

Vorwort

Dieses Kostenschätzungshandbuch stellt die wichtigsten Themen der Kostenschätzungen (Cost Estimates) für Investitionsprojekte im Anlagenbau zusammenfassend dar. Es richtet sich an alle, die sich einen detaillierten Überblick in die Kostenschätzungsdisziplin verschaffen möchten.

Es gibt den Lesern einen detaillierten Überblick über den Aufbau von Kostenschätzungen sowie die Vorgehensweise für die Erstellung der erforderlichen Begleitdokumente, wie Kostenschätzungsplan (Estimating-Plan), Annahmen der Kostenschätzung (Basis of Estimate) und Kostenschätzungsvorlagen (Cost-Estimate-Templates).

Das Buch ist in die folgenden Hauptkapitel gegliedert:

- Grundlagen der Kostenschätzungen,
- Planung (Engineering),
- Equipment- und Materialeinkauf bzw. -beschaffung (Procurement) und
- Montage sowie Installation (Construction).

Zum Abschluss wird anhand eines Beispielprojektes eine Kostenschätzung mit den unterschiedlichen Genauigkeiten vorgestellt. Des Weiteren sind im Anhang für die Kostenschätzungen die Vorlagen (Templates) sowie die Begleitdokumente zusammengestellt und können beim Verlag separat als Word- bzw. Excel-Datei bestellt werden (Download):

www.vogel-fachbuch.de

Die Autoren danken dem Verlag und ihren Unterstützern zum Gelingen dieses Buches.

Köln, Juni 2019

Ibrahim Kar
Michael Berz

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
1 Grundlagen der Kostenschätzungen	11
1.1 Aufgaben und Ziele von Cost Estimates	11
1.2 Wesentliche Begrifflichkeiten bei Cost Estimates	12
2 Kostenschätzungen in den Projektphasen	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
3 Kostenschätzungstypen bzw. -klassen	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
4 Kostenschätzungsmethoden	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
5 Aufbau von Cost Estimates	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

6	Signifikante Bestandteile einer Kostenschätzung	45
7	Bestimmung der Engineering-Kosten	51
8	Bestimmung der Procurement-Kosten	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
9	Bestimmung der Construction-Kosten	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
10	Miscellaneous	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
11	Beispiele	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
12	Schlussbetrachtungen und Ausblick	109

Anhang	111
A.1 Estimating-Plan-Template	111
A.2 BoE-Template	122
A.3 Cost-Estimate-Template	137
A.4 Key-Quantities-Template	150
A.5 Escalation-Template	156
A.6 Projektcheckliste	161
Abkürzungen	167
Glossar	169
Tabellenverzeichnis	171
Quellenverzeichnis	173
Stichwortverzeichnis	177

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.

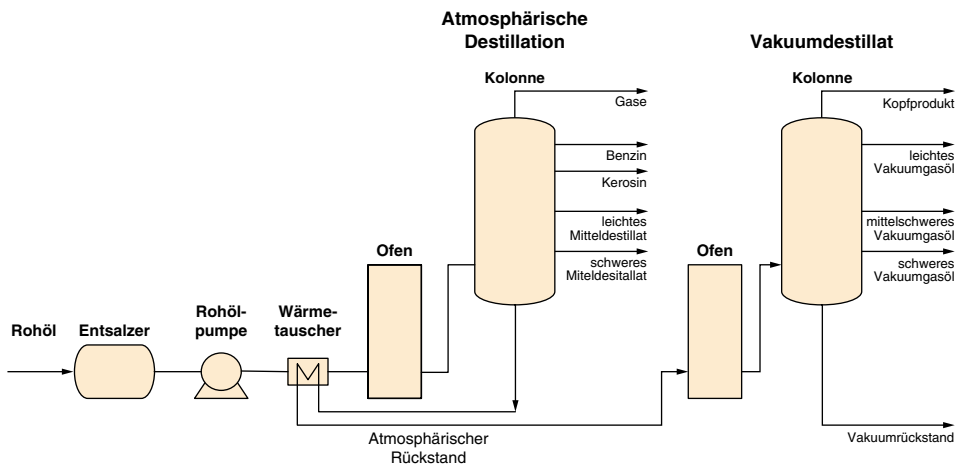


Bild 1.1 Schematische Darstellung eines Destillationsprozesses (nach [54])

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,
- **Inside Battery Limits** (ISBL),
- **Outside Battery Limits** (OSBL),
- Allowances,
- Contingency,
- Escalation,
- Total Base Cost und
- **Total Invest Cost** (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.

