Abbildung 4.8. Aufbau des Bauprojekts im Modell

Je nach untersuchter Ebene sind Funktionen der Objektdaten OD (für die Objektebene), die Kostenkennwerte für Elemente der jeweiligen Ebene KKW1, KKW2 oder KKW3 oder die durchschnittlichen Kosten der Leistungspositionen LP Ausgang der Berechnung, wobei für starke Unterschiede zwischen Ausführungsmöglichkeiten auch mehrere Formeln zur Wahl stehen können, so wie für die unterschiedlichen Projektumgebungen in COCOMO und für die unterschiedlichen Standards in Kapitel 4.1.3. Hinzu kommen noch die Kosteneinflussfaktoren, sie werden als Funktionen der jeweiligen Attributparameter angesehen und dementsprechend als eine Funktion angeschrieben. Es ist zu beachten dass im Folgenden in Tabelle „f(...)“ bedeutet, der Ausdruck ist eine Funktion des Klammerinhalts. Wie diese jeweils aussieht wäre im Zuge der weiteren Forschung herauszufinden. Es bedeutet jedenfalls nicht, dass es immer dieselbe Funktion ist (obwohl immer der Buchstabe „f“ verwendet wird).

Tabelle 4.8. Ebenen der Gliederung, ihre Basis- und Attributparameter

Ebene	Abk.	Basisparameter	Abk.	Attributparameter	Abk.
Objektebene	OE	Objektdaten	OD	Objektparameter	OP
1. Gliederungsebene	G1	Kostenkennwerte	KKW1	Parameter der ersten Ebene	P1
2. Gliederungsebene	G2	Kostenkennwerte	KKW2	Parameter der zweiten Ebene	P2
3. Gliederungsebene	G3	Kostenkennwerte	KKW3	Parameter der dritten Ebene	P3
Ebene der Elementtypen/LP	EE	Durchschnitts- / Erfahrungswerte der jeweiligen Leistungsposition	LP	Elementtypparameter	EP

Ist eine Datenbank für die gewünschte Gliederungsebene mit Formeln für die Berechnung des Basismodells mit dem Basisparameter sowie mit Kostenkennwerten für alle möglichen Zustände aller Attributparameter erstellt, könnten die Kosten wie in nachstehender Tabelle 4.9 ermittelt werden.

Tabelle 4.9. Formeln der Kostenberechnung für die jeweiligen Gliederungstiefen

Ebene	Formel für Kosten
OE	$K = f(OD) \times f(OP)$
G1	$K = \sum_{i=1}^m f(KKW1)_i \times f(P1)_i \times f(OP)$
G2	$K = \sum_i \sum_{j=1}^n f(KKW2)_j \times f(P2)_j \times f(P1)_i \times f(OP)$
G3	$K = \sum_i \sum_j \sum_{k=1}^o f(KKW3)_k \times f(P3)_k \times f(P2)_j \times f(P1)_i \times f(OP)$
EE	$K = \sum_i \sum_j \sum_k \sum_{l=1}^p f(LP)_l \times f(EP)_l \times f(P3)_k \times f(P2)_j \times f(P1)_i \times f(OP)$

4.1.5 Umlegung des Modells for reuse auf Umbauten

Kern des COCOMO Modells für Wiederverwendung „alter“ Softwarefragmente aus COCOMO 81 bzw. des *Models for reuse* aus COCOMO II ist der *adaption adjustment factor*

AAF. Er setzt sich aus den Anteilen des Codes und Designs, die modifiziert werden müssen, und dem veränderten Aufwand für die Integration der wiederverwendeten Codezeilen in das Gesamtprodukt zusammen. Je niedriger der Faktor AAF ist, desto höher ist die Aufwandsparnis durch Wiederverwendung alter Software. Zur Erinnerung noch einmal die Formeln für AAF und EDSI, die äquivalenten Codezeilen:

$$AAF = 0,40(DM) + 0,30(CM) + 0,30(IM)$$

$$EDSI = (ADSI) \times \frac{AAF}{100}$$

Bei Umbauten muss zwischen klassischen Umbauten, Erweiterungen, Modernisierungen und Instandsetzungen unterschieden werden. Aufwand und Kosten für Umbauten sind neben der Größe des umgebauten Objekts hauptsächlich vom Ausmaß der Änderungen abhängig. Dazu zählen - je nach Vorhandensein und Dimension - Grundrissänderungen, Tragwerkseingriffe, Zubauten, befindlicher Zustand des Objektes, Einbau neuer technischer Anlagen, Art und Aufwand der durchgeführten Maßnahmen und Nutzungsänderungen.

Die Generelle Philosophie des COCOMO Modells für recycelte Software bzw. des *Model for reuse* ist - wie oben noch einmal erläutert - dass der Aufwand für die Wiederverwendung der Software in Abhängigkeit eines Aufwands gesetzt wird, der notwendig wäre, die Software gänzlich neu zu schreiben. Für die Adaptierung auf Umbauten müsste also untersucht werden, um wie viel der Aufwand bzw. die Kosten im Vergleich zu einem entsprechenden Neubau sinken. Das ist natürlich nicht einfach, Probleme mit der Vergleichbarkeit ergeben sich zum Beispiel, wenn nur Teile des Gebäudes umgebaut werden sollen.

In einem idealen, lediglich von freien Kräften gesteuerten Markt ist der Wert des umgebauten Objekts der Wert vor dem Umbau plus der Umbaukosten.

$$\text{Wert nach Umbau} = \text{Wert vor Umbau} + \text{Umbaukosten} \quad (4.1 \text{ Wert nach Umbau})$$

Dabei ist unerheblich, ob nur die größten Mängel behoben wurden, das Objekt auf Zustand „neuwertig“ hergestellt oder sogar verbessert oder ausgebaut wurde. Der Wert des Objekts nach dem Umbau entspricht in der Größenordnung dem eines gleichwertigen Neubaus oder etwas weniger. Dieser lässt sich bestimmen, sowohl rechnerisch als auch mithilfe von Marktforschung. Um die gesuchte Variable, die Umbaukosten zu erhalten, ist also der Wert des Objekts vor dem Umbau ausschlaggebend, besonders der Wert derjenigen Bauteile und Ausstattungsobjekte, die bestehen bleiben.

Somit ergibt sich der Adaptionfaktor Umbau AFU zu

$$AFU = \frac{100 \times (\text{Wert nach Umbau} - \text{Wert vor Umbau})}{\text{Wert nach Umbau}} \quad (4.2 \text{ Adaptionfaktor Umbau})$$

Mit diesem Wert lässt sich natürlich nicht die Höhe der Umbaukosten berechnen, da er ja quasi aus der Formel für die Höhe der Umbaukosten stammt; es würde einen Zirkelbezug

ergeben. Er könnte allerdings als Kennwert für Projektentwickler und Investoren eine Rolle spielen, etwa als Teil einer Entscheidungshilfe, ob neu gebaut oder renoviert werden soll.

Die Methode irgendwie anders auszulegen, um die Höhe der Umbaukosten statistisch-algorithmisch zu berechnen, wird nicht als sinnvoll erachtet, die Ermittlung auf herkömmliche tabellarische Weise mit Auflistung der auszutauschenden Bauelemente und technischen Anlagen erscheint besser geeignet. Wenn überhaupt, wäre eine Methode wie bei Neubauten denkbar, wobei neue Parameter wie etwa Bauzustand eingeführt werden müssten.

4.2 Statistische Methode in der Terminplanung

Die Anwendungsmöglichkeiten von COCOMO auf die Terminplanung stellen eine besondere Herausforderung dar, da die Erstellung von Terminplänen bei Bauprojekten ja nicht nur auf die Ermittlung der gesamten Bauzeit abzielt, sondern auch den Gewerken ihre Einsatzzeiten zuweist. Derlei Funktionen besitzt COCOMO nicht, weswegen dieses Kapitel lediglich auf die Abschätzung der Gesamtbauzeit abzielt.

