

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b> .....	5
<b>1 Grundlagen der Kostenschätzungen</b> .....	11
1.1 Aufgaben und Ziele von Cost Estimates .....	11
1.2 Wesentliche Begrifflichkeiten bei Cost Estimates .....	12
<b>2 Kostenschätzungen in den Projektphasen</b> .....	13
2.1 FEL-1: Appraise (Feasibility) .....	14
2.2 FEL-2: Select (Concept) .....	14
2.3 FEL-3: Define (Front End Engineering Design (FEED)) .....	15
2.4 Execute .....	15
2.5 Operate .....	15
2.6 Entwicklung der Kosten in Abhängigkeit der Projektphasen .....	15
<b>3 Kostenschätzungstypen bzw. -klassen</b> .....	17
3.1 $\pm 50\%$ Cost Estimates (Class 5) .....	17
3.2 $\pm 30\%$ Cost Estimates (Class 4) .....	17
3.3 $\pm 10\%$ Cost Estimates (Class 2) .....	17
<b>4 Kostenschätzungsmethoden</b> .....	19
4.1 Factorised Cost Estimates .....	19
4.1.1 Lang-Factor .....	19
4.1.2 Hand-Factor .....	20
4.1.3 Checkliste für Factorised Cost Estimates .....	21
4.2 Cost Estimates basierend auf vergleichbaren Projekten .....	21
4.3 Material-Take-Off(MTO)-basierende Cost Estimates .....	22
4.3.1 Aufbau und Vorgehen .....	22
4.3.1.1 MTO für Equipment .....	23
4.3.1.2 MTO für Bauwesen (Civil & Steel) .....	23
4.3.1.3 MTO für Rohrleitungsbau (Piping) .....	25
4.3.1.4 MTO für EMSR (Elektrik, Messen, Steuern und Regeln) ...	27
4.3.1.5 MTO für Isolierung und Anstrich .....	29
4.3.1.6 MTO für Baustelleneinrichtung (Temporary Facilities) .....	30
4.4 Factorised Cost Estimates versus MTO-basierte Cost Estimates .....	31
4.5 Typische Unzulänglichkeiten von Cost Estimates .....	31
<b>5 Aufbau von Cost Estimates</b> .....	33
5.1 Estimating-Plan .....	33
5.2 Basis of Estimate .....	34
5.3 Cost Estimate «Summary» und «Details» .....	35
5.3.1 Cost Estimate Summary .....	35
5.3.2 Cost Estimate Details .....	41
5.4 Key-Quantities .....	41
5.5 Die verschiedenen Kostenarten (CAPEX und OPEX) .....	44

<b>6</b>	<b>Signifikante Bestandteile einer Kostenschätzung</b> .....	45
<b>7</b>	<b>Bestimmung der Engineering-Kosten</b> .....	51
<b>8</b>	<b>Bestimmung der Procurement-Kosten</b> .....	55
8.1	Bestimmung der Equipment-Kosten .....	55
8.1.1	Six Tenths Factor .....	55
8.1.2	Behälterkosten über das Gewicht in Abhängigkeit des Materials abschätzen .....	56
8.1.3	Wärmetauscherkosten über die Wärmeübertragungsfläche in Abhängigkeit des Materials abschätzen .....	59
8.1.4	Kolonnenkosten über das Gewicht in Abhängigkeit des Materials abschätzen .....	62
8.1.5	Pumpenkosten über die Motorleistung in Abhängigkeit des Materials abschätzen .....	66
8.2	Bestimmung der Bulk-Materialkosten .....	70
8.2.1	Rohrleitungsmaterial .....	70
8.2.2	E-Technikmaterial .....	71
8.2.3	Instrumentierungsmaterial (MSR-Material) .....	71
8.3	Übersicht der Materialkorrekturfaktoren .....	72
<b>9</b>	<b>Bestimmung der Construction-Kosten</b> .....	73
9.1	Mechanical Installation von Equipment .....	73
9.2	Bulk-Material-Installation .....	74
9.2.1	Die verschiedenen Piping-Faktoren .....	74
9.2.1.1	DACE .....	74
9.2.1.2	Lindeliste .....	79
9.2.2	E-Technik und MSR-Installation .....	79
9.2.3	Lieferung und Montage .....	80
9.3	Zusammenfassung .....	81
<b>10</b>	<b>Miscellaneous</b> .....	83
10.1	Construction Management .....	83
10.2	Indirekte Kosten .....	83
10.3	Completion-Phase .....	84
10.4	Allowances (Zuschläge) .....	84
10.5	Escalation .....	85
10.6	Contingency (Unvorhergesehenes) .....	88
<b>11</b>	<b>Beispiele</b> .....	89
11.1	Kostenermittlung anhand dieses Handbuches .....	90
11.1.1	±50% Cost Estimate .....	90
11.1.2	±30% Cost Estimate .....	95
11.1.3	Cost-Estimate-Vergleich .....	103
11.2	Softwarebasierte Abschätzung mit Aspen .....	103
<b>12</b>	<b>Benchmarking</b> .....	109
12.1	Definition .....	109

