

Holistisch kybernetisches Kostensteuerungsprozessmodell – Vorplanungs- bis Ausführungsphase

G. Girmscheid

504

Zusammenfassung Die Kostensteuerung leistet einen entscheidenden Beitrag für eine erfolgreiche Investition zur Erzielung der Kundenbedürfnisse bei Bauprojekten. In der Projektentwicklungsphase werden die Zielgrößen für das Bauprojekt des Kunden aus der marktbezogenen Einnahmen- und Ausgabenbetrachtung entwickelt. Auf der Basis von potenziellen Mieteinnahmen, die sich aus der Standortqualität, dem Systemstandard, dem Flächen- und Raumprogramm sowie der Nutzung bzw. Nutzungsflexibilität ergeben, wird das Investitionsintervall festgelegt, innerhalb dessen die Zielgrößen erreicht werden können. Dieser Beitrag betrachtet in Fortsetzung des Beitrags „Holistisch kybernetisches Kostensteuerungsprozessmodell – Projektentwicklungsphase“ die Umsetzung dieser Zielgrößen in der Vorplanungs- bis einschließlich der Ausführungsphase mittels holistisch kybernetischer Kostensteuerung.

Holistic cybernetic construction cost control model – preliminary design up to execution

Abstract Cost control makes a crucial contribution to successful investment when fulfilling customers' construction project requirements. The targets for the client's construction project are developed on the basis of a market-related analysis of income and expenditure in the project development phase. The investment period, within which the targets can be achieved, is determined on the basis of potential rental income, derived from the quality of the location, system standard, space and room planning, and utilization, resp. flexibility of utilization. As a continuation of the paper "Holistic cybernetic construction cost control model – Project development phase", this paper studies the implementation of these targets in the phases from preliminary planning through to execution using holistic, cybernetic cost control.

1 Einleitung

Im Beitrag „Holistisch kybernetisches Kostensteuerungsprozessmodell – Projektentwicklungsphase“ [1] wurde die Ableitung der Projektinvestitionskosten bzw. des Investitionsintervalls aus der potenziellen lebenszyklusorien-

tierten Einnahmeseite der Miete und der Ausgaben- bzw. Kostenseite aus Investition und Betriebsausgaben aus einer Net Present Value-Berechnung ermittelt (**Bild 1**). Dabei wurden den potenziellen Mieteinnahmen die Grundstückslage, der Systemstandard und das Flächenprogramm zugeordnet. Aus diesen Zielgrößen heraus muss nun das Projekt durch alle weiteren immateriellen Planungsphasen und die materielle Ausführungsphase gesteuert werden (**Bild 1**). Dies wird in diesem Beitrag dargestellt.

2.1 Vorplanungsphase – Kostenschätzung/Kostenberechnung

In der Vorplanungsphase werden nun auf der Grundlage der in der Projektentwicklung [1] ermittelten Basissystemvariante A verschiedene Vorplanungsvarianten zur Projektoptimierung bezüglich des

- Flächenangebots und
- Systemstandards

mittels Kostenschätzung (**Bild 2**) untersucht. Diese müssen zur Erzielung der geringsten Investitionskosten bzw. zur Einengung der Bandbreite der möglichen Investitionskosten in den zulässigen Grenzen der Basissystemvariante A liegen, um die anvisierte Rendite zu erreichen oder zu überschreiten.

Man kann in den weiteren Phasen der Projektplanung vom **ökonomischen Minimalprinzip** für die Investitionskosten ausgehen, da ein definierter Nutzen erreicht werden muss. Dieser Nutzen wird mit dem Oberziel der angestrebten Rendite dargestellt, das durch die Unterziele mit Mietniveau, Systemstandard und Miet- bzw. Nutzflächenangebot als Gestaltungsleitplanken weiter strukturiert ist. Dabei repräsentieren die Investitionskosten die Bedingungsgröße, in der sich der Systemstandard und das Flächenangebot einordnen, aber auch gleichzeitig rekursiv bedingen.

Alle Entwurfsvarianten $j = \{A, B, C, \dots\}$, die auf der Basissystemvariante A aufbauen, müssen den Systemstandard und das Flächenangebot erfüllen:

$$\{E^j\}_{j=A,B,C} = f\left\{\left\{S^i\right\}_{\min}^{\max}; \left\{F_N\right\}_{\min}^{\max}\right\}$$

Daraus folgt, dass alle Entwurfsvarianten $\{E^j\}_{j=A,B,C}$ die Investitionsbandbreite $\{A_{EW}^{Budget,1}\}$ einhalten müssen; zudem muss die Investitionsbudgetbandbreite am Ende des Vorplanungsprozesses bei der Auswahl der Genehmigungsvariante auf eine Zuverlässigkeitsbandbreite (**Bild 3**) von +/- 10 % eingengt werden.

Das heißt in Bezug auf die kumulative Häufigkeit der Investitionskostenbandbreite:

$$\{F_{\min}^2 = 0,4; F_{EW} = 0,5; F_{\max}^2 = 0,6\}$$

Prof. Dr.-Ing. Gerhard Girmscheid

M.ASCE, John O. Bickel Award 2004 und 2005
 Professor für Bauprozess- und Bauunternehmensmanagement
 Vorsteher Institut für Bauplanung und Baubetrieb
 ETH Zürich
 CH-8093 Zürich
 girmscheid@ibb.baug.ethz.ch
 Tel. (+41) 44 633 3787
 Fax (+41) 44 633 1088