4.2.1 Anwendbarkeit der Formeln aus COCOMO auf die Bauwirtschaft

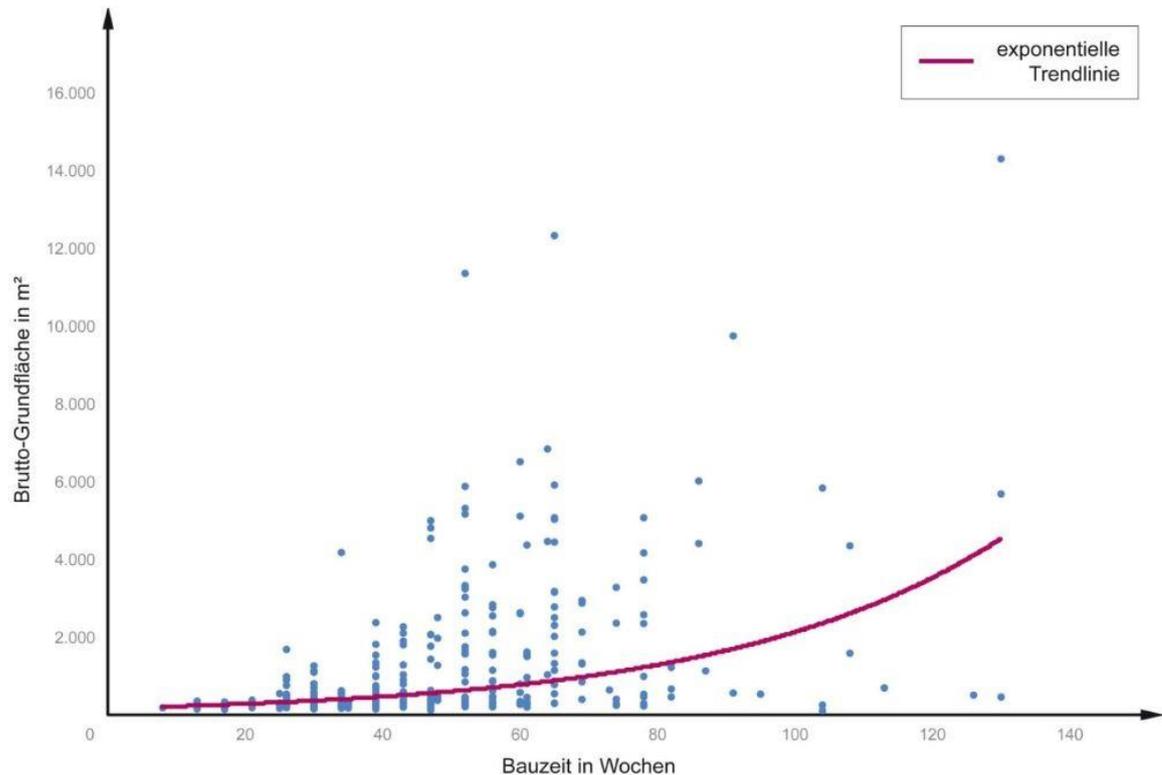
Die Formel (2.2) für die optimale Projektdauer aus *Basic COCOMO*

$$TDEV = 2,5 \times (MM)^{0,38}$$

bzw. eine Abwandlung derselben ist für die Bauwirtschaft absolut nicht zu gebrauchen. Einerseits deshalb, weil es schwierig sein kann, die Aufwandswerte aller Gewerke auf ein Papier zu bringen (man denke an Subunternehmer, die selbstständig kalkulieren), andererseits, weil für den Zeitpunkt, wo die Aufwandswerte bekannt sind, eine viel genauere Terminplanung gefordert wird, als sie eine einzeilige Überschlagsformel liefert und die Formel zur groben Abschätzung bereits existiert. Es ist die Summe der Mannmonate dividiert durch die durchschnittliche (optimale) Besetzung der Baustelle. Um diese abzuschätzen, bedarf es entweder eine Menge Erfahrung oder einen fertigen Netzplan - der wiederum die Formel für eine Abschätzung obsolet machen würde. Außerdem ist kein eindeutig proportionaler Zusammenhang zwischen Baukosten und Bauzeit feststellbar,²³⁹ wohl aber zwischen jeweils BRI, BGF und NF und Bauzeit.²⁴⁰

²³⁹ Schulz, 2012, S. 63f

²⁴⁰ Schulz, 2012, S. 69ff

Abbildung 4.9. Korrelation zwischen Bauzeit und BGF ²⁴¹

Etwas besser geeignet ist Formel (2.12) aus Kapitel 2.4.2, dem *Post-Architecture Model* von COCOMO II:

$$TDEV = [3,67 \times PM_{NS}^F] \times \frac{SCED \%}{100}$$

Bemerkenswert ist, dass die Skalierungsfaktoren für die Berücksichtigung der *economies* bzw. *diseconomies of scale* in dieser Formel gleich zweimal zur Anwendung kommen, einmal in der Potenz des Ausdrucks für PM (*Person month*) und ein weiteres Mal im Ausdruck für F (Formel (2.13)):

$$F = 0,28 + 0,0002 \times \sum_{j=1}^5 SF_j$$

Der Ausdruck $\frac{SCED \%}{100}$ bringt die Formel der Realität der Bauwirtschaft gleichzeitig näher und ferner: einerseits wird dadurch ermöglicht, dem Bauherrenwunsch, die Bauzeit zu verkürzen oder zu verlängern (üblicherweise ersteres), nachzugeben. Andererseits wird dadurch suggeriert, dies sei ohne weiteres und uneingeschränkt möglich, was natürlich nicht stimmt.

²⁴¹ Quelle: Schulz, 2012, S. 70. Daten aus BKI Gebäude, 2012

4.2.2 Umlegung der Formel für den Zeitplan (TDEV) aus COCOMO II auf die Bauwirtschaft

Es erscheint durchaus sinnvoll, das Formelgerüst für TDEV aus COCOMO II auf die Bauwirtschaft umzulegen. Anstelle der *Person month* wäre es aus mehreren Gründen sinnvoll, stattdessen auf BRI, BGF oder NF zurückzugreifen:

- ◆ Der Zusammenhang zwischen Baukosten (üblicherweise gewerkeweise korrelierend mit den Personalkosten und damit dem Personalaufwand) und Bauzeit ist - wie oben erwähnt - nicht gegeben, der zwischen den Objektdaten und Bauzeit jedoch schon, wenngleich mit freiem Auge erkennbar ist, dass der Korrelationskoeffizient nicht sehr hoch sein dürfte.
- ◆ Unter anderem aus genau diesem Umstand ist von der Formel keine allzu hohe Genauigkeit zu erwarten. Daher eignet sich die Formel ausschließlich für sehr frühe Planungsphasen (z.B. in Anschluss an die Bedarfsplanung), in denen noch keine Rede von Bauablaufplanung oder Aufwandswerten ist.

Die übrigen zu diesem Punkt der Planung bekannten Parameter, die einen wesentlichen Einfluss auf die Bauzeit haben, sind Standard (laut BKI), Bauweise, Grad der Standardisierung des Bauablaufs (zumindest schätzbar), Nutzungsart (Komplexität), Unterkellerung, Termindruck und Qualität der Ausführungsplanung (diese wird einfacherweise der praktisch unmöglichen objektiven Messbarkeit geschuldet mit „gut“ festgehalten - so ähnlich wie bei COCOMO).