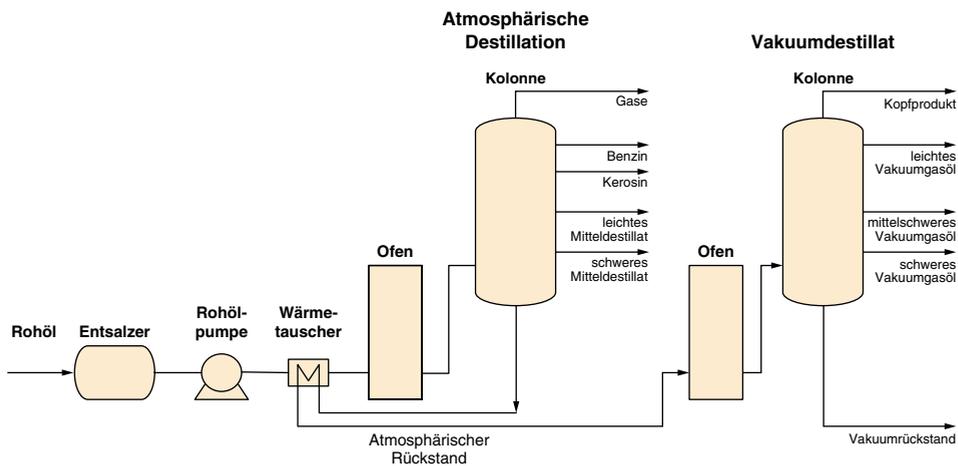
12.2	Engineering, Projektkosten und Terminplan .....	110
12.3	Externe Dienstleister .....	110
12.4	Projektbenchmarking .....	110
12.5	Ableitung eines Materialbenchmarkingkoeffizienten .....	111
12.5.1	Materialbenchmarkingkoeffizient und Lang-Factor .....	111
12.5.2	Bestimmung der Materialkosten und der Gesamtkosten .....	112
12.5.3	Interpretation des Materialbenchmarkingkoeffizienten .....	112
12.5.4	Materialbenchmarkingkoeffizienten bei verschiedenen Örtlichkeiten und Projekttypen .....	112
12.6	Benchmarkingspezifische Ergänzungen .....	114
<b>13</b>	<b>Schlussbetrachtungen und Ausblick .....</b>	<b>117</b>
<b>Anhang</b>	<b>.....</b>	<b>119</b>
A.1	Estimating-Plan-Template .....	119
A.2	BoE-Template .....	130
A.3	Cost-Estimate-Template .....	145
A.4	Key-Quantities-Template .....	158
A.5	Escalation-Template .....	164
A.6	Projektcheckliste .....	169
<b>Abkürzungen</b>	<b>.....</b>	<b>175</b>
<b>Glossar</b>	<b>.....</b>	<b>177</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>.....</b>	<b>179</b>
<b>Quellenverzeichnis</b>	<b>.....</b>	<b>181</b>
<b>Stichwortverzeichnis</b>	<b>.....</b>	<b>184</b>

# 1 Grundlagen der Kostenschätzungen

Die Bestimmung der Investitionskosten eines Projektes ist ein elementarer Bestandteil der Projektplanung und der Wirtschaftlichkeitsrechnung. Bei der Kostenbestimmung wird zwischen Kostenkalkulation und Kostenschätzung unterschieden. Die Kostenkalkulation wird insbesondere bei der Bestimmung von Herstellkosten angewandt; dagegen kommt die Kostenschätzung bei der Abschätzung von Investitionskosten auf Basis von geleisteten Vorplanungen zur Anwendung [16; 27].