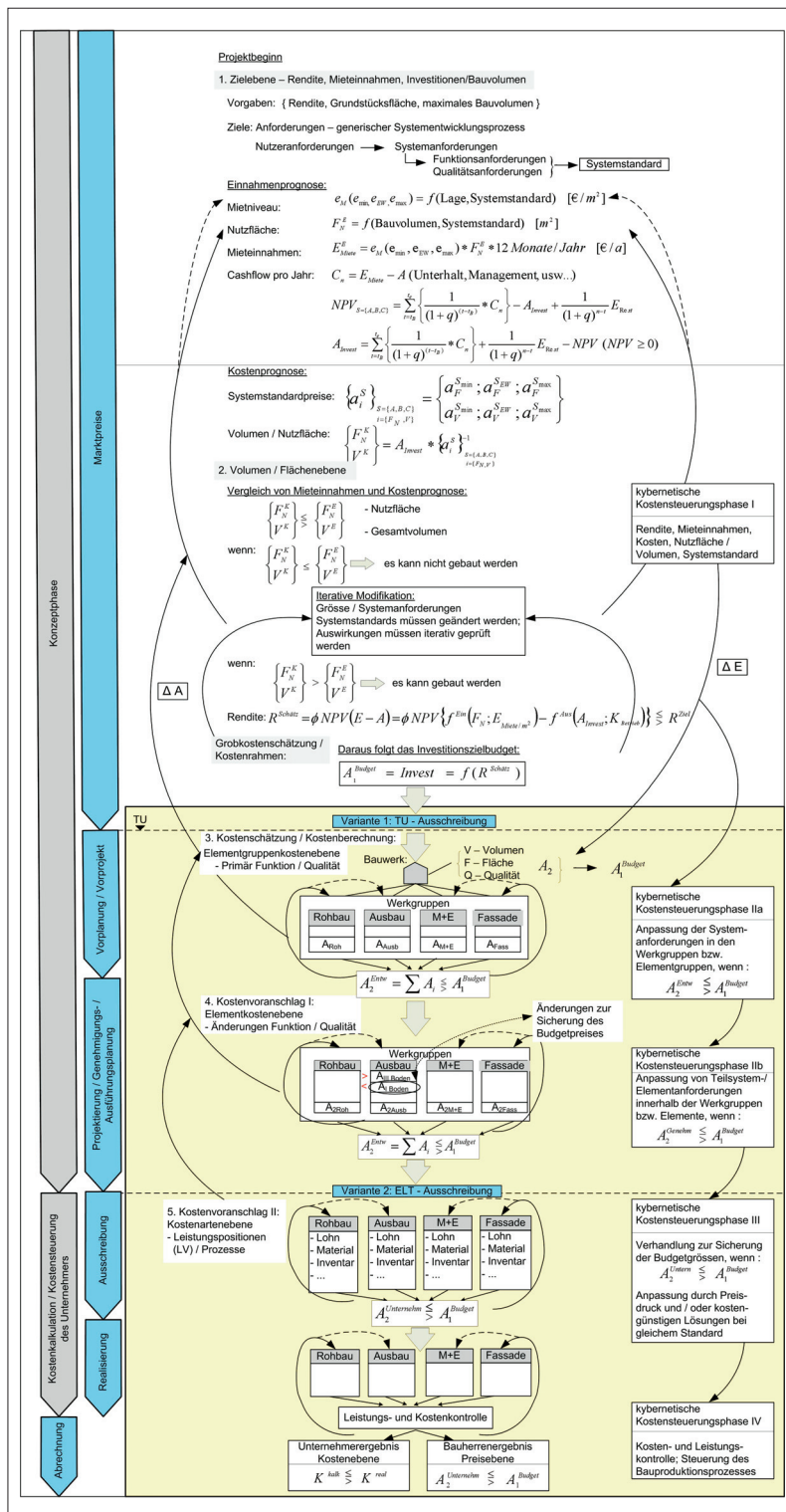


Bild 1. Holistisch kybernetisches Kostensteuerungsprozessmodell
Fig. 1. Holistic cybernetic cost control process model

mit einer Investitionsbudgetbandbreite von (Bild 3):

$$\{A_{\min}^{Budget,2}(F=0,4); A_{EW}^{Invest,A}(F=0,5); A_{\max}^{Budget,2}(F=0,6)\}$$

Im Vorplanungsprozess werden nun die Systemanforderungen $\{S^i\}$ für die einzelnen Gewerke auf Elementgruppenebene des Bauprojekts weiter detailliert. Dabei wird das Basisraumprogramm für jede Vorplanungsvariante aufgestellt, und die Raum- und Elementgruppenanforde-

rungen werden aus den Systemanforderungen herausgearbeitet. Aus den detaillierten Systemanforderungen der Vorplanung

$$\{S_{Vorpl}^i\} = \{(S_{Vorpl}^{Rohbau}); (S_{Vorpl}^{Ausbau}); (S_{Vorpl}^{M+E}); (S_{Vorpl}^{Fass}); (S_{Vorpl}^{Auss})\}$$

wird das Basisraumprogramm mit den Elementgruppenanforderungen entwickelt:

$$\{R_{Vorpl,i}^k\}_{k=1}^n = f\{S_{Vorpl}^i\}_{j=\{A,B,C\}}$$

k = Raumindex
j = Vorplanungsvarianten
i = Gewerke

Aus dem detaillierten Systemstandard $\{S_{Vorpl}^i\}$ und Basisraumprogramm $\{R_{Vorpl,i}^k\}_j$ der Entwurfsvarianten j werden am Ende der Vorplanungsperiode die Investitionskosten mittels Kostenschätzung/Kostenberechnung (Bild 2) auf Raumbasis oder möglichst schon auf Elementgruppen $\{\Phi^{Elementgr}\}$ der Gewerke-/Werkgruppen durchgeführt.

$$\{\Phi^{Elementgr}\} = \{\Phi^{Rohbau}; \Phi^{Ausbau}; \Phi^{M+E}; \dots\}_{Vorpl}$$

Ermittlung der Investitionskosten/Kostenschätzung/Kostenberechnung der Vorplanung auf der Basis der hauptgewerke- bzw. elementgruppenorientierten Flächenkosten:

$$A_{Vorpl,j,EW}^{Invest} = \{f_1\{S^i\} \wedge f_2\{\Phi^{Elementgr}\} \wedge f_3(F_N)\}_{Vorpl}$$

$$A_{Vorpl,j,EW}^{Invest} = \{f_1(S^{Rohbau}, S^{Ausbau}, S^{M+E}, S^{Fass}, S^{Aussen}) \wedge f_2((\Phi)^{Rohbau}, (\Phi)^{Ausbau}, (\Phi)^{M+E}, \dots) \wedge f_3(F_N)\}_{Vorpl}$$

$$A_{Vorpl,j,EW}^{Invest} = F\{A(S; \Phi)^{Rohbau}; A(S; \Phi)^{Ausbau}; A(S; \Phi)^{M+E}; A(S; \Phi)^{Fass}; A(S; \Phi)^{Aussen}\}$$

$$A_{Vorpl,j,EW}^{Invest} = \sum_{l_1} A_{Vorpl,l_1}^{Rohbau} + \sum_{l_2} A_{Vorpl,l_2}^{Ausbau} + \sum_{l_3} A_{Vorpl,l_3}^{M+E} + \sum_{l_4} A_{Vorpl,l_4}^{Fass} + \sum_{l_5} A_{Vorpl,l_5}^{Aussen} + \sum_{l_6} R_{Vorpl,l_6}$$