Die Formelstruktur sieht folgendermaßen aus:

$$TDEV = A \times \prod_{i=1}^5 EF_i \times BGF^B \times \frac{SCED\%}{100} \quad (4.3 \text{ Zeitplan Bauprojekt})$$

mit folgenden 5 Einflussfaktoren EF_i sowie deren Bewertungsmöglichkeiten und jeweiligen möglichen Werten:

- ◆ Standard: niedrig / mittel / hoch
- ◆ Die Ermittlung des Standards des Bauvorhabens wird anhand der punktebasierten Standardeinordnung des BKI für die jeweilige Gebäudeart durchgeführt (siehe BKI Baukosten Gebäude 2010, S. 52 und zu Beginn jedes Kapitels). Niedrigem Standard ist ein Parameterwert unter 1,00, mittlerem der Wert 1,00 und hohem Standard ein Wert über 1,00 zuzuweisen.
- ◆ Bauweise: Mauerwerk / Stahlbeton / Stahl / Holz / Massiv / Skelett bzw. derer Mischformen

- ◆ Der Zusammenhang der Bauweise mit der Bauzeit ist nicht ausreichend belegt, es wird daher empfohlen, diesen Parameter außer Acht zu lassen.
- ◆ Standardisierter Bauablauf: großteils / teilweise / nicht standardisiert
- ◆ Beim konsekutiven Bau mehrerer identer oder nahezu identer Bauwerke (z.B. Reihenhäuser) können durch den gewonnenen Erfahrungsschatz Probleme und Störungen aus den ersten Exemplaren vermieden werden, wodurch die Bauzeit teilweise erheblich verkürzt werden kann (analog zum Einarbeitungseffekt bei einzelnen Produktionseinheiten). Großteils standardisierten Bauvorhaben ist ein Parameterwert unter 1,00, teilweise standardisierten Bauvorhaben der Wert 1,00 und nicht standardisierten ein Wert über 1,00 zuzuweisen, wobei zu Interpolation geraten wird.
- ◆ Komplexität: niedrig / mittel / hoch
- ◆ Anstelle von Komplexität könnte hier auch Gebäudeart stehen. Komplexen Gebäudetypen wie Sakralbauten oder Krankenhäusern ist ein höherer Wert zuzuweisen als einfachen, z.B. Lagerhallen.
- ◆ Unterkellerung: ja / teilweise / nein

Der Ausdruck für den Termindruck wird von COCOMO unverändert übernommen - bis zu einem gewissen Ausmaß kann der Bauablauf durch Überstunden und Dekadenbetrieb beschleunigt werden. Die Auswirkungen auf die Kosten bleiben hier unberücksichtigt.

Die Parameter A und B müssen - ebenso wie die finalen Parameter EF_i empirisch bzw. statistisch bestimmt werden. Bei dieser Methode ist anzumerken, dass das Ergebnis nicht - wie bei COCOMO - die optimale Dauer, sondern die geschätzte Dauer angibt. Das sollte jedoch - wenn man annimmt, dass die für die statistische Ausarbeitung verarbeiteten Projekte gut gemanagt wurden - zumindest theoretisch nicht viel Unterschied machen.

Der Parameter SCED kann folgende Bewertungen und Werte annehmen:

- ◆ locker (keine oder fast keine Überstunden): 106 %
- ◆ mittelstreng (gelegentlich Überstunden, durchschnittlich ca. $\frac{1}{2}$ bis 1 pro Tag): 100 %
- ◆ streng (regelmäßige Überstunden, durchschnittlich ca. 2 pro Tag): 92 %
- ◆ sehr streng (fertig werden „um jeden Preis“, 60 Stunden - Woche): 69 %

Es darf dabei natürlich interpoliert werden. Da bei den bearbeiteten Bauprojekten über den Zeitdruck nichts Näheres bekannt ist, wird angenommen, dass er im Durchschnitt „mittelstreng“ war und wird demzufolge mit 100 % angenommen.

4.2.3 Anwendung des COCOMO-Verfahrens auf die Terminplanung

Anhand der Referenzprojekte aus Kapitel 4.1.3 wird untersucht, ob überhaupt ein nennenswerter Zusammenhang zwischen BGF und Bauzeit besteht. Den größten Unterschied in der Bauzeit bewirkt der Parameter „Unterkellerung“, weswegen dieser aus dem Produkt herausgezogen wird und die Projekte in zwei Gruppen teilt (teilweise Unterkellerungen sind in den Daten nicht angegeben, weswegen sie im Folgenden entweder der Gruppe „unterkellert“ oder „nicht unterkellert“ zugewiesen werden).

Die folgenden Funktionsgraphen in Abbildung 4.10 zeigen die Verteilung der Projekte anhand ihrer BGF und der Bauzeit in Wochen. Grün eingezeichnet ist die lineare Regression.

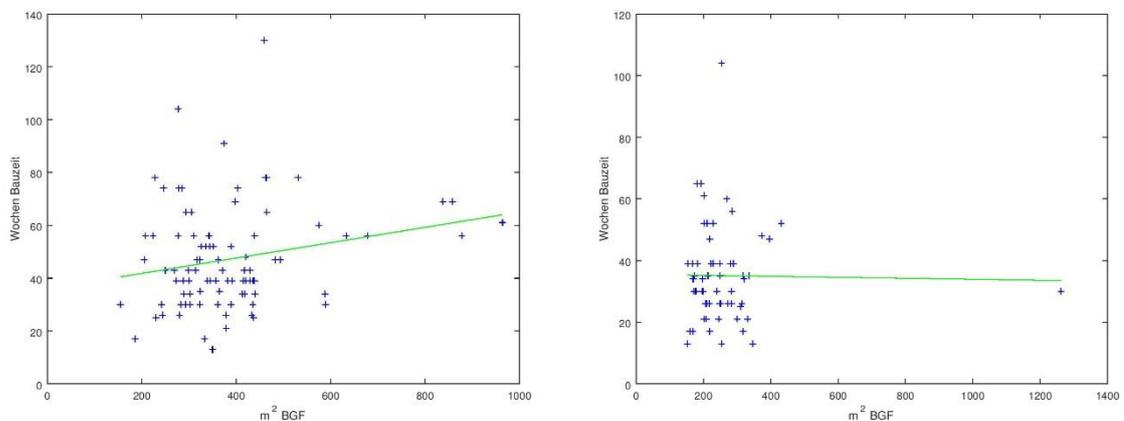


Abbildung 4.10. Zusammenhang BGF – Bauzeit von unterkellerten Gebäuden (links) und nicht unterkellerten Gebäuden (rechts)

Tabelle 4.10. Funktion des Regressionsgraphen der Funktion BGF - Bauzeit

	Bauzeit [Wochen]
Unterkellerte Gebäude	$35,99 + \text{BGF} \times 0,0290$
Nicht unterkellerte Gebäude	$33,75 - \text{BGF} \times 0,0026$

Bei näherer Betrachtung von Abbildung 4.10 wird offensichtlich, dass keine starke Korrelation zwischen Bruttogrundfläche und Bauzeit besteht, besonders bei nicht unterkellerten Gebäuden. Die Anwendung von Formel (4.3) wäre auch nicht möglich, da ihr Graph nicht besser wäre als die Lineare. Tabelle 4.11 zeigt die Anzahl der Projekte, die innerhalb von $\pm 20\%$ liegen – und die innerhalb $\pm 50\%$, eines Wertes der Bauzeit, dessen Überschreiten schon eine Katastrophe bedeuten würde.

Tabelle 4.11. Genauigkeit der Regression auf den Zeitplan ohne Parameter

	+/- 20 %	+/- 50 %
Unterkellerte Gebäude	45,1 %	83,5 %
Nicht Unterkellerte Gebäude	45,2 %	79,0 %
Gesamt	45,1 %	81,7 %

Es würde also bei jedem fünften Projekt die geplante Bauzeit um mehr als die Hälfte unter- oder überschritten werden. Diese Ungenauigkeit ist selbst für frühe Projektphasen inakzeptabel. Leider konnte auch eine Sortierung nach Qualität keine Verbesserung bringen. Es sind alles Wohnhäuser, was die Unterscheidung nach dem Bauwerkstyp obsolet macht, und zum Grad der Standardisierung des Bauablaufes liegen keine Daten vor. Es muss geschlossen werden, dass sich die Anwendung von statistischen Algorithmen zur Ermittlung der Bauzeit nicht eignet.

4.3 Statistische Methoden in der Kalkulation

COCOMO ist ein Modell für die ausführende Softwarefirma, um den Arbeitsaufwand – der ziemlich proportional mit den Kosten einhergeht – zu Projektstart abzuschätzen.