Die beispielhafte schematische Darstellung eines Destillationsprozesses in Bild 1.1 veranschaulicht die Schwerpunkte dieses Handbuchs. Die Errichtung einer solchen Anlage lässt sich nach dem klassischen Projektzyklus in Planung, Beschaffung, Errichtung und Betrieb gliedern. Basierend auf diesem Zyklus liegt der Fokus des Kostenschätzungshandbuchs in der systematischen Abschätzung der Planungsleistungen, der Beschaffung von Equipment und Material sowie der Errichtungs- und Baustellenkosten. Die Betriebskosten sind nicht mitberücksichtigt, da nach der Errichtung der Anlage und deren Übergabe an den Betrieb mit Leistungsüberprüfung i.d.R. das Projekt abgeschlossen ist.

Die Betriebskosten sind unternehmensspezifisch. Zu Abschätzung dieser Kosten wird auf [15] verwiesen.



**Bild 1.1** Schematische Darstellung eines Destillationsprozesses (nach [54])

## 1.1 Aufgaben und Ziele von Cost Estimates

Kostenschätzungen dienen dem Investor für folgende Hauptaufgaben:

- Investitionsrechnung,
- Budgetplanung & Kostennachverfolgung sowie
- Planung der zeitlichen monetären Ausgaben für eine Investition.

Für eine Investitionsrechnung müssen die zu erwarteten Kosten bekannt sein, um zum Beispiel zwei Alternativen miteinander vergleichen zu können. Für die Budgetplanung ist es nicht ausreichend, nur die Gesamtkosten zu kennen, sondern auch die Kosten für die einzelnen Fachgewerke bzw. -disziplinen (Mechanik / Bauwesen / Rohrleitungsbau / E-Technik & Instrumentierung usw.), damit die Budgetierung und Kostennachverfolgung möglich sind. Darüber hinaus ist das Wissen über die zeitlichen Ausgaben eines Projektes für ein Unternehmen wichtig, damit ausreichend liquide Mittel zur Verfügung stehen.

## 1.2 Wesentliche Begrifflichkeiten bei Cost Estimates

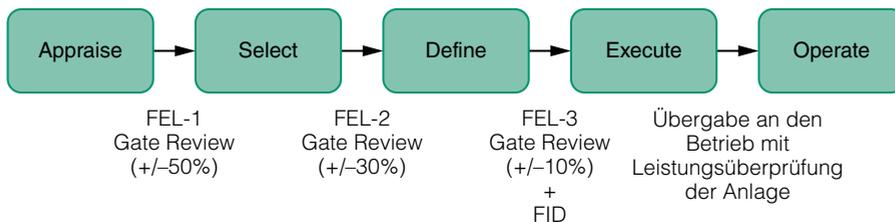
Folgende Terminologie hat sich in der Kostenschätzung etabliert:

- Estimating-Plan,
- Basis of Estimate,
- Cost Estimate,
- **I**nside **B**attery **L**imits (ISBL),
- **O**utside **B**attery **L**imits (OSBL),
- Allowances,
- Contingency,
- Escalation,
- Total Base Cost und
- **T**otal **I**nvest **C**ost (TIC).

## 2 Kostenschätzungen in den Projektphasen

Die Projektphasen stellen eine Einteilung der systematischen Projektabwicklung dar. Das Projekt beginnt mit den sogenannten **Front-End-Loading-Phasen**, «Appraise» (FEL-1), «Select» (FEL-2) und «Define» (FEL-3), gefolgt von der *Execute*-Phase mit dem Detailengineering, der *Construction*- (Bau der Anlage) und der *Commissioning*-Phase (Inbetriebnahme) sowie dem *As-built* (Aufnahme der neuen Ist-Situation in allen Dokumenten). Nach jeder FEL-Phase findet ein *Gate Review* statt. In diesem wird entschieden, ob das Projekt in die nächste Phase weitergeführt wird. Zum Ende der FEL-3-Phase wird die Entscheidung zur **Final Invest Decision** (FID) getroffen. Bei positiver Entscheidung geht das Projekt in das Detailengineering und in die Construction-Phase über. In der Regel wird nach der FEL-3-Phase kein weiteres Cost Estimate erstellt (s. Tabelle 2.1). Es findet ggf. eine Nachbetrachtung von Cost Estimate versus Ist-Kosten statt, um die Qualität von zukünftigen Cost Estimates zu erhöhen.