Ferner muss die Bedingung eingehalten werden, dass der Erwartungswert der budgetierten Investitionssumme der Basissystemvariante A nicht überschritten wird. Überschreitet jedoch die Vorplanungsvariante j die Investitionskosten der Basisvariante A:

$$A_{Vorpl,j,EW}^{Invest} > A_{EW}^{Invest,A}$$

so müssen in einem iterativen Kostensteuerungsprozess die Standards im Raumprogramm, basierend auf dem Systemstandard $\{S_{Vorpl}^i\}$, sowie die der Teilsysteme (wie Rohbau, Ausbau, HKL usw.) in den zulässigen Grenzen angepasst werden, so dass am Ende die Rendite nicht gefährdet wird. Dabei spielen das erzielbare Mietniveau der Entwurfsvariante sowie die Betriebskosten im Lebens- und Nutzungszyklus eine bedeutende steuernde Rolle. Ermittlung der Einsparungen/Korrekturkosten bei Überschreitung der Investitionsbudgetbandbreite:

$$\Delta A_{Vorpl,j,EW} = A_{EW}^{Invest,A} - A_{Vorpl,j,EW}^{Invest}$$

Die Einsparungen/Korrekturkosten müssen durch Entwurfsänderungen und Anpassungen erreicht werden, unter der Prämisse, dass Systemstandard und Flächenprogramm in den vorgegebenen Grenzen eingehalten werden müssen:

$$\Delta A_{Vorpl,j,EW} = f\left\{\Delta(S;\Phi)_j^{Rohbau}; \Delta(S;\Phi)_j^{Ausbau}; \Delta(S;\Phi)_j^{Fass}; \Delta(S;\Phi)_j^{Aussen}\right\}_{Vorpl}$$

$$\Delta A_{Vorpl,j,EW}(\Delta(S;\Phi)) = \left\{\Delta A_{Vorpl,j,EW}(\Delta(S;\Phi))\right\}$$

$$\Delta A_{Vorpl,j,EW} = \sum \Delta A_{m_1,EW}$$

für die gilt

$$m_1 = \left\{ \underset{\wedge}{Rohbau}; \underset{\wedge}{Ausbau}; \underset{\wedge}{M+E}; \underset{\wedge}{Fassade...}; \underset{\wedge}{R_j^k} \right\}$$

Die Entscheidung über die Variante j = {A, B, C ...}, die in der Genehmigungs- und Ausführungsplanung weiter verfolgt wird, wird aus einem Multikriterienkatalog, der projektspezifisch zu erstellen ist, gewählt. Die Vorplanungsvarianten, die in diesen Multikriterienverfahren zugelassen werden, müssen jedoch folgende Bedingung der kybernetischen Kostensteuerung erfüllen:

$$\tilde{A}_{Vorpl,j,EW}^{Invest} = \left\{ A_{Vorpl,j,EW}^{Invest} - \Delta A_{Vorpl,j,EW} \left\{ \Delta S^i; \Delta R^k \right\}_{j_1} \right\} \leq A_{EW}^{Invest,A}$$

Daraus ergibt sich, dass nur eine Untermenge der Varianten j = {A, B, C ...} die Bedingung der Kostensteuerung erfüllt. Somit gilt:

$$\{j_1\}_{j_1=\{X_1; X_2\}} \in \{j\}_{j=\{A,B,C...\}} \quad \text{Anzahl der Varianten}$$

Anzahl der Variante $j_1 \leq j$, da einige nicht das Budgetziel erreichen

Daraus folgen die Investitionskosten für die Varianten $j_1 = \{X_1; X_2; \dots\}$, die die Investitionsbudgetbandbreite einhalten:

$$\tilde{A}_{Vorpl,j_1,EW}^{Invest} = A_{Vorpl,j_1,EW}^{Invest} - \left\{ \Delta A_{Vorpl,j_1,EW} \mid \Delta A_{Vorpl,j_1,EW} = f\left(\Delta S^i; \Delta R^k\right) \begin{array}{l} i=\text{Gewerkegruppen} \\ k=\text{Raumprogramm} \end{array} \mid_{j=\{X_1; X_2; \dots\}} \right\} \leq A_{EW}^{Invest,A}$$

Die bedingungserfüllenden Varianten j_1 werden zur Ermittlung der Bestvariante, die in der Genehmigungs- und Ausführungsplanung ausgearbeitet wird, einer Multikriterien-Nutzwertanalyse unterzogen. Dies erfolgt nach [2] dem Prinzip des maximalen Nutzwerts; somit gilt:

$$NW_A = \text{Max}(NW_{j_1}) \mid_{j_1=\{X_1; X_2; \dots\}}$$

2.2 Genehmigungs- und Ausführungsphase – Kostenvoranschlag I

Die Genehmigungsplanung baut auf der selektierten Vorentwurfsvariante $j_1 = A$ mit dem höchsten Nutzwert (NW_A) auf, basierend auf den Systemanforderungen

$$\{S_A^i\} = \{S_A^{Rohbau}; S_A^{Ausbau}; S_A^{M+E}; S_A^{Fass}; S_A^{Aussen}; \dots\}$$

und dem Raumprogramm

$$\{R_A^k\} = \{R_A^{Infra}; R_A^{Allgem.}; R_A^{Nutz.}; \dots\}$$

Daraus werden nun im Kostenvoranschlag I (Bild 2) die Elementgruppenanforderungen der Gewerke Rohbau, HKL, Elektro, Ausbau etc. nach Qualität und Hauptmengen (Grobmengengerüst) entwickelt. Elementgruppenanforderungen aus Systemanforderungen und Raumprogramm:

$$\{\underline{\Phi}^{Elementgr}\}_A = f\left(S^{Rohbau}; S^{Ausbau}; S^{M+E}; S^{Fass}; S^{Aussen}; \dots\right)_A$$

Elementgruppen:

$$\{\underline{\Phi}^{Elementgr}\}_A = \left\{ (\underline{\Phi})^{Rohbau}; (\underline{\Phi})^{Ausbau}; (\underline{\Phi})^{M+E}; \dots \right\}_A$$

mit den Elementen der Elementgruppen:

$$(\underline{\Phi})^{Rohbau} = \left\{ (\underline{\Phi})^{Fund}; (\underline{\Phi})^{Wände}; (\underline{\Phi})^{Decken}; \dots \right\}$$

$$(\underline{\Phi})^{Ausbau} = \left\{ (\underline{\Phi})^{Fußboden}; (\underline{\Phi})^{Putz}; \dots \right\}$$

$$(\underline{\Phi})^{M+E} = \left\{ (\underline{\Phi})^{HKL}; (\underline{\Phi})^{Elektr.}; \dots \right\}$$

$$(\underline{\Phi})^{HKL} = \left\{ (\underline{\Phi})^{Heizanlage}; (\underline{\Phi})^{HKL-Steuerung}; (\underline{\Phi})^{HKL-Verteilung}; \dots \right\}$$