Statistische Methoden auf die Kalkulation direkt anzuwenden ist schwierig, da diese sehr genau sein muss, wenig Platz für Ungenauigkeiten bietet und daher systematisch und elementweise durchgerechnet wird.²⁴² Wie der Name „Kalkulation“ verrät, wird kalkuliert und nicht überschlagen und geschätzt. Lediglich einzelne Elemente der Kalkulation können oder müssen geschätzt werden, darunter fallen Aufwands- bzw. Leistungswerte, die Entwicklung von Materialpreisen und die Bewertung von Risiken.

Für die Ermittlung von Aufwands- und Leistungswerten werden statistische Methoden bereits verwendet, indem auf Erfahrungswerte zurückgegriffen wird. Natürlich kann untersucht werden, inwieweit die Umstände der Referenzprojekte mit denen des Kalkulationsobjekts übereinstimmen und sich daraus Korrelationen ableiten. Die Vorhersage von Materialpreisen ist vor allem kurzfristig unmöglich. Auch in der Risikobewertung wird keine Anwendungsmöglichkeit von zusätzlichen statistischen Methoden, wie COCOMO sie verwendet, gesehen.

²⁴² Siehe dazu Kapitel 3.6

4.4 Kostenprognose von Planungsleistungen

Die Besonderheit der in Kapitel 3.11.5 beschriebenen Methode der WKO – Bundesinnung Bau ist der Projektklassenfaktor. Durch ihn wird das Projekt von bloßen Zahlen wie geometrische Objektdaten, Baukosten und Bauzeit bzw. für Planung oder Überwachung aufgewendete Zeit auf folgende nicht messbare Projektparameter erweitert:

- Komplexität der Projektorganisation
- Art des Bauwerks
- Komplexität der Planungsleistung
- Projektrisiken in der Planungsphase
- Anforderungen an die Terminvorgaben
- Anforderungen an die Kostenvorgaben

Die Methode der Aufsummierung von Bewertungen einzelner Parameter kommt auch in Kapitel 2.4.3, dem *Early Design Model* vor, wo auch Subparameter aufsummiert werden, um die Bewertung eines Summenparameters zu generieren, der schließlich in die Formeln für Aufwand und Zeitplan Einzug findet. Bei COCOMO unterliegt die Bewertung der Subparameter allerdings Regeln und ist somit objektiv.

Durch die (subjektive) Bewertung von „1“ (niedriger Planungsaufwand) bis „30“ (sehr hoher Planungsaufwand) mit Wert „10“ für durchschnittlichen Aufwand für jedes der obigen Kriterien trifft die Methode folgende Annahmen:

- 1) Jeder der Parameter wirkt sich gleich stark auf die Planungskomplexität und damit den Aufwand aus.
- 2) „Nach oben“ ist mehr Platz für Abweichungen vom Durchschnitt als „nach unten“, der Wert für durchschnittliche Projekte (10) ist näher zur unteren Grenze (1) als zur oberen (30). Eine andere Interpretationsmöglichkeit wäre, dass sich „ungünstige“ Parameterwerte stärker negativ (aufwandsvergrößernd) auswirken, als sich „günstige“ positiv auswirken.

Der Verlauf Punktezahl – Projektklassenfaktor ist in zwei Abschnitten linear. Von 0 bis 120 verläuft er linear mit einer Steigung von 1:120, von 120 bis 180 linear mit einer Steigung von 1:40, also dreimal so steil. Das legt weitere Vermutungen nahe:

- 1) Die abschnittsweise Linearität soll die rechnerische Vereinfachung eines exponentiellen Zusammenhangs darstellen.

- 2) Die Kombination sehr vieler „ungünstiger“ Parameter bewirkt ein besonders hohes Ansteigen des Planungsaufwandes, das die erste Linearität sprengt und den Knick ab 120 Punkten zur Folge hat.

Diese Aspekte werden in den COCOMO-Modellen teilweise auch berücksichtigt, teilweise weichen die Philosophien voneinander ab:

- 1) Die Parameter wirken sich nicht gleich stark auf den Arbeitsaufwand aus. Jeder Parameter ist individuell bewertet. Dies spiegelt die Realität jedenfalls besser wider als das WKO-Modell, hat dafür einen hohen Aufwand bei der Erstellung und ist komplizierter in der Anwendung.
- 2) Um diesen Vergleich zu ziehen, werden noch einmal die Aufwandsmultiplikatoren aus Tabelle 2.4 betrachtet. Bei allen 15 Kategorien bewirkt der Wert für die „günstigste“ Variante prozentuell einen geringeren positiven Effekt, als die „ungünstigste“ Variante den negativen Effekt. Zum Beispiel bewirkt eine sehr niedrige Produktkomplexität eine Reduktion um 30 % (Faktor 0,7), eine extra hohe Produktkomplexität jedoch einen Anstieg von 65 % (Faktor 1,65).

Die Tatsache, dass ungünstige Umstände mitunter größere Auswirkung haben können als negative, existiert also bei Softwareentwicklungen und Bauplanern und ist auch in beiden Branchen bekannt.

- 3) Diese Aussage kann nicht bewiesen werden und bleibt eine Vermutung. Geknickte Funktionen sind in der Natur und in der Ökonomie jedoch wesentlich seltener als Exponentialfunktionen. Bemerkenswert ist, dass die Stelle des Knicks bei 120 ist, also jenem Wert, der 6-mal „20“ entspricht, dem Wert, der vom Mittelwert gleichweit entfernt ist, wie der kleinste Wert. Projektklassenfaktoren, die in die zweite Linearität fallen, sind also Projekten vorbehalten, die mindestens einen „außergewöhnlich ungünstigen“ Parameter besitzen.
- 4) Dieser Effekt tritt bei den COCOMO-Modellen auch auf, da die höheren Aufwandsmultiplikatoren für ungünstige Projektumstände miteinander multipliziert werden. Zum Beispiel ergibt das Produkt der Computerattribute für die Bewertung „hoch“ (hohe geforderte Verlässlichkeit, große Datenbasis, hohe Produktkomplexität) zu 1,43, für die Bewertung „sehr hoch“ zu 2,11. Der Umkehrschluss – dass aus vielen günstigen Projektumständen ein besonders niedriger Aufwand resultiert – wird bei dem Modell der WKO nicht, bei COCOMO schon angenommen.

Abschließend lässt sich hier noch sagen, dass das Berechnungsmodell von COCOMO viel größere Abweichungen zulässt. Setzt man für jeden der 15 Parameter den Wert für leicht ungünstige Umstände („hoch“ bzw. „niedrig“) ein, erhält

man als resultierenden Faktor 5,00. Setzt man überall den Wert für den ungünstigsten Umstand ein, erhält man den resultierenden Faktor von 72,38 (!). Beim Modell der WKO ist der Wert nach oben mit 3,00 gedeckelt. Welche der beiden Methoden die realitätsnähere ist, lässt sich ad hoc nicht feststellen. Vermutlich sind beide durch Unterschiede der beiden Tätigkeitsfelder gerechtfertigt.

4.5 Zusammenfassung

Statistische Methoden werden bei der Vorabschätzung von Baupreisen laufend verwendet. Oft wendet man sie an, ohne nachzudenken, etwa, wenn eine Abschätzformel verwendet wird, die auf die Gesetze der Statistik vertraut, zum Beispiel das Verfahren nach Leitpositionen. Oder beim Wählen eines Kostenkennwerts innerhalb der angegebenen Bandbreite aufgrund der persönlichen Einschätzung: es wird auf den eigenen Erfahrungsschatz zurückgegriffen – eine gedächtnisinterne Datenbank, mit deren Hilfe blitzschnell, subjektiv und unbewusst alle Umstände erfasst, evaluiert und mit vorhandenen Erfahrungen verglichen werden, woraus schließlich eine Prognose für das derzeitige Projekt erstellt werden kann. Auch das Verwenden von Planungs- und Kostenkennwerten an sich ist eine statistische Methode, denn diese Werte basieren auf empirischen – also statistischen – Zahlen.

Bei der Kostenermittlung werden Methoden verwendet, die eine gewisse Ähnlichkeit mit COCOMO (und statistischen Modellen im Allgemeinen) aufweisen und sich damit auch gut vergleichen lassen. Hier ist möglicherweise der größte Spielraum gegeben, Erkenntnisse aus der Softwarebranche - und COCOMO im Speziellen - auf das Bauwesen umzulegen. Einen zusammenfassenden Vergleich bilden Tabelle 4.12, Tabelle 4.13 und Tabelle 4.14.