Bild 2.1 stellt den Projektprozess mit den Phasen «Appraise», «Select», «Define», «Execute» und «Operate» dar [35; 41]. Zum Ende jeder Phase finden abschließende Reviews statt. Hierbei werden die Planungsleistungen (*Engineering*), das Cost Estimate und der Terminplan konstruktiv hinterfragt und freigegeben. Nach dem erfolgreichen Abschluss der Define-Phase wird die Final Investment Decision (FID) getroffen.



**Bild 2.1** Projektprozess

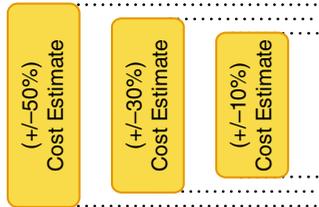
Die Kostenschätzungen haben in jeder Phase unterschiedliche Genauigkeiten von  $\pm 50\%$  (Ende von Appraise) bis  $\pm 10\%$  (bei Ende Define) und enthalten folgende Kostenstellen: Engineering (Planungsleistungen), Procurement (Beschaffungskosten für Equipment und Material), Construction (Bau- und Montagekosten) sowie Miscellaneous (Kosten für Unvorhergesehenes, Inbetriebnahmeleistungen usw.).

**Tabelle 2.1** Zusammenstellung der Projektphasen

Projektphase	Cost-Estimate-Typ	Cost-Estimate-Genauigkeit	Gate Review
Appraise (FEL-1)	Cost Estimate Class 5	$\pm 50\%$	1
Select (FEL-2)	Cost Estimate Class 4	$\pm 30\%$	2
Define (FEL-3)	Cost Estimate Class 2	$\pm 10\%$	3 + FID
Execute	–	–	Übergabe an den Betrieb mit Leistungsüberprüfung der Anlage
Operate	–	–	–

## GRUNDSATZ

Es gilt dabei zu beachten, dass die Spannweiten (z.B.  $\pm 50\%$ ) von dem ersten Cost Estimate aus der Appraise-Phase bei weiteren Projektbearbeitungen durch die nachfolgenden Cost Estimates (z.B.  $\pm 30\%$ ) nicht überschritten werden dürfen (bei gleichem Scope / Leistungsumfang), siehe Bild 2.2.



**Bild 2.2** Spannweiten (Genauigkeit) der Kostenschätzungen

## 2.1 FEL-1: Appraise (Feasibility)

In der FEL-1-Phase sollten folgende Planungsdokumente vom Projekt erstellt werden:

- Leistungsbeschreibung der Anlage, zum Beispiel der Durchsatz (*Scope of Work*),
- Leistungsbeschreibung des Ingenieurbüros, wie die Erstellung der Druckverlustberechnung oder der statische Nachweis von Rohrbrücken (*Scope of Services*),
- vorläufige Wärme- und Stoffbilanz (*Heat and Material Balance*),
- Blockflussdiagramm (*Block Flow Diagram*),
- vorläufige Equipment-Liste,
- vorläufiger Aufstellungsplan,
- Level-1-Terminplan (*Milestone-Plan*) und
- $\pm 50\%$  Cost Estimate.

Bei Projekten mit Outside-Battery-Limits(OSBL)-Anteil müssen zusätzlich die Rohrbrückenlänge / Sleeperlänge sowie die Längen der Hauptrohrleitungen im OSBL-Bereich mit Nenndurchmesser (DN) und Material vorliegen.