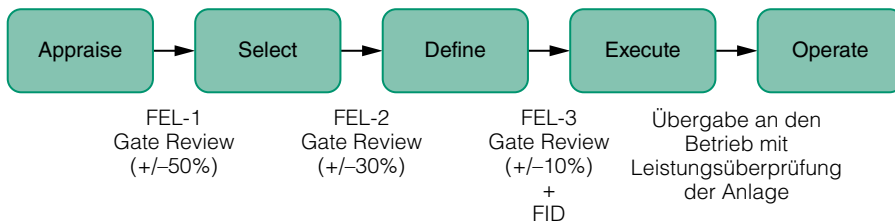


Bild 2.1 Projektprozess

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.

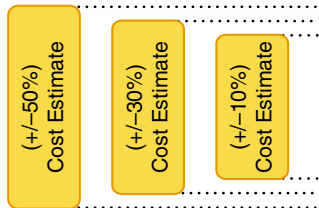


Bild 2.2 Spannweiten (Genauigkeit) der Kostenschätzungen

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,

- Equipment-Liste (Anzahl und Typen des Equipments müssen fixiert sein),
- Equipment-Datenblätter,
- Anfragen für Budget-Angebote,
- vorläufige Rohrleitungsliste,
- vorläufige Einbindepunktliste,
- Level-1-Terminplan (*Milestone-Plan*),
- Level-3-Terminplan und
- $\pm 30\%$ Cost Estimate.

2.3 FEL-3: Define (Front End Engineering Design (FEED))

In der FEL-3-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),
- Finales Einliniendiagramm (Stromlaufplan),
- Finale Rohrleitungs- und Instrumentenfließschemata für Equipment und Hauptrohrleitungen,
- Wärme- und Stoffbilanz (*Heat and Material Balance*),
- finaler Aufstellungsplan,
- finale Equipment-Liste,
- finale Equipment-Datenblätter und Spezifikationen,
- Anfragen für Angebote,
- finale Rohrleitungsliste,
- finale Einbindepunktliste für die produktführenden Leitungen,
- Level-1-Terminplan (Milestone-Plan),
- Level-3-Terminplan und
- $\pm 10\%$ Cost Estimate.

2.4 Execute

In Execute finden die Detailengineering-, Einkaufs- und Bauarbeiten statt.

2.5 Operate

Nach der Übergabe des Projektes zum Abschluss der Execute-Phase an den Betrieb fängt die Operation-Phase an, d.h. den sogenannten Beginn der Produktion mit der neuen oder modifizierten Anlage.

2.6 Entwicklung der Kosten in Abhängigkeit der Projektphasen

Bild 2.3 zeigt qualitativ die kumulierte Entwicklung der Ausgaben als auch die Unvorhersehbarkeiten (Unsicherheiten) in den einzelnen Projektphasen. Zu beachten gilt, dass bis einschließlich der FEL-3-Phase in der Regel bis zu 25% der gesamten Projektkosten (Ausgaben) anfallen.

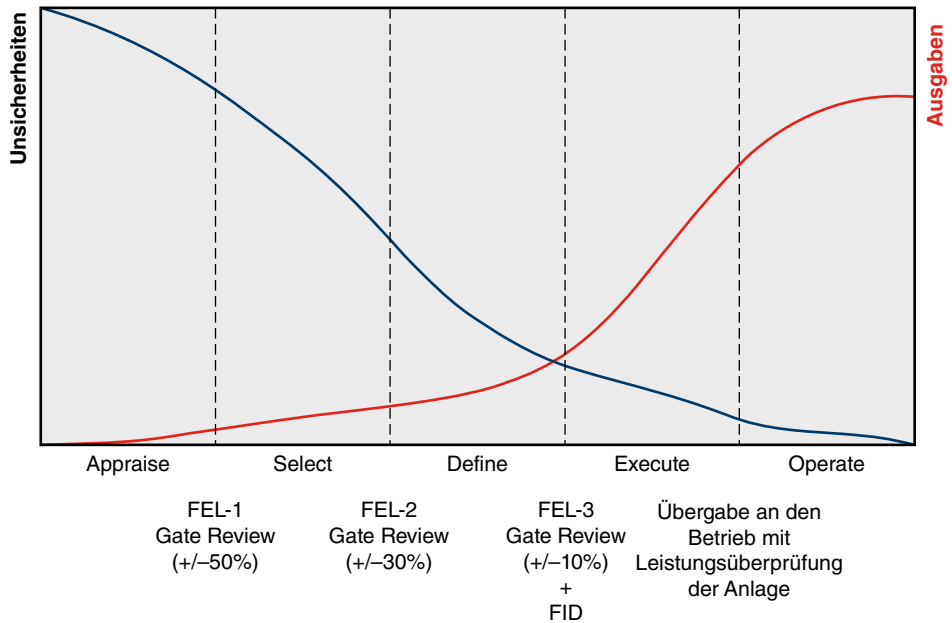


Bild 2.3 Projektausgaben versus Projektunsicherheiten

Einen ähnlichen Verlauf nehmen die Kosten für die Umsetzung einer Änderung in Abhängigkeit der Projektphasen an. In der Regel lassen sich Änderungen bis zur Define-Phase kostengünstig in die Planung integrieren (siehe auch «Changes» in Kapitel 7).

3 Kostenschätzungstypen bzw. -klassen

In den Phasen FEL-1, FEL-2 und FEL-3 haben Kostenschätzungen unterschiedliche Genauigkeiten von $\pm 50\%$ bis $\pm 10\%$. Es werden deshalb drei Typen bzw. Klassen von Cost Estimates unterschieden. Diese Klasseneinteilung (Classes) stammt von der AACE (Association for the Advancement of Cost Engineering):

- $\pm 50\%$ Cost Estimates (Class 5),
- $\pm 30\%$ Cost Estimates (Class 4) und
- $\pm 10\%$ Cost Estimates (Class 2).

3.1 $\pm 50\%$ Cost Estimates (Class 5)

$\pm 50\%$ Cost Estimates (Class 5) sind üblicherweise in der Appraise-Phase eines Projektes zu erstellen. Zu diesem Zeitpunkt ist nur das Hauptequipment eines Projektes bekannt. Für $\pm 50\%$ Cost Estimates eignen sich besonders gut die beiden Methoden «**Factorised Cost Estimates**» und die «**Cost Estimates auf Basis von vergleichbaren Projekten**».

3.2 $\pm 30\%$ Cost Estimates (Class 4)

$\pm 30\%$ Cost Estimates (Class 4) sind üblicherweise in der Select-Phase eines Projektes zu erstellen. Zu diesem Zeitpunkt sind unter anderem neben dem Hauptequipment auch die Aufstellungsorte und der prinzipielle Rohrleitungsverlauf ohne die Utilities eines Projektes bekannt. $\pm 30\%$ Cost Estimates werden normalerweise mit der Methode «**Material Take Off (MTO)**» erstellt.

3.3 $\pm 10\%$ Cost Estimates (Class 2)

$\pm 10\%$ Cost Estimates (Class 2) sind üblicherweise in der Define-Phase eines Projektes zu erstellen. Zu diesem Zeitpunkt sind unter anderem neben allem Equipment auch die Aufstellungsorte und der Rohrleitungsverlauf eines Projektes bekannt. Bei $\pm 10\%$ Cost Estimates kommen normalerweise MTO-basierte Cost Estimates zum Einsatz.

Tabelle 3.1 stellt die Projektphasen mit den Cost-Estimate-Genauigkeiten zusammen.

Tabelle 3.1 Einteilung der Projektphasen mit Cost-Estimate-Genauigkeiten

Projektphasen	Cost-Estimate-Genauigkeiten	Methoden zur Erstellung von Cost Estimates
FEL-1-Phase (Appraise)	$\pm 50\%$	Factorised Cost Estimates, Cost Estimates basierend auf «vergleichbaren» Projekten, MTO-basierende Cost Estimates
FEL-2-Phase (Select)	$\pm 30\%$	MTO-basierende Cost Estimates
FEL-3-Phase (Define)	$\pm 10\%$	MTO-basierende Cost Estimates