Die Unternehmerkalkulation im Bauwesen setzt weniger auf Statistik. Zwar werden auch Erfahrungswerte für Aufwands- und Leistungswerte sowie für Materialpreise, Betriebsmitteleinsatz und dergleichen herangezogen, auf denen die Kalkulation basiert. Die Kalkulation selbst läuft jedoch ohne statistische Hilfsmittel ab. Dass die Fehler der Kalkulation der einzelnen Positionen sich über die Summe ausgleichen, sollte nicht als statistische Methode gewertet werden.

Eine sehr einfache Art der Statistik wird in der WKO-Methode für Planer zur Ermittlung des Honorars eingesetzt. Nachdem die Summe der Kosten aller Teilleistungen feststeht, wird diese mit einem einzigen Faktor multipliziert, der sich aus sechs Parametern zusammensetzt. Dieser „Masterparameter“ unterteilt die Planung nicht weiter in Teilleistungen und unterscheidet auch nicht zwischen der Art der Planungsleistung (Vorplanung, Einreichplanung, Detaillplanung, Bauaufsicht, etc.). Auch bei dieser Methode könnte man im Sinne der Ergebnisoptimierung noch Stellschrauben hinzufügen – falls Verkomplizierungen in Kauf

genommen werden würden. Die Zusammenfassung des Vergleichs der WKO-Methode mit der alten Methode aus der HOA bzw. mit den COCOMO-Modellen bilden die Tabelle 4.15 und Tabelle 4.16.

Tabelle 4.12. Vergleich der Methoden der Kostenermittlung von ÖNORM und DIN miteinander und mit den COCOMO Modellen

	ÖNORM B 2061	DIN 276	COCOMO
Stufen der Kostenermittlung	6	5	COCOMO 81: 3 Modelle COCOMO II: 2 Modelle
Gliederung	10 Kostengruppen der 1. Ebene mit Untergruppen in 2. Und 3. Ebene	7 Kostengruppen der 1. Ebene mit Untergruppen in 2. Und 3. Ebene	Gliederung nach Softwarekomponenten oder -hierarchie möglich

Tabelle 4.13. Vergleich der Methoden der Kostenermittlung mit den COCOMO Modellen

	Kostenermittlungsverfahren im Bauwesen	COCOMO
Basisparameter, primäre Eingangsdaten	BGF, BRI, NF, Nutzeinheiten, Grobelemente, Feinelemente	KDSI
Stellschrauben	Planungskennwerte, Kostenkennwerte	Kosteneinflussfaktoren der Attribute der Kostentreiber, COCOMO II: Skalierungsfaktoren
Math. Zusammenhang	Linear	Nichtlinear, <i>diseconomy of scale</i>
Anzahl der Erweiterungsparameter	BKI-Methode: 5 Einflüsse auf die Bandbreite	COCOMO 81: 15 COCOMO II: 17 + 5
Ort der Wirkung der Projektparameter	Je nach Tiefe der Gliederungsebene auf gesamtes Bauwerk, Kostengruppen der 1., 2. oder 3. Ebene oder elementweise	Gesamtes Projekt / Komponentenweise / nur auf einzelne Module bzw. Submodule,
Art der Wirkung der Projektparameter	Subjektiv, innerhalb der angegebenen Bandbreite	Objektiv, als Faktor bzw. bei COCOMO II auch als Exponent
Ergebnis	Baukosten	Arbeitsaufwand, optimaler Zeitplan

Tabelle 4.14. Vergleich der Methoden der Kalkulation nach ÖNORM und VOB mit den COCOMO Modellen

	COCOMO	ÖNORM B 2061	VOB
Gliederung	Gliederung nach Softwarehierarchie / Gliederung nach Softwarekomponenten	Gliederung nach 6 Kostenarten	Keine Gliederung vorgegeben
Basisparameter, primäre Eingangsdaten	KDSI	Leistungs- und Aufwandswerte, Materialmengen, Zinssätze, ...	
Stellschrauben und deren Anzahl	Kosteneinfluss- / Skalierungsfaktoren: COCOMO 81: 15 COCOMO II: 17 + 5	Freie Wahl der Leistungs- und Aufwandswerte, freie Wahl des Umlageverfahrens	
Ergebnis, Output	Arbeitsaufwand, Zeitplan	Angebotspreis	

Tabelle 4.15. Vergleich der alten Honorarermittlung für Planer laut HOA mit dem neuen Modell der WKO / Bundesinnung Bau

	HOA	WKO-Modell
Vorteile	-	Übersichtlich, für jedermann verständlich und nachvollziehbar
Nachteile	Sehr kompliziert „Schwierigkeit“ des Projekts wird nur anhand eines Parameters (Gebäudetyp) erhoben	Es existieren zwar mehrere Parameter zur Erhebung der „Schwierigkeit“, diese sind jedoch nicht gewichtet

Tabelle 4.16. Vergleich *Intermediate COCOMO* mit dem *WKO-Modell für Planer*.

Modell	<i>Intermediate COCOMO</i>	WKO-Modell für Planer
Basisparameter, primäre Eingangsdaten	KDSI	Mittlerer Stundensatz
Anzahl der Projektparameter	15	6 → 1
Einfluss der Parameter auf den Arbeitsaufwand	Von Parameter zu Parameter unterschiedlich	Alle gleich hoch
Funktionsverlauf	Annähernd exponentiell	Doppelt linear
Extremwerte	Bedingen sehr hohe bzw. sehr niedrige Faktoren	Mit 0,5 bzw. 3,0 beschränkt
Vorteile	Individualisierte Gewichtung der Parameter	Einfach und übersichtlich zu bedienen
Nachteile	Sehr niedrige bzw. hohe Extremwerte	Gleiche Gewichtung aller Parameter
	COCOMO II / Early Design	WKO-Modell für Planer
Bewertung der Parameter	Objektiv	Subjektiv

5 Conclusio

Es wurde gezeigt, dass die Vergleichbarkeit der Branchen Softwareentwicklung und Bauwirtschaft gegeben ist. Es lässt sich außerdem feststellen, dass zusätzlich zur Vergleichbarkeit auch Ähnlichkeiten existieren, wie hohe Auftragssummen, Termindruck, aber auch ein strategisches Vorgehen in den Bereichen Kosten- und Terminplanung. Bedingt durch die hohen Investitionen auf der einen und die Konkurrenz auf der anderen Seite ist es sowohl für Auftraggeber als auch Auftragnehmer beider Branchen wichtig, die Projektkosten im Vorhinein gut abschätzen zu können und die Einhaltung von Terminen im Auge zu behalten. Auch die zunehmende Genauigkeit - oder abnehmende Toleranz - der Kosten über den Projektverlauf ist eine Gemeinsamkeit der beiden Branchen.

Ein zentraler Punkt der COCOMO-Modelle ist die *diseconomy of scale*, also die Aufwands- bzw. Kostensteigerung von größeren Projekten über das lineare Maß hinaus. Sie wird damit begründet, dass Softwarecodes komplexe Gebilde sind, deren Komponenten - die Codezeilen - eng miteinander verknüpft sind, und das Programm, je größer es wird, dadurch immer schwieriger und aufwendiger zu programmieren ist. Bei Bauprojekten ist dies nicht der Fall, wenn überhaupt wäre das Gegenteil, die *economy of scale* zu berücksichtigen. Sie würde durch Rabatte bei großen Einkaufsmengen, den verminderten Bedarf an Schalung und/oder durch Einbau verursachten Aufwand pro Volumseinheit bei größeren Bauteilen, der Ermöglichung des Einsatzes von größeren und damit effizienteren Maschinen, längeren Bauzeiten und damit den höheren Einfluss des Einarbeitungseffekts bedingt werden, um nur einige Beispiele zu nennen. Dennoch bleibt die *economy of scale* zumindest bei den betrachteten Methoden der Kostenermittlung aus Bauherrensicht unberücksichtigt. Auch in der Unternehmerkalkulation gibt es keinen normierten Vorschlag, sie anzuwenden, wenngleich es natürlich jedem Kalkulanten freisteht, sie zu berücksichtigen.