## 2.2 FEL-2: Select (Concept)

In der FEL-2-Phase sollten folgende Planungsdokumente vom Projekt erstellt werden:

- Leistungsbeschreibung der Anlage, wie der Durchsatz (*Scope of Work*),
- Leistungsbeschreibung des Ingenieurbüros, wie die Erstellung der Druckverlustberechnung oder der statische Nachweis von Rohrbrücken (*Scope of Services*),
- Wärme- und Stoffbilanz (*Heat and Material Balance*),
- vorläufiges Einliniendiagramm (Stromlaufplan),
- vorläufige Rohrleitungs- und Instrumentenfließschemata,
- vorläufiger Aufstellungsplan,

## 4 Kostenschätzungsmethoden

In diesem Kapitel werden die verschiedenen Methoden zur Erstellung von Cost Estimates (Factorised Cost Estimates, Cost Estimates basierend auf vergleichbaren Projekten und Material-Take-Off (MTO)-basierende Cost Estimates) vorgestellt. Weiterhin sind für die einzelnen Fachgewerke die Anforderungen bzw. das Vorgehen zur Erstellung der Teilkostenschätzungen beschrieben.

### 4.1 Factorised Cost Estimates

Bei Factorised Cost Estimates geht es immer darum, anhand von wenigen bekannten Kosten auf die Gesamtkosten eines Projektes zu schließen. Dieser Weg der Abschätzung eignet sich für  $\pm 50\%$  Cost Estimates und nur für den Equipment-gebundenen Anteil, d.h. die Kosten für das Equipment inkl. der anderen Gewerke (wie Massivbau, Stahlbau, Rohrleitungsbau usw.) und die Planungsleistungen – alles bezogen auf den ISBL-Abschnitt.

Falls in einem Projekt zum Beispiel neben drei Behältern und sechs Pumpen noch zusätzlich eine neue 1000 m lange Rohrbrücke und/oder ein neues Schaltheus erforderlich sind, dann sind diese Kosten für die Rohrbrücke und das Schaltheus in den Factorised Cost Estimates **nicht** enthalten.

Kosten für den OSBL-Abschnitt sind separat abzuschätzen. Dies gilt auch für die Infrastrukturmaßnahmen (auch im **ISBL-Abschnitt**).

#### DEFINITIONEN

**ISBL:** Inside Battery Limits – Definition der Anlagegrenzen, in denen der Hauptprozess stattfindet

**OSBL:** Outside Battery Limits – alle Aktivitäten außerhalb der definierten Anlagegrenzen



#### 4.1.1 Lang-Factor

Der Lang-Factor ist benannt nach HANS LANG, der Ende der 1940er-Jahre die Gesamtkosten eines Projektes durch das Verhältnis der Gesamtkosten zu den Equipment-Kosten beschrieb.

##### Methodik

Ermittlung der Equipment-Kosten (inkl. Lieferung und Allowances), multipliziert mit einem Faktor (Lang-Factor), ergibt den TIC-Wert (**Total Investment Cost**).

Zu unterscheiden sind Faktoren für Projekte mit [8]:

- Feststoffen (3,1),
- Flüssigkeiten (4,74) und
- beides zusammen (3,63).

Die oben genannten Faktoren sind typische Literaturwerte, jedoch sind der Projektscope und die Örtlichkeit bei der Auswahl des Faktors zur berücksichtigen, ggf. ist der Lang-Factor anzupassen.

**BEISPIEL**

Gegeben:

Equipment-Kosten (inkl. Lieferung und Allowances, aber ohne Montagekosten)  
= 1 000 000 €

Produkte sind Flüssigkeiten => Lang-Factor 4,74

Gesucht: TIC

Lösung:

Total Invest Cost = 1 000 000 € × 4,74 = 4 740 000 €

TIC = 4 740 000 €

In der Industrie ist es u.a. aber auch üblich, zu dem TIC-Wert ergänzend Escalation und Contingencies mit zu berücksichtigen.

**4.1.2 Hand-Factor**

Der Hand-Factor ist benannt nach W. E. HAND, der Ende der 1950er-Jahre die Gesamtkosten eines Projektes durch Equipment- sowie Disziplin-bezogene Zuschlagssätze auf Basis der Equipment-Kosten beschrieb.

**Methodik**

Die Equipment-Kosten sind (inkl. Lieferung und Allowances) zu ermitteln. Anschließend wird je nach Art des Equipments für die verschiedenen Gewerke (Piping, Insulation, Electrical usw.) ein prozentualer Zuschlag hinzuaddiert und ausmultipliziert. Die Kosten für das Instrumentierungsmaterial sind separat inkl. Allowances zu kalkulieren. In Tabelle 4.1 sind die aufsummierten Zuschlagssätze für Kohlenstoffstahl (CS) je nach Equipment-Type aufgeführt [10].