Die Investitionskosten (Bild 2) ergeben sich aus der finanziellen Bewertung der Elemente je Elementgruppe und nach Qualität und Hauptmengen mittels Preisdatenbanken:

$$A_{GP/AP,EW}^{Invest} = f(A^{Rohbau}(\Phi); A^{Ausbau}(\Phi); A^{M+E}(\Phi); R)$$

$$A_{GP/AP,EW}^{Invest} = A_{GP/AP,EW}^{Rohbau}(\Phi) + A_{GP/AP,EW}^{Ausbau}(\Phi) + \dots + \sum_{l_6} R_{l_6}$$

$$A_{GP/AP,EW}^{Invest} = \sum_{m_1} A_{m_1}^{Rohbau}(\varphi^{m_1}) + \sum_{m_2} A_{m_2}^{Ausbau}(\varphi^{m_2}) + \sum_{m_3} A_{m_3}^{HKL}(\varphi^{m_3}) + \sum_{m_4} A_{m_4}^E(\varphi^{m_4}) + \dots + \sum_{l_6} R_{l_6}$$

Ist die Kostensteuerungsbedingung nicht erfüllt, müssen Korrekturmassnahmen im Genehmigungsentwurf (GP) oder auch in der darauffolgenden Ausführungsplanung (AP) durchgeführt werden. Zuerst werden Elemente und Qualitätsanforderungen reduziert oder gestrichen, die zur Gruppe "nice to have but not really needed" gehören; dann werden weitere Reduzierungen vorgenommen, die noch in der Bandbreite der Systemanforderungen liegen, ohne den Mietwert/die Rendite zu schmälern. Bei einer Überschreitung der Investitionskosten in der Genehmigungs- und/oder Ausführungsplanung:

$$A_{GP/AP,EW}^{Invest} > A_{EW}^{Invest,A}$$

beträgt die erforderliche Kostenreduzierung:

$$\Delta A_{GP/AP,i,EW} = A_{EW}^{Invest,A} - A_{GP/AP,EW}^{Invest}$$

Die Einsparung/Kostenreduzierung erfolgt in verschiedenen Iterationsstufen *i* der Konkretisierung der Genehmigungs- und Ausführungsplanung:

$$\Delta A_{GP/AP,i,EW}^{Invest}(\Delta \Phi^{Elementgr}) = f(\Delta \Phi^{Rohbau}; \Delta \Phi^{Ausbau}; \Delta \Phi^{M+E}; \dots)_i$$

$\Delta \Phi$ – Änderung der Anzahl, Art und Qualität der Elementgruppen und Elemente

i – Iterationsstufen der Planungsanpassungen
Bedingung:

$$\left\{ \tilde{\Phi}_{GP/AP}^{Elementgr} \right\}_i = \left\{ \tilde{\Phi}_{GP/AP}^{Elementgr} \left| \tilde{\Phi}_{GP/AP}^{Elementgr} = \Phi_{GP/AP}^{Elementgr} - \Delta \Phi_{GP/AP}^{Elementgr} \right. \right. \\ \left. \left. \text{muss} \left\{ S^j; R^k \right\} \right|_{\min}^{\max} \text{erfüllen} \right\}_i$$

Die Anpassungen durchlaufen iterativ die Genehmigungs- und Ausführungsplanung in *i* = 1 bis *n* Iterationsdurchläufen, in denen alle Einsparungen in den Gewerkegruppen/Elementgruppen mit den Elementen *j*₂ wie folgt zusammengefasst werden:

$$\Delta A_{GP/AP,i,EW}^{Invest}(\Delta(S; \Phi)) \Big|_{i=1}^n = \sum_{j_2} \Delta A_{j_2,EW}^i \Big|_{i=1}^n$$

$$\tilde{A}_{GP/AP,EW}^{Invest} = A_{GP/AP,EW}^{Invest} - \Delta A_{GP/AP,i,EW}^{Invest}(\Delta(S; \Phi)) \Big|_{i=1}^n \leq A_{EW}^{Invest,A}$$

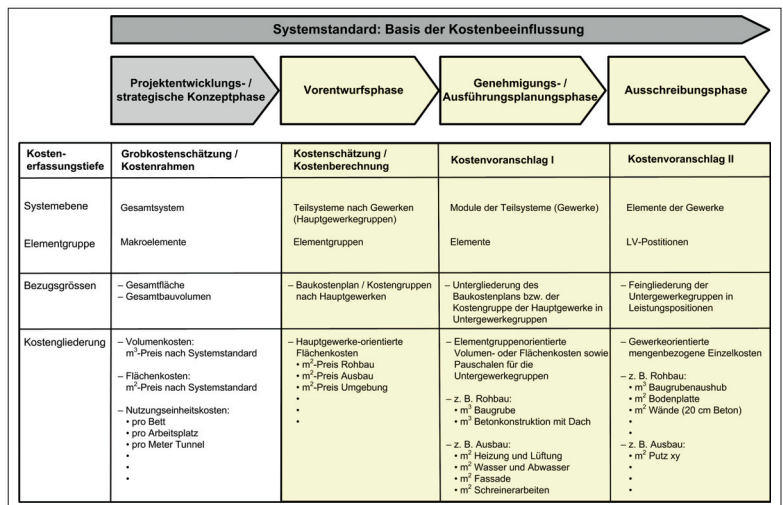


Bild 2. Kybernetischer Kostenstrukturplan
Fig. 2. Cybernetic cost structure schedule

In der Genehmigungs- und Ausführungsplanung werden die einzelnen Elemente gegenüber ihrer primären Entwurfsdefinition iterativ angepasst, und somit wird zur Sicherung des Investitionszielbudgets $A_{GP/AP,EW}^{Invest,A}$ der veranschlagte Preis der Genehmigungsplanung $A_{GP/AP,EW}^{Invest}$ sukzessiv optimiert. Nach der Genehmigung müssen mögliche Auflagen bei der Ausführungsplanung beachtet und inhaltlich wie kostenmässig berücksichtigt werden. Erhöhen sich dadurch die Kosten, müssen Entwurfsanpassungen vorgenommen werden, die die Genehmigung und Genehmigungsaufgaben nicht berühren. Die iterative Anpassung $\Delta A_{AP,i}$ der Ausführungsplanung muss möglicherweise fortgesetzt werden. Gleichzeitig wird das Leistungsverzeichnis auf der Basis der Elementgruppen und Elemente (Bild 2) qualitativ wie quantitativ vervollständigt. Im Rahmen des elementgruppen-/gewerkestrukturierten Leistungsverzeichnisses wird die Kostenberechnung nachgeführt. Dabei sind mögliche Risiken (*R*_i) in den Gewerken kostenmässig zu bewerten und zu berücksichtigen. Konzepte einer solchen Risikoanalyse und deren gewerkemässige Berücksichtigung sind bei [3] zu finden. Aufgrund der detaillierten Leistungsbeschreibung für die Gewerke als Grundlage der Gewerkeausschreibung bei Einzelvergabe durch den Bauherrn oder Totalunternehmer (TU) können die voraussichtlichen Vergabekosten bzw. die voraussichtlichen Investitionskosten $A_{AP,EW}^{Invest}$ aufgrund von Preiskatalogen [4], [5], [6] ermittelt werden.

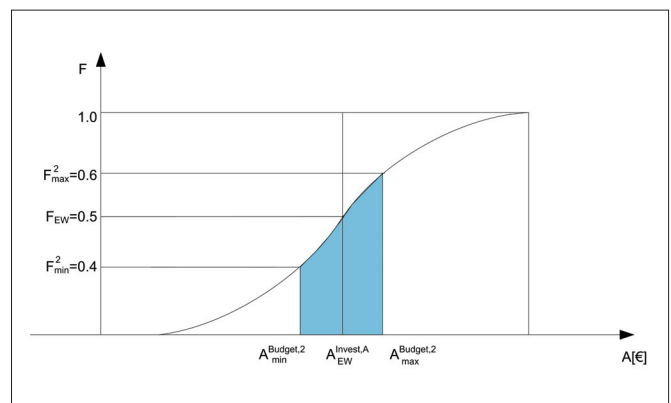


Bild 3. Probabilistisch kumulativ verteiltes Investitionsvolumen und Intervalleinengung nach der Vorplanung
Fig. 3. Cumulative distributed investment volume and narrowing of interval after predesign

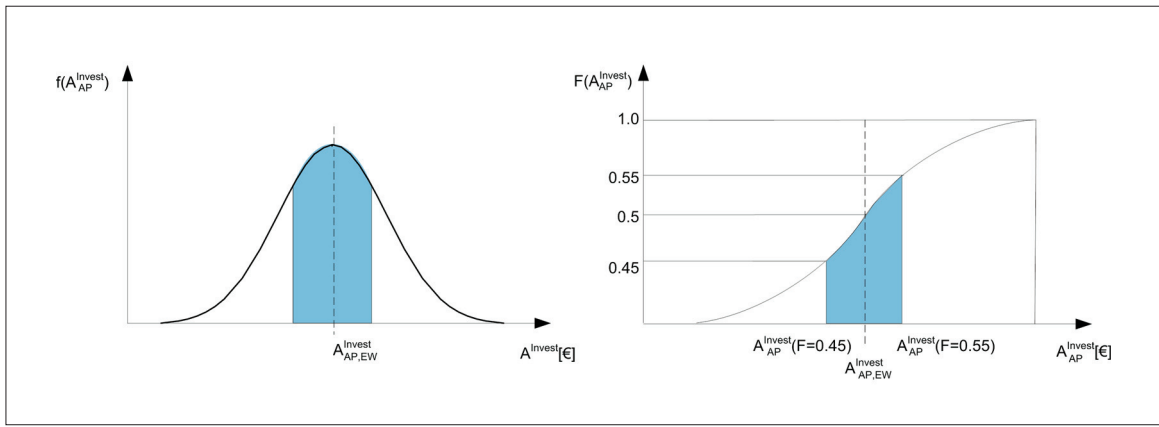


Bild 4. Einengung des Investitionsintervalls nach der Ausführungsplanung durch Konkretisierung der Leistung im LV nach Inhalt und Mengen
 Fig. 4. Width of investment interval after working design and detailed specification

Vor der Ausschreibungsphase erfolgt der Kostenvoranschlag II (Bild 2) des Bauherrn auf der Basis der LV-Positionen (Elemente) mit vergangenheitsbezogenen Einheitspreisen ausgeführter Projekte. Somit muss die Elementgruppengliederung wie folgt in die Elemente der Leistungspositionen untergliedert werden:

$$\{\Phi^{Elementgr}\} = \{(\Phi)^{Rohbau}; (\Phi)^{Ausbau}; (\Phi)^{M+E}; \dots\}$$

$$(\Phi)^{Rohbau} = \{\varphi_{Baugrube}^{RB}; \varphi_{Baugr-Verbau}^{RB}; \varphi_{Bodenplatte}^{RB}; \dots\}$$

$$(\Phi)^{Ausbau} = \{\varphi_{BodenbelagA}^{AB}; \varphi_{BodenbelagB}^{AB}; \varphi_{Putz}^{AB}; \dots\}$$

$$(\Phi)^{HKL} = \{\varphi_{Heizungsrohr\phi_1}^{HKL}; \dots; \varphi_{Heizungskessel}^{HKL}; \dots\}$$

Die Kostenanalyse und der kybernetische Kostensteuerungsprozess verlaufen wie bei den Elementgruppen gezeigt. Damit erhält man Budgetgrößen für Elementgruppen bzw. Gewerkegruppen zur Analyse und Steuerung der Vergabe:

$$A_{AP,EW}^{Invest} = A_{AP,EW}^{Budget} + A_{Soll,EW}^{Rohbau} + A_{Soll,EW}^{Ausbau} + A_{Soll,EW}^{HKL} + A_{Soll,EW}^{Fass}$$

Dies führt nach der Ausführungsplanung zu Beginn der Ausschreibung zu einem Investitionsbudgetintervall von $[A_{AP}^{Invest}(F=0,45); A_{AP,EW}^{Invest}(F=0,5); A_{AP}^{Invest}(F=0,55)]$ mit Abweichungen von $\Delta = \pm 5\%$ (Bild 4).

2.3 Ausschreibungs- und Vergabephase – Kostenvoranschlag II

In der Ausschreibungs- und Vergabephase entsteht ein Paradigmawechsel in der Kostensteuerung. Bis zu diesem Zeitpunkt wurden die finanziellen Rahmenbedingungen und die Kosten aufgrund von retrospektiven Erfahrungsgrößen des Marktes, die in den folgenden Detaillierungsgraden gemäß den Kostensteuerungsphasen angewendet werden, prognostiziert:

- Grobkostenschätzung/Kostenrahmen
 m^2 -/ m^3 -Preis – retrospektive Bauvolumenpreise nach Systemstandard
- Kostenschätzung/Kostenberechnung
 m^2 -/ m^3 -Preis – retrospektive Bauvolumenpreise nach Raumstandard für Elementgruppen

- Kostenvoranschlag I
 $St\ddot{u}ck$ -/ m -/ m^2 -/ m^3 -Preis – retrospektive Bauelementpreise, detailliert nach Bauelementen
 In der Vergabephase erhält man die Antwort des Marktes:

- Kostenvoranschlag II
 $St\ddot{u}ck$ -/ m -/ m^2 -/ m^3 -Preis – gegenwartsbezogene LV-Positionspreise aufgrund der Wettbewerbsbedingungen
 Durch die Angebote der Unternehmen wird die Kostensteuerung direkt durch Dritte im Wettbewerb, also außerhalb der Beeinflussungssphäre des Bauherrn und Projektsteuerers, bestimmt. In dieser Projektphase zeigt sich, wie kompetent und marktorientiert die Kostensteuerung bezüglich der Bauproduktionskosten und des Marktpreises in den immateriellen Planungsphasen war.

Im Regelfall erfolgt die Ausschreibung gewerkeweise funktional oder mit detailliertem Leistungsverzeichnis in der Struktur, wie sie in der gesamten Kostensteuerung angelegt wurde (Bild 1).

Der Totalunternehmer, der Generalunternehmer oder der Gewerkeunternehmer bei Einzelleistungsausschreibung wird nach dem ökonomischen Minimalprinzip aufgrund des definierten Nutzens in den LV-Positionen bei vergleichbarer Leistungsfähigkeit der Unternehmen ausgewählt.

$$P_0^{ges}(\Phi) = \text{Min}\{P_i^{ges}(\Phi)\}_{i=1}^n$$

$$P_0^{ges}(\Phi) = P_0^{Rohbau}(\Phi) + P_0^{Ausbau}(\Phi) + P_0^{M+E}(\Phi) + P_0^{Fass}(\Phi) + P_0^{Aussen}(\Phi) + R$$

- i = eingereichte Angebote
- $P_i^{ges}(\Phi)$ = Preise des eingereichten Angebots des Unternehmens i
- $P_0^{ges}(\Phi)$ = Minimalpreis des ausgewählten Unternehmens

Die Budget-Bedingung muss erfüllt sein:

$$A_{AP,EW}^{Invest} \geq P_0^{ges}(\Phi) \text{ oder } A_{AP,min}^{Invest} \leq P_0^{ges}(\Phi) \leq A_{AP,max}^{Invest}$$

Wenn diese Budget-Bedingung bzw. das Intervall nicht eingehalten wird, sind Steuerungsmaßnahmen einzuleiten, um eine detaillierte Übersicht über die Budgetüberschreitungen zu erhalten. Daher werden die Gewerkebudgets mit den Angebotspreisen auf Niveau der Einzelleistungen wie folgt analysiert:

$$A_{Soll,EW}^{Rohbau}(\Phi) \geq P_0^{Rohbau}(\Phi)$$

$$A_{Soll,EW}^{Ausbau}(\Phi) \geq P_0^{Ausbau}(\Phi) \text{ usw.}$$

Zur Erzielung des Vergabepreises gleich oder kleiner den Budgetpreisen für die Gewerke können private Bauherren im Verhandlungsverfahren mit dem Unternehmer die Leistungen unter Beachtung des Systemanforderungsintervalls anpassen bzw. Preisreduktionen (ΔP) aushandeln. Dies kann nach folgendem Algorithmus erfolgen:

$$A_{AP/EW}^{Budget} \geq P_1^{ges}(\tilde{S}^i; \tilde{\Phi})$$

$$A_{AP/EW}^{Budget} \geq \left\{ P_1^{ges}(\tilde{S}^i; \tilde{\Phi}) \middle| P_1^{ges}(\tilde{S}^i; \tilde{\Phi}) = P_0^{ges}(S^i; \Phi) - \left[\Delta P(\Delta(S^i; \Phi)) \middle| \Delta P(\Delta(S^i; \Phi)) \right] = \Delta P^{Rohbau}(\Delta(S^i; \Phi)) \wedge \Delta P^{Ausbau}(\Delta(S^i; \Phi)) \wedge \Delta P^{M+E}(\Delta(S^i; \Phi)) \wedge \dots \wedge \Delta P^{Aussen}(\Delta(S^i; \Phi)) \right\}$$

Für öffentliche Bauherren ist diese Preisanpassungsmethode aus rechtlichen Gründen nicht möglich.

Überschreitet der Preis P_{EW} den Erwartungswert des Budgetrahmens $A_{EW}^{Invest,A}$ immer noch, muss geprüft werden, ob er das ursprüngliche Investitionsintervall $\{A_{min}^{Invest,A}, A_{max}^{Invest}\}$ überschreitet. Wird das ursprüngliche Investitionsintervall auch überschritten, muss geprüft werden, was eine Umplanung mit Neuausschreibung kostet. Ist jedoch die Größenordnung der Investitionsbudgetüberschreitung so groß, dass die Rendite nicht mehr erreicht werden kann, ist ein Projektabbruch zwar peinlich, aber sinnvoll.

2.4 Bauphase – Kostensteuerung des Bauherrn bzw. TU

Nach der Vergabephase ist der Handlungsspielraum des Bauherrn für eine aktive Kostensteuerung durch den Bauvertrag weithin eingeschränkt bzw. strukturiert. Ziel der Kostensteuerung des Bauherrn in der Bauphase ist die Verfolgung der Gewerkebudgets und die Steuerung der Nachträge (Bild 1) [7]. Besonderes Augenmerk ist auf die Prüfung der erbrachten Leistung und der Qualität sowie die darauf aufgebauten Zwischenrechnungen zu richten. Auf der Basis der Zwischenrechnungen und der gerechtfertigten Nachträge sind die entsprechenden Prognosen der Gesamtbaukosten zu stellen und mit dem Budget zu vergleichen. Aufbauend auf diesen Prognosen lassen sich finanzielle Notfallpläne erstellen, um die Mittel zur Fertigstellung zu sichern. Die finanziellen Notfallpläne sollten durch die prognostizierten Risikorückstellungen R_i der Ausführungsplanungsphase gedeckt werden.

Nach der Vergabe wird der Vergabepreis bzw. das Budgetziel des Bauherrn während der Bauphase nur durch Nachträge gefährdet. Die Weichenstellung für eine nachtragsarme Ausführung liegt in einer vollständigen, möglichst widerspruchsfreien Planung und einer darauf aufbauenden, möglichst umfassenden robusten Ausschreibung. Ferner ist eine robuste, strenge Koordinierung der Gewerke während der Ausführungsphase notwendig.

Zur Sicherstellung der Koordination ist es erforderlich, Unternehmer nicht nur nach dem Preis, sondern auch nach ihrer finanziellen und bauproduktionstechnischen Kapazität und ihren Problemlösungsfähigkeiten auszuwählen. Nach Girmscheid und Busch [8] liegen die Risiken für Nachträge in den folgenden Schwerpunktbereichen:

$$R_{total,EW}^{Nachtr} = f(\text{Bestelländerungen/Vollständigkeitsmängel/Mengenanpassungen/.../Koordinierungsfehler})$$

Nachträge haben ihren Ursprung hauptsächlich in der Ausschreibungsphase und können durch folgende Risikokostenfunktionen ausgedrückt werden [3]:

$$R_{EW}^{Best-Änder} = f(\text{robuste Ausschreibung/klare Planung})$$

$$R_{EW}^{Mengen} = f(\text{robuste/genauere Mengenermittlung/Ausschreibungsmethode})$$

$$R_{EW}^{Vollst} = f(\text{robuste/vollständige Planung/Ausschreibungsmethode})$$

In der Bauphase behindern Unternehmen sich aufgrund von Koordinierungsproblemen des Bauherrn, die durch folgende Risikofunktion ausgedrückt werden können, oft gegenseitig [3]:

$$R^{Koord} = f(\text{Projektabwicklungsform/professionelle Koordinierung})$$

Die Gesamtnachträge, die das Kostenziel gefährden, können wie folgt zusammengefasst werden:

$$R_{total,EW}^{Nachtr} = R_{EW}^{Bestell-Änder} + R_{EW}^{Mengen} + R_{EW}^{Vollst} + R_{EW}^{Koord}$$

Die Verfolgung der Gewerkebudgets ist die Hauptaufgabe der bauherrenseitigen Kostensteuerung in der Bauphase. Dabei müssen die Nachträge allgemein und gewerkeweise gezielt gemanagt und gesteuert werden [7]. Somit gilt die Zielbedingung:

$$A_{Ist,EW,t}^i(\Phi) \leq A_{Soll,EW,t}^i(\Phi) + R_i^i$$

für $i = \{i = \text{Rohbau} \vee i = \text{Ausbau} \vee i = \text{HKL} \vee i = \text{Fassade} \dots\}$

Somit wird:

$$A_{Ist,EW}^{Preis} = P_1^{Rohbau}(\Phi) + P_1^{Ausbau}(\Phi) + P_1^{HKL}(\Phi) + P_1^{Fass}(\Phi) + R_{total,EW}^{Nachtr} \leq \left(A_{EW}^{Invest,A} \vee A_{AP,EW}^{Budget} \right)$$

bzw. die Ist-Ausgaben des Bauherrn sollten in folgenden Intervallen bleiben:

$$\left(A_{AP,min}^{Invest}; A_{AP,max}^{Invest} \right) \leq A_{Ist}^{Preis} \leq \left(A_{min}^{Invest,A}; A_{max}^{Invest,A} \right)$$

Die Koordinierung der Baumaßnahmen vor Ort hat den letzten entscheidenden Einfluss auf die Einhaltung der Budgetvorgaben und damit auf die Zielerreichung der angestrebten nachhaltigen Rendite der baulichen Anlage.

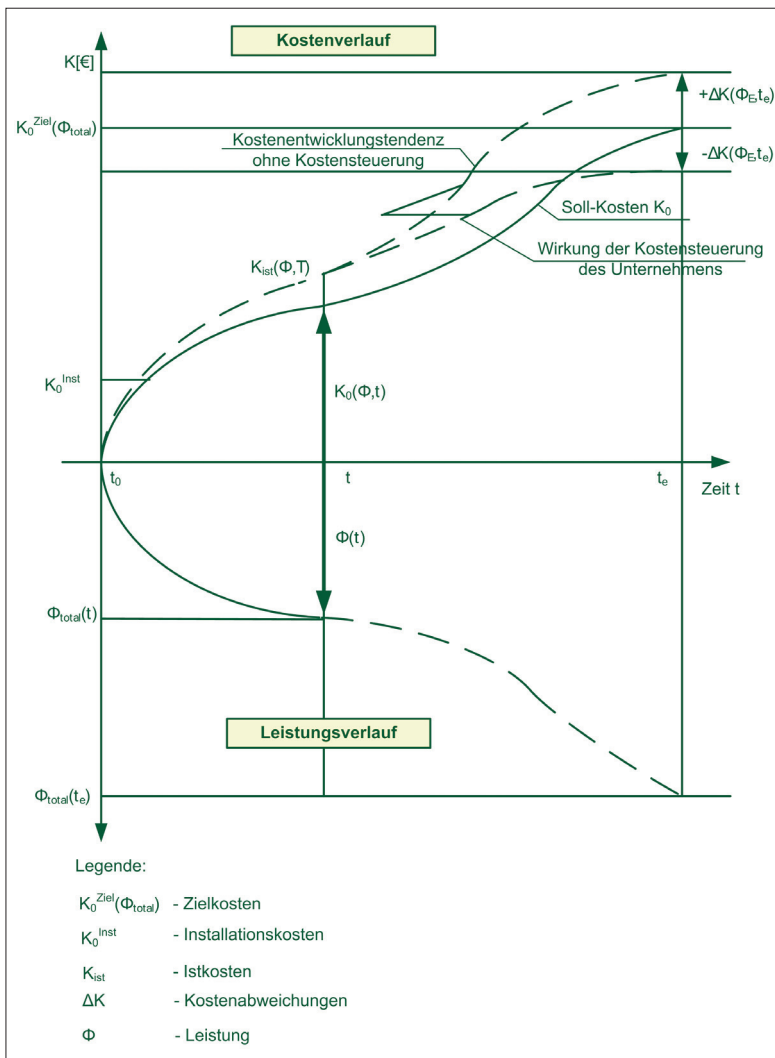


Bild 5. Wirkung der Leistungs- und Kostensteuerung des Unternehmers
 Fig. 5. Effects of performance and cost control for the construction firms

2.5 Bauphase – Kostensteuerung des Unternehmers im Bauproduktionsprozess

Die Kostensteuerung des Unternehmers ist im Bauprojekt gewinnorientiert und konzentriert sich auf die indirekten und direkten Kosten der Bauproduktion der jeweilige Gewerke sowie der Kostenarten (Lohn, Material, Geräte, Subunternehmer sowie Allgeminkosten) der Bauproduktionskosten je Leistungsposition des LV. Der Preis des Unternehmers für das Gewerk oder die Gewerke setzt sich wie folgt zusammen:

$$P_i^i = G_{1,EW}^i + K_{1,EW}^i$$

$G_{1,EW}^i$ - Zielgewinn

$$K_{1,EW}^i = \left\{ K_{fix}^{Allgem} + K_{fix}^{Inst}(\Omega, t) + K^{Mat}(M) + K^{Lohn}(t) + K^{Inv}(\Omega, t) + K^{Sub}(t) \right\} \Big|_{t_0}^{t_e}$$

$$K^{Lohn}(t) = \left(K^{allg.Lohn}(t) \right) + K^{Direkt.Lohn}(t) \Big|_{t_0}^{t_e} = f(n_i * k_i * t_i)$$

n_i – Anzahl der Beschäftigten
 k_i – Stunden/Monatslohnkosten
 t_i – Einsatzzeit
 M – Menge

$$K^{Inv}(\Omega, t) = \sum_{n_1} k_{n_1}^t(\Omega) * t_{n_1} \Big|_{t_{n_1}=0}^{t_{n_1}=t_e}$$

n_1 – Anzahl der Geräte Ω_{n_1}
 $k_{n_1}(\Omega)$ – Mietkosten der Geräte Ω_{n_1}
 t_{n_1} – Einsatzzeit der Geräte Ω_{n_1}

$$K^{Mat} = \sum_{n_2} k(M_{at,n_2}) * M_{n_2}$$

n_2 – Anzahl der verschiedenen Materialien M_{at}
 $k(M_{at,n_2})$ – Einheitskosten der Materialien M_{at}
 M_{n_2} – Mengen der Materialien M_{at,n_2}

$$K^{Sub} = f(P_i^{Sub, fest}; \Delta P_i^{Sub, Nachtr})$$

$P_i^{Sub, fest}$ – Leistungspreis für Subleistungen
 $\Delta P_i^{Sub, Nachtr}$ – Nachtragspreis für Subleistungen

Der Preis des Unternehmers kann sich aufgrund genehmigter Nachträge verändern:

$$\Delta P_i^{Nachtr} \stackrel{!}{=} R_{total,EW}^{Nachtr}$$

Die Nachträge sollten in der Risikobandbreite des Bauherrn liegen.

Ist-Gewinn:

$$G^{Ist} = G_{1,EW} \pm \Delta K(\Phi; T)$$

$\Delta K(\Phi; T)$ – Gewinn durch höhere Effizienz für die Leistung/Elementherstellung Φ mit dem verbundenen Zeitgewinn zur Einsparung von

- Lohn- und Gerätekosten oder Verlust (Bild 5). Die zielorientierte Kostensteuerung des Unternehmers kann über folgende Parameter gesteuert werden (Bild 5):
- Planung des Produktionsprozesses mit Sollvorgaben (top down)
 - Leistungserhöhung/-verbesserung der Arbeitsteams und des Geräteeinsatzes durch kontinuierlichen Verbesserungsprozess (bottom up), wöchentlich
 - Veränderung bei den Leistungsgeräten, z. B.
 - Ersatz durch ein störungsfreies Gerät
 - Ersatz durch ein leistungsfähigeres Gerät
 - Erhöhung der Bewegungsgeschwindigkeit der Geräte durch optimale Nutzung der geometrischen operativen Betriebsverhältnisse
 - Reduzierung von nicht wertschöpfenden Aktivitäten wie z. B. Materialsuche, Warten auf Geräte etc.
 - Verbesserung der Logistik (Bereitstellung/Transport/Lager/Identifizierung etc.)
 - verbesserte Leistungskontrolle und kontinuierliche Verbesserung (KVP)
- Ziel der Steuerung muss es sein, den top down geplanten Bauproduktionsprozess durch einen gezielten begleitenden kontinuierlichen Verbesserungsprozess (KVP) (bottom up) zu verbessern, um geringere Kosten bei gleicher Wertschöpfung zu erzielen, denn im Normalfall ist der Nutzen einer Bauaufgabe in der Produktionsphase durch Ausführungs-

pläne und Leistungsbeschreibung klar definiert. Dadurch ist der zu erzielende Nutzen klar definiert und für die Bauproduktion invariant. Somit gilt für die Kostensteuerung in der Bauproduktion das **ökonomische Minimalprinzip**.

Die Kostensteuerung eines Unternehmens ist zwar weitgehend losgelöst von der des Bauherrn, jedoch ist sie integraler Bestandteil des Bauprozesses. Die Verbindung zur Kostensteuerung des Bauherrn besteht in der Vorgabe des vertraglichen Bausolls (Nutzelement) und dem vereinbarten Baupreis P , der sich nach diesem Konzept im Budgetrahmen A^{Invest} des Bauherrn bewegen muss. Mögliche Nachträge bilden die weitere Schnittstelle. Bei Totalunternehmen ist die Bauprozesssteuerung holistischer Bestandteil der Kostensteuerung bis zur Übergabe zum definierten Preis.

3 Fazit

Das vorliegende mathematische Modell bildet die probabilistische Kostensteuerung holistisch über den gesamten Bauprozess ab. Dabei erfolgt die Kostensteuerung basierend auf der lebenszyklusorientierten Investitionsentscheidung [1]. Ausgehend vom Mietniveau und dem dazugehörigen Systemstandard sowie Standort wird das bauliche System auf der Renditeerwartung über den Lebenszyklus entwickelt. Durch die kybernetische Kostensteuerung in den Projektphasen werden die immateriellen Realkosten immer wieder mit den Zielkosten verglichen. Damit wird sichergestellt, dass die anvisierte Zielrendite nicht schon in der Planungsphase gefährdet wird und die Realkosten in der Realisierungsphase nicht die Zielkosten gefährden. Somit bleibt für die bauliche Anlage nur noch das Marktrisiko, da die Investitionsrisiken konsequent gesteuert werden. Zu beachten ist, dass alle Prognosen eine Intervallbreite, z.B. bei dem Investitionsbudget, und eine probabilistische Verteilung aufweisen.

In diesem Modell wurde der Fall der Investitionskostenüberschreitung um ΔA mit einer einhergehenden Mietpreissteigerung ΔE (Bild 1), die eine gleiche oder höhere Rendite erzielt, nicht berücksichtigt. Diese Erweiterung ist mit diesem Modell durch iterative Wiederholung in der Konzeptphase möglich.

Literatur

- [1] *Girmscheid, G.*: Holistisches, kybernetisches Kostensteuerungsprozessmodell – Projektentwicklungsphase, In: Bauingenieur, Band 82, H. 11/2007, S. 495-503
- [2] *Girmscheid, G.*: Projektabwicklung in der Bauwirtschaft, Springer Verlag, Berlin, 2007
- [3] *Girmscheid, G.; Motzko, Ch.*: Kalkulation und Preisbildung in Bauunternehmen – Grundlagen, Methodik und Organisation, Springer Verlag, Berlin/Heidelberg, 2007
- [4] Baukostenkennwerte-Katalog BKK, CRB Schweizerische Zentralstelle für Baurationalisierung, Zürich, 2007
- [5] Standard-Analysen SBV – Hochbau/Tiefbau, Schweizerischer Baumeisterverband, Zürich, 2006
- [6] *Meyer-Meierling, P.*: BKKS 2.0 Baukosten-Kennzahlensystem – Budgetplanung für Neubauten und Erneuerungen, Benutzerhandbuch, Professur für Architektur und Baurealisation ETH Zürich und VZ VermögensZentrum, Zürich, 2002
- [7] *Girmscheid, G.*: Faires Nachtragsmanagement – Leitfaden für Bauunternehmen und Bauherren, h.e.p. Verlag AG, Bern, 2003
- [8] *Girmscheid, G.; Busch, Th.*: Risikomanagement in Bauunternehmen – Projektrisikomanagement, Bauwerk Verlag, Berlin, 2007