Der Einsatz von COCOMO zur Verbesserung oder als Ersatz der Unternehmerkalkulation ist schon aus formalen Gründen unmöglich. Es existieren keinerlei Schnittmengen der Systematik der Ergebnisfindung, wodurch sich die Frage nach der Implementierung von Formeln oder Methoden aus COCOMO an dieser Stelle gar nicht stellt. Auch das Konzept der Kostenumlage ist COCOMO fremd. Ein Prämisse COCOMOs ist, dass nur direkt das Projekt betreffende Arbeiten berechnet werden, also keine Geschäftsgemeinkosten.

Nicht gänzlich unmöglich aber schwierig gestaltet sich die Anwendung von statistischen Algorithmen, wie COCOMO sie verwendet, in der Terminplanung. Wie bereits vorausgeschickt wurde, berechnet COCOMO ausschließlich die Gesamtlänge des Projekts, um genau zu sein die Dauer, bei der der Einsatz von Personalressourcen optimiert wird, während im Bauwesen zumeist danach gestrebt wird, die Bauzeit zu minimieren. Aber selbst die Ermittlung einer durchschnittlichen oder zu erwartenden Bauzeit ist nicht möglich, weil –

zumindest bei gegebener Datenlage – die Korrelation zwischen dem verwendeten Parameter BGF und der Bauzeit viel zu gering ist.

Die Anwendung des *Reuse Models* für die Kostenermittlung für Umbauten bestehender Bauwerke ergibt keinen Sinn, auch wenn auf den ersten Blick Ähnlichkeiten bestehen. Das COCOMO-Modell beruht aber auf der Annahme, dass die Arbeit, die für wiederverwendete Software anfällt, hauptsächlich daraus besteht, den recycelten Code zu verstehen und dann zu adaptieren. Bei Umbauten gibt es vergleichbare Arbeiten nicht in dem Ausmaß, weswegen die Anwendung der Formeln des *Reuse Models* obsolet wird.

Die Anwendungsmöglichkeiten von COCOMO - oder einzelnen Aspekten von COCOMO - beschränken sich in der Praxis daher auf die frühe Phase der Kostenermittlung aus Bauherrensicht und die Ermittlung von Honoraren für Planungsleistungen.

Die Anwendung von COCOMO auf die Kostenermittlung des Bauherren/Investors bringt interessante Ergebnisse. In dieser Arbeit wurde die Formelstruktur von *Intermediate COCOMO* auf die Basisparameter BGF bzw. BRI anstelle von KDSI mit dem Output „Baukosten“ anstelle von Arbeitsaufwand angewandt. Die Formel wurde vereinfacht und der Zusammenhang linearisiert, um ein Overfitting zu vermeiden. Zuerst wurden die Objekte in ihrer Gesamtheit untersucht – 176 Ein- oder Zweifamilienhäuser. Das Ergebnis war mit 65 % bzw. 60 % innerhalb von 20 % Genauigkeit für die beiden Basisparameter noch nicht umwerfend, nach Unterteilung in Qualitätsstandards waren es immerhin schon 77 % bzw. 78 %. Durch Anwendung der Kosteneinflussfaktoren für die Parameter Holzbauweise, Passivbauweise und Unterkellerung wurde der Wert der innerhalb 20 % der Realität liegenden Objekte für beide Parameter bis auf 80 % gesteigert. Mehr als die Hälfte der Projekte lag sogar innerhalb 12 %. Das sind natürlich keine Genauigkeiten, die im fortgeschrittenen Projektverlauf brauchbar sind, für den Kostenrahmen stellen sie allerdings Verbesserungen zu den reinen geometrischen Verfahren dar. Voraussetzung für die Anwendung dieser Methode ist das Vorliegen aller – oder möglichst vieler – Entscheidungen, die direkt oder indirekt die Werte von Parametern verändern. In diesem Fall wären das neben den Objektdaten BRI bzw. BGF die Entscheidung über die Qualität des Baustandards, über die Bauweise und ob unterkellert wird. Eine Einschränkung auf eine Projektgröße wurde nicht eigens untersucht, da die Methode für kleine wie für große Projekte gleichermaßen funktioniert. Die Grenzen der Anwendbarkeit für die untersuchte Methode liegen eher in der Genauigkeit und damit im Projektfortschritt. Interessant wäre eine Umsetzung für weitere Gebäudetypen, eine Ausweitung der Parameter sowie eine größere Datenmenge zur weiteren Kalibrierung. Die Anwendung des Verfahrens auf weitere Gliederungsebenen bis hin zum Bauelement wäre aufwendig, könnte aber auch in späteren Projektphasen Verbesserungen des Status quo bewirken. Hier müsste eine Datenbank für die Auswirkung von Parameterwerten

für alle Elemente bis zu der Gliederungsebene erstellt werden, für die die Anwendung erwünscht ist, eventuell könnten für einzelne Kosten(unter)gruppen neue Parameter eingeführt werden. Auch die Konzepte der Projekthierarchie (*SHEF*) aus *Detailed COCOMO* und das der komponentenweisen Zerlegung (*CLEF*) des Projekts aus *Intermediate COCOMO*, deren Implementierung im Bauwesen die Anwendung von Kosteneinflussfaktoren auf verschiedene Kostengruppen, deren Untergruppen oder auf verschiedene Bauphasen des Projekts ermöglichen würde, bietet großen Raum für zukünftige Forschung.

Ein weiterer Aspekt und ein weiterer Grund, die Implementierung dieser Methode in der Bauwirtschaft genauer und tiefer zu untersuchen, ist dessen Anwendungsmöglichkeit als Analysetool. Mit Hilfe dieser Methode können schnell und einfach mehrere Fallstudien anhand der jeweiligen voraussichtlichen Kosten verglichen und die Entscheidung für die Wahl einer Variante mit Fakten gestützt werden. Voraussetzung für die Anwendung in späteren Projektphasen wäre auch hier die Existenz der Datenbank mit den ausgearbeiteten Kostenkennwerten der Attributparameter.

Beim Vergleich der WKO-Methode zur Honorarermittlung für Planer und *Intermediate COCOMO* wurden einige Parallelen entdeckt. Was hier von COCOMO abgeschaut werden kann, ist jedenfalls der individuell unterschiedlich starke Einfluss verschiedener Parameter auf das Ergebnis – bei der WKO-Methode sind derzeit alle Parameter gleich stark gewichtet.

6 Verzeichnisse

Literaturverzeichnis

Boehm, B. W. *Software Engineering Economics*. Prentice-Hall Advances in Computing Science and Technology Series, 1981.

Boehm, B. W., Abts, C., Brown, A.W., Cholani, S., Bradford, K., C., Horowitz, E., Madachy, R., Reifer D.J., Steece B. *Software Cost Estimation with Cocomo II*. Prentice Hall PTR, 2000.

Drees, Gerhard, und Paul, Wolfgang. *Kalkulation von Baupreisen: Hochbau, Tiefbau, Schlüsselfertiges Bauen; mit kompletten Berechnungsbeispielen*. 12., aktualisierte u. erw. Aufl. ed., Beuth, 2015.

Fei Z, Liu X: *f-COCOMO-fuzzy constructive cost model in software engineering*. Proceedings of IEEE international conference on fuzzy system, 1992, S. 331–337.

Huang, Xishi; Ho, Danny; Ren, Jing and Capretz, Luiz F.: *Improving the COCOMO model using a neuro-fuzzy approach*. Applied Soft Computing, Volume 7, Issue 1, 2007, S. 29 – 40.

Kropik, Andreas. *Baukalkulation Und Kostenrechnung*. 1. Auflage. ed. Perchtoldsdorf: Andreas Kropik, 2016.

Kropik, Andreas. *Kosten & Terminplanung*: Skriptum zur Vorlesung 234.012, Teil 1: Kostenplanung aus Bauherrensicht, WS 2010.

Kropik, Andreas. *Kosten & Terminplanung*: Skriptum zur Vorlesung 234.012, Teil 2: Terminplanung, WS 2010.

Mathoi, Thomas. *Durchgängiges Baukostenmanagement: Ein Leitfaden für systematische Kostenplanung und -kontrolle bei Bauprojekten im Hochbau aus der Sicht des Planers bzw. Auftraggebers*. Norderstedt: on Demand GmbH, 2005. Print. Schriftenreihe: Bauwirtschaft Und Projektmanagement.

Priebering, Heinz. *Kostenplanung und Kostensteuerung*: Skriptum, Kapitel 4, 2009.

Rauh, Reinhold. *Kostenermittlung im Schlüsselfertigbau: Grundlagen; Angebotsorganisation; Kalkulationsmethoden; Planungshonorare; Nachträge; Anwendungsbeispiele; Arbeitsmittel*. Werner, 2009.

Schulz, Silvia. *Einflüsse auf die Bauzeit im Hochbau. Ursachen und Folgen der Einflussfaktoren vor und während der Bauausführung von Neubauten*, Masterarbeit an der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus-Senftenberg, Lehrstuhl Planungs- und Bauökonomie, 2012.

Seifert, Werner, und Preussner, Mathias. *Baukostenplanung: Kostenermittlungen, Kostenkontrolle, Kostensteuerung, Haftung Bei Der Kostenplanung*. 4. Aufl. ed., Werner, 2013.

Shad, Muhammand und Bahadar, Faisal: *Analyzing Cost Estimation Model to Optimize COCOMO II for Enterprise Level Software*. International Journal of Computer, Vol 25 No 1, 2017, S. 168 – 179.

Sheta, Aala: *Estimation of the COCOMO Model Parameters Using Genetic Algorithms for NASA Software Projects*. Journal of Computer Science, 2 (2), 2006, S. 118 - 123.

Siemon, Klaus D. *Baukosten Bei Neu- Und Umbauten: Planung Und Steuerung*. 5., überarb. und aktualisierte Aufl. ed., Springer Vieweg, 2012.

Sommerville, Ian. *Software Engineering*. 9., aktualisierte Aufl. ed., Pearson, Higher Education, 2012.

Tansey, B., & Stroulia, E.: *Valuating software service development: Integrating CO-COMO II and real options theory*. Proceedings of the First International Workshop on The Economics of Software and Computation, 2007.

Webquellenverzeichnis

<https://wien.arching.at/service/honorareleistungen.html> - Kammer der Ziviltechnikerinnen

https://www.wko.at/branchen/gewerbe-handwerk/bau/Leitfaden_zur_Kostenabschaetzung_von_Planungsleistungen1.html - Stempowski, Rainer; Waldauer, Evelin; Sturm, Peter und Rosenberger Robert. *Leitfaden zur Kostenabschätzung von Planungs- und Projektmanagementsleistungen: Band 1 - Grundlagen*, 2. Auflage, 2012.

https://www.wko.at/branchen/gewerbe-handwerk/bau/Leitfaden_zur_Kostenabschaetzung_von_Planungsleistungen1.html - Stempowski, Rainer; Waldauer, Evelin; Sturm, Peter und Rosenberger Robert. *Leitfaden zur Kostenabschätzung von Planungs- und Projektmanagementsleistungen: Band 2 - Objektplanung*, 2. Auflage, 2012.

https://www.wko.at/branchen/gewerbe-handwerk/bau/Leitfaden_zur_Kostenabschaetzung_von_Planungsleistungen1.html - Stempowski, Rainer; Waldauer, Evelin; Sturm,

Peter und Rosenberger Robert. *Leitfaden zur Kostenabschätzung von Planungs- und Projektmanagementsleistungen: Band 3 – Örtliche Bauaufsicht (ÖBA)*, 2. Auflage, 2012.

https://www.wko.at/branchen/gewerbe-handwerk/bau/Leitfaden_zur_Kostenabschaetzung_von_Planungsleistungen1.html - Stempowski, Rainer; Waldauer, Evelin; Sturm, Peter und Rosenberger Robert. *Leitfaden zur Kostenabschätzung von Planungs- und Projektmanagementsleistungen: Band 4 - Projektmanagement*, 2. Auflage, 2013.

https://www.wko.at/branchen/gewerbe-handwerk/bau/Leitfaden_zur_Kostenabschaetzung_von_Planungsleistungen1.html - Stempowski, Rainer; Waldauer, Evelin; Sturm, Peter und Rosenberger Robert. *Leitfaden zur Kostenabschätzung von Planungs- und Projektmanagementsleistungen: Band 5 - Tiefbauplanung*, 2. Auflage, 2013.

https://www.wko.at/branchen/gewerbe-handwerk/bau/Leitfaden_zur_Kostenabschaetzung_von_Planungsleistungen1.html - Stempowski, Rainer; Waldauer, Evelin; Sturm, Peter und Rosenberger Robert. *Leitfaden zur Kostenabschätzung von Planungs- und Projektmanagementsleistungen: Band 6 - Tragwerksplanung*, 2. Auflage, 2013.

news.softpedia.com/news/Vista-a-6-Billion-Dollars-Operating-System-44096.shtml - Oiaga, Marius: *Vista – a \$6 Billion Dollars Operating System*, Softpedia News, 10.1.2007.

www.accountingtools.com/articles/2017/5/13/fifo-vs-lifo-accounting - Bragg, Steven: *FIFO vs. LIFO accounting*, Accounting Tools, 3.12.2018.

www.bi-medien.de/artikel-2305-bm-brz-lunz.bi – Lunz, Johannes: *Warum wird in der Baubranche so wenig Geld verdient?*, B_I Medien, 2011

www.bki.de - Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern

www.bm-architektur.at/wp-content/uploads/2014/09/Honorarordnung-Architekten.pdf - B & M Architektur, Honorarordnung für Architekten, 2014

www.gaebe.de – Gemeinsamer Ausschuss Elektronik im Bauwesen

www.handelsblatt.com/unternehmen/dienstleister/baukosten-hoher-als-gedacht-geheimsache-elbphilharmonie/14792022.html – Kapalschinski, Christoph: *Geheimsache Elbphilharmonie*, Handelsblatt, 4.11.2016.

www.igi-global.com/dictionary/measurement-maturity-business-processes/23582 - IGI Global, International Publisher of Information Science and Technology Research, abgefragt September 2018.

www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/preise/baupreisindex/index.html – Statistik Austria, Baupreisindex

www.weka.de - WEKA Media Fachverlag

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1. Rayleigh Verteilung	10
Abbildung 2.2. Geglättete Approximation der Personalverteilung (<i>Organic Mode</i>)	11
Abbildung 3.1. Kostengruppierung gemäß ÖNORM B 1801-1 2015	39
Abbildung 3.2. Kostensimulationsmodell mit ausgefüllten empfohlenen Planungskennwerten für Bürogebäude mittleren Standards mit der Berechnungsmethode nach BGF	43
Abbildung 3.3. Projektklassenfaktor	65
Abbildung 3.4. Ermittlung eines gewichteten Stundensatzes	66
Abbildung 4.1. Vergleich der Präzision der Aufwandschätzung in der Softwareentwicklung (links) und der Kostentoleranz bei Bauprojekten (rechts) ...	67
Abbildung 4.2. Baukosten aller Objekte in Abhängigkeit von BGF (links) und BRI (rechts)	72
Abbildung 4.3. Baukosten aller Objekte einfachen Standards in Abhängigkeit von BGF (links) und BRI (rechts)	72
Abbildung 4.4. Baukosten aller Objekte mittleren Standards in Abhängigkeit von BGF (links) und BRI (rechts)	73
Abbildung 4.5. Baukosten aller Objekte hohen Standards in Abhängigkeit von BGF (links) und BRI (rechts).....	73
Abbildung 4.6. Anteil der Objekte, die für die drei Stufen des BRI-Modells innerhalb der Genauigkeiten liegen.....	76
Abbildung 4.7. Anteil der Objekte, die für die drei Stufen des BGF-Modells innerhalb der Genauigkeiten liegen.....	76
Abbildung 4.8. Aufbau des Bauprojekts im Modell	78
Abbildung 4.9. Korrelation zwischen Bauzeit und BGF.	82
Abbildung 4.10. Zusammenhang BGF – Bauzeit von unterkellerten Gebäuden (links) und nicht unterkellerten Gebäuden (rechts).....	85

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1. Entwicklungsprofile für prototypische Projekte (<i>Organic Mode</i>).....	8
Tabelle 2.2. Phasenverteilung für Aufwand und Entwicklungsdauer (<i>Organic Mode</i>)	9
Tabelle 2.3. <i>Basic</i> COCOMO: Gleichungen für Aufwand und Entwicklungsdauer für die unterschiedlichen Projekttypen.....	12
Tabelle 2.4. <i>Intermediate</i> COCOMO Aufwandsmultiplikatoren für Softwareentwicklung	15
Tabelle 2.5. Bewertungshilfe für die Attribut-Ratings zweier exemplarisch ausgewählter Kostentreiber: geforderte Softwareverlässlichkeit RELY und Erfahrung der Softwareanalysten AEXP	16
Tabelle 2.6. Berechnung des <i>resulting overall effort adjustment factor</i> EAF	17

Tabelle 2.7. <i>Component Level Estimating Form</i> CLEF für ein Softwareprojekt.....	20
Tabelle 2.8. Für ein Attribut exemplarische <i>Subsystem Level Effort Multipliers</i> ...	21
Tabelle 2.9. Software Hierarchy Estimating Form SHEF für das Modul-Level	22
Tabelle 2.10. Software Hierarchy Estimating Form SHEF für das Subsystem-Level	23
Tabelle 2.11. <i>Early Design</i> und <i>Post-Architecture</i> Aufwandsmultiplikatoren	27
Tabelle 2.12. Zusammensetzung des Parameters PREX	28
Tabelle 2.13. Unterschiede zwischen dem „originalen“ COCOMO (1981) und COCOMO II (2000)	31
Tabelle 3.1. Die geforderten Mindestgliederungstiefen von ÖNORM B 1801-1 2015 und DIN 276:2008-12	37
Tabelle 3.2. Gegenüberstellung der Baugliederung der österreichischen ÖNORM B 1801-1 und der deutschen DIN 276	38
Tabelle 3.3. Kostengruppe 300: Bauwerk - Baukonstruktionen nach DIN 276, exemplarisch gewählte Kostengruppe, 2. Gliederungsebene	41
Tabelle 3.4. Kostengruppe 310: Baugrube nach DIN 276, exemplarisch gewählte Kostenuntergruppe, 3. Gliederungsebene.....	42
Tabelle 3.5.. Zusammensetzung der Bruttogehaltskosten	50
Tabelle 3.6. Zusammensetzung der Materialkosten	51
Tabelle 3.7. Gemäß diesen Anteilen sind die Teilleistungen innerhalb der Gesamtleistung laut HOA für bauliche Planungsleistungen zu bewerten	62
Tabelle 3.8. Preiszusammensetzung von Planungsleistungen.....	64
Tabelle 4.1. Informationen zur verwendeten Datenmenge. Alle Objekte sind Ein- oder Zweifamilienhäuser. Ermittlung der Qualität (Standard) nach BKI-Methode.	71
Tabelle 4.2. Analog zu <i>Basic</i> COCOMO werden die Projekte in 3 Gruppen unterteilt, für die jeweils eine eigene Grundformel existiert.	74
Tabelle 4.3. Die Genauigkeiten der jeweiligen Formeln mit Basis BRI: der Anteil an Objekten, der innerhalb der jeweiligen Prozentzahl liegt.	74
Tabelle 4.4. Die Genauigkeiten der jeweiligen Formeln mit Basis BGF: der Anteil an Objekten, der innerhalb der jeweiligen Prozentzahl liegt.	74
Tabelle 4.5. Einflussfaktoren für Parameter	75
Tabelle 4.6. Die Genauigkeiten der jeweiligen Formeln mit Basis BGF: der Anteil an Objekten, der innerhalb der jeweiligen Prozentzahl liegt.	75
Tabelle 4.7. Vorschläge für Planungs- und Kostenkennwerte des Kostensimulationsmodells des BKI für Ein- und Zweifamilienhäuser mittleren Standards, mit und ohne Unterkellerung.	77
Tabelle 4.8. Ebenen der Gliederung, ihre Basis- und Attributparameter	79
Tabelle 4.9. Formeln der Kostenberechnung für die jeweiligen Gliederungstiefen	79
Tabelle 4.10. Funktion des Regressionsgraphen der Funktion BGF - Bauzeit	85
Tabelle 4.11. Genauigkeit der Regression auf den Zeitplan ohne Parameter	86
Tabelle 4.12. Vergleich der Methoden der Kostenermittlung von ÖNORM und DIN miteinander und mit den COCOMO Modellen	90
Tabelle 4.13. Vergleich der Methoden der Kostenermittlung mit den COCOMO Modellen.....	91
Tabelle 4.14. Vergleich der Methoden der Kalkulation nach ÖNORM und VOB mit den COCOMO Modellen	92
Tabelle 4.15. Vergleich der alten Honorarermittlung für Planer laut HOA mit dem neuen Modell der WKO / Bundesinnung Bau	92
Tabelle 4.16. Vergleich <i>Intermediate</i> COCOMO mit dem WKO-Modell für Planer.	93

Formelverzeichnis

(2.1 Personalaufwand Basic).....	7
(2.2 Entwicklungszeitplan Basic)	7
(2.3 Rayleigh-Verteilung).....	10
(2.4 Personalverteilung 1)	10
(2.5 Personalverteilung 2)	10
(2.6 Personalaufwand Intermediate)	13
(2.7 Effort Adjustment Factor)	13
(2.8 Adaption Adjustment Factor).....	19
(2.9 Equivalent DSI 1)	19
(2.10 Personalaufwand Post-Architecture).....	25
(2.11 Kalibrierung Post-Architecture 1)	25
(2.12 Zeitplan Post-Architecture).....	25
(2.13 Kalibrierung Post Architecture 2).....	25
(2.14 Equivalent DSI 2)	29
(3.1 Abschätzung nach Nutzeinheiten).....	40
(3.2 Abschätzung nach Objektdaten)	40
(3.3 Kostenkennwertmethode)	41
(3.4 Leitpositionsverfahren).....	44
(3.5 Restwertfaktor).....	44
(3.6 Indexierung)	46
(3.7 Aufwandswert)	48
(3.8 Leistungswert).....	48
(3.9 Lohnkosten)	49
(3.10 Gehaltskosten)	50
(3.11 Materialkosten).....	51
(3.12 Abschreibung)	52
(3.13 Kapitalkosten)	52
(3.14 Gerätekosten)	52
(3.15 Stückkosten)	56
(3.16 Honorarsatz Planung)	61
(3.17 Honorarsatz Bauaufsicht).....	61
(3.18 Schwierigkeitsfaktor Planung)	62
(3.19 Schwierigkeitsfaktor Bauaufsicht)	62
(3.20 Honorar Planung)	62
(3.21 Honorar Bauaufsicht)	62
(4.1 Wert nach Umbau)	80
(4.2 Adaptionfaktor Umbau).....	80
(4.3 Zeitplan Bauprojekt)	83

7 Normen

DIN 276:2008-12, Kosten im Bauwesen

DIN 277-3:2005-04, Grundflächen und Rauminhalte von Bauwerken im Hochbau

ÖNORM B 1801-1:2015-12, Bauprojekt- und Objektmanagement – Teil 1: Objekterichtung

ÖNORM B 2061:1999-09, Preisermittlung von Bauleistungen - Verfahrensnorm

8 Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die hier vorliegende Diplomarbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt sowie der Literatur wörtlich und inhaltlich entnommene Stellen als solche gekennzeichnet habe. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungskommission vorgelegt und auch nicht veröffentlicht.

Wien, am 26.03.2019

Maximilian Weigert