**Tabelle 4.1** Zuschlagssätze für die Hand-Factor-Methode

	Kolonnen	Wärme-tauscher	Tanks	Pumpen	Kompres-soren	Öfen	MSR
Zuschlagssatz bei CS	400%	350%	400%	400%	250%	200%	400%

Bei höherwertigem Equipment-Material, das in der Regel auch kostenintensiver ist, wird der Zuschlagssatz für die restlichen Projektkosten mit 0,8 multipliziert, da einige Kostenpositionen größtenteils unabhängig vom Equipment-Material sind, z.B. Civil und Electrical. Der Aufwand für das Fundament eines Behälters aus Edelstahl oder CS ist gleichbleibend.

Für die Gesamtkosten (TIC) sind die Contingencies und die Escalation mit zu berücksichtigen.

**BEISPIEL**

a) Gegeben:

Equipment-Kosten für eine Edelstahlkolonne (SS – Stainless Steel) betragen (inkl. Lieferung und Allowances, aber ohne Montagekosten) = 1 000 000 €

Die MSR-Materialkosten betragen 150 000 €

Kolonnen-Zuschlagssatz:  $400\% \times 0,8 = 320\%$

MSR-Zuschlagssatz:  $400\% \times 0,8 = 320\%$

b) Gesucht: TIC

c) Lösung

Total Install Cost:  $1\,000\,000\text{ €} \times 320\% + 150\,000\text{ €} \times 320\% = 3\,680\,000\text{ €}$

+

Contingency 25% =  $3\,680\,000\text{ €} \times 25\% = 920\,000\text{ €}$

+

Escalation 2% =  $3\,680\,000\text{ €} \times 2\% = 73\,600\text{ €}$

=

TIC = 4 673 600 €

Die Vorteile der Hand-Factor-Methode gegenüber der Lang-Factor-Methode sind im Wesentlichen 2 Punkte:

1. die Verwendung von unterschiedlichen Zuschlagssätzen für verschiedene Equipment-Typen und
2. die Verwendung eines vom Equipment-Material abhängigen Faktors, um eine Überbewertung zu vermeiden.

### 4.1.3 Checkliste für Factorised Cost Estimates

Alle Factorised-Cost-Estimates-Methoden eignen sich nur für  $\pm 50\%$  Cost Estimates mit dem ISBL-Projektanteil, deren Total-Base-Wert mindestens aus 20% Equipment-Kosten besteht. Die vorherige Abschätzung des Equipment-Anteils ist schwierig. Anhand der folgenden Checkliste lässt sich die Anwendbarkeit des Lang-/Hand-Factors überprüfen:

- keine größeren neuen Baukonstruktionen notwendig wie Rohrbrücken oder größere Gebäude,
- keine Modifikationsarbeiten an Kolonnen, Behältern usw.,
- keine komplett neu zu installierende / aufzubauende DCS/FCS-Systeme,
- keine größere temporäre Maßnahme wie Aufbau einer Vorfertigungsinfrastruktur,
- kein OSBL-Projektscope,
- keine Infrastrukturmaßnahmen, wie neue Dampfverteilerstation oder Schalträume, und
- keine Überstundenzuschläge sowie Ineffizienzen in Turnarounds.

Alle die oben dokumentierten Kosten sind separat zu ermitteln (inkl. Planungsleistungen + Contingency + Escalation), die dem TIC-Wert aus den Factorised Cost Estimates zusätzlich hinzuzufügen sind.

## 4.2 Cost Estimates basierend auf vergleichbaren Projekten

Nun, wer kennt das nicht: «Ist ja nur ein Copy-and-Paste-Job», und am Ende wundert sich jeder, warum die Gesamtkosten gestiegen sind und die Kosten für die Planungsleistungen höher sind als erwartet, schließlich sind ja alle Planungsdokumente schon vorhanden.

Deshalb sind Cost Estimates, die auf «vergleichbaren» Projekten basieren, nicht zu «leichtfertig» zu erstellen. Folgende Fragestellungen sind zu berücksichtigen: