

Inhalt

zu 13. Kostenschätzung	2
13.1 Kostenabschätzung eines einfachen Lagerbehälters	2
13.2 Kostenabschätzung eines Rohrbündel-Wärmeübertragers.....	2
13.3 Kostenschätzung einer Kolonne mit Einbauten	3
13.4 Kostenschätzung einer Pumpe mit elektrischem Antrieb und Spülsystem	4

Zusätzliche Beispiele für das 13. Kapitel im Lehrbuch Technische Chemie, 3. Auflage

zu 13. Kostenschätzung

Die Kostenschätzung basiert auf Erfahrungswerten und ist immer mit einer Unsicherheit behaftet. In der Vorplanung und Konzeptfindung liegt die Genauigkeit bei $\pm 50\%$, die sich im Basic Engineering auf $\pm 30\%$ verbessert. Erst in der Detailplanung mit Angeboten für wesentliche Bauteile und Leistungen kann eine Genauigkeit von 5-10 % erreicht werden.

Die Apparate- und Anlagenkosten hängen von vielen Faktoren ab, insbesondere vom Werkstoff und Fertigung sowie von der Größe und Ausführung. Weiterhin ändern sich die Kosten mit der Zeit, was sich im Anlagenpreisindex widerspiegelt. Dieser ist in Kapitel 13.2.1 näher erläutert. Ausgangspunkt für die Kostenschätzung im Anlagenbau sind Kosten von Maschinen und Apparate. Im Folgenden sollen für einen Behälter auf Basis des Gewichts, für einen Wärmeübertrager auf Basis der Übertragungsfläche, sowie für eine Destillationskolonne und eine Zentrifugalpumpe die Kosten abgeschätzt werden (Basis: I. Kar, M. Berz, Kostenschätzung im Anlagenbau, Vogel, 2019).

13.1 Kostenabschätzung eines einfachen Lagerbehälters

Das Gewicht des Lagerbehälter inklusive Tragstrukturen, Inspektionsöffnungen und Rohranschlüsse aus C-Stahl (z.B. unlegierter Stahl vom Typ 1.0036, auch mit S235JR+AR (früher St 37-2) bezeichnet) wird mit 2,85 t bestimmt. Nach Kar und Berz können die Kosten des Behälters nach folgender Beziehung abgeschätzt werden:

$$\text{Preis / kg} = 470,03 (\text{Behältergewicht})^{-0,455} \quad (13.10)$$

Der Preis von 12,59 € kg⁻¹ bezogen auf das Gewicht des Behälters muss nochmal mit dem Behältergewicht multipliziert werden.

$$\text{Behälterkosten} = \text{Preis / kg} * \text{Behältergewicht}$$

Somit kostet der Behälter aus C-Stahl 35 893,5 €, also ca. 36 000 €. In Edelstahl, 1.4571 ausgeführt, ändert sich Gleichung 13.1 zu

$$\text{Preis / kg} = 451,17 (\text{Behältergewicht})^{-0,389} \quad (13.11)$$

Somit erhöht sich der spezifische Behälterpreis auf 20,44 € kg⁻¹ und der Gesamtpreis auf 58 243,9 € ($\approx 58\,250$ €).

13.2 Kostenabschätzung eines Rohrbündel-Wärmeübertragers

Die Fläche eines Rohrbündel-Wärmeübertragers wird abgeschätzt nach Übertragungsleistung (248 kW) und treibender Temperaturdifferenz (18 K) für Wasser und Ethanol (Abschätzung des k-Werts mit 450 W m⁻² K⁻¹). Die Übertragungsfläche ergibt sich dann aus

$$A = \frac{\dot{Q}}{k \Delta T} = \frac{2,48 \cdot 10^6 \text{ W m}^2 \text{ K}}{450 \text{ W} \cdot 18 \text{ K}} \quad (13.12)$$

zu 30,62 m². Nach Kar und Berz können die Kosten für Rohrbündel-Wärmeübertrager aus unterschiedlichen Werkstoffen mit folgenden Beziehungen abgeschätzt werden:

$$\text{C-Stahl:} \quad \text{Preis / m}^2 = 5348,3 (\text{WÜ-Fläche})^{-0,534} \quad (13.13)$$

$$\text{Edelstahl 304, 18-10, 1.4301:} \quad \text{Preis / m}^2 = 8550,7 (\text{WÜ-Fläche})^{-0,529} \quad (13.14)$$

$$\text{Edelstahl 316L, 18-14, 1.4435:} \quad \text{Preis / m}^2 = 9304,3 (\text{WÜ-Fläche})^{-0,524} \quad (13.15)$$

Für Kühlwasser und Ethanol kann ein Wärmeübertrager aus C-Stahl eingesetzt werden, jedoch muss dann Korrosion mitbetrachtet werden. Somit fällt die Wahl auf den Werkstoff 1.4301 und führt zu folgender Berechnungsgleichung

$$\text{Wärmeübertrager aus 1.4301:} \quad \text{Preis} = 8550,7 (\text{WÜ-Fläche})^{0,471} \quad (13.16)$$

Damit ergibt sich ein Schätzpreis von 42 844,2 € (\approx 42 850 €) für den Rohrbündel-Wärmeübertrager aus 1.4301.

13.3 Kostenschätzung einer Kolonne mit Einbauten

Kolonnen werden für viele Trennaufgaben eingesetzt und können sowohl in der Destillation, wie auch in der Flüssig-flüssig-Extraktion und Absorption eingesetzt werden. Aus Faustregel wird die Kolonnenhöhe durch die erforderliche Trennleistung (Bodenzahl oder Packungshöhe plus Verteilstrukturen sowie Kopf- und Sumpfhöhe) bestimmt, während der Durchmesser von Durchsatz der Medien (Strömungsgeschwindigkeit der jeweiligen Gas- und Flüssigphase sowie Druckverlust) abhängt. Das Gewicht hängt zudem noch von der Wandstärke ab und vom verwendeten Werkstoff.

Das Gewicht einer Flüssig-Flüssig-Extraktionskolonne wird mit 3,5 t angegeben. Damit eingeschlossen sind Standfüße, Stutzen und Mannlöcher. Nach Kar und Berz können die Kosten für Kolonnen aus unterschiedlichen Werkstoffen mit folgenden Beziehungen abgeschätzt werden:

$$\text{C-Stahl:} \quad \text{Preis / kg} = 71,783 (\text{Gewicht in kg})^{-0,232} \quad (13.17)$$

$$\text{Edelstahl 304, 18-10, 1.4301:} \quad \text{Preis / kg} = 2271 (\text{Gewicht in kg})^{-0,462} \quad (13.18)$$

$$\text{Edelstahl 316L, 18-14, 1.4435:} \quad \text{Preis / kg} = 2706,2 (\text{Gewicht in kg})^{-0,462} \quad (13.19)$$

Aufgrund der korrosiven Medien fällt die Wahl auf 316L als Werkstoff, was zu folgender Berechnungsgleichung führt:

$$\text{Kolonne aus 1.4435:} \quad \text{Preis} = 2706,2 (\text{Gewicht})^{0,538} \quad (13.20)$$

Damit ergibt sich ein Schätzpreis von 218 307,4 € (\approx 218 000 €) für die Extraktionskolonne aus 1.4435. Die Kosten für die Einbauten müssen gesondert geschätzt werden, siehe Kap. 9.10.1. Eine Abschätzung erfolgt über die Fläche der Einbauten, z.B. eine Siebbodenkolonne mit 35

Böden á 650 € pro Boden inkl. Halterungen. Das sind zusätzliche Kosten von 15 750 €. Weiterhin müssen noch die thermische Isolierung, die Gerüste, Bedienbühnen und Leitern berücksichtigt werden, die von der Umgebung der Kolonne abhängen.

13.4 Kostenschätzung einer Pumpe mit elektrischem Antrieb

Für die Extraktionskolonne werden zwei Zentrifugalpumpen für die Zufuhr der beiden Lösungsmittelströme benötigt. Beide Pumpen haben ungefähr die gleichen Fördermengen. Die notwendige Motorleistung beträgt jeweils 2,8 kW. Damit kann der Beschaffungspreis abgeschätzt werden gemäß folgenden Beziehungen:

$$\text{Grauguss} \quad \text{Preis / kW} = 2552 (\text{Motorleistung in kW})^{0,249} \quad (13.21)$$

$$\text{Stahlguss} \quad \text{Preis / kW} = 3445,9 (\text{Motorleistung in kW})^{0,2489} \quad (13.22)$$

$$\text{Edelstahlgehäuse} \quad \text{Preis / kW} = 3967,6 (\text{Motorleistung in kW})^{0,2729} \quad (13.23)$$

Wie auch die Kolonne werden die Zentrifugalpumpen in Edelstahl-Ausführung gewählt. Damit ergibt sich ein Schätzpreis von 14 410,62 € ($\approx 14\,500$ €). Die Zentrifugalpumpe benötigt noch einen Elektromotor als Antrieb, dessen Preis nach folgender Beziehung abgeschätzt werden kann:

$$\text{Preis / kW} = 0,1154 (\text{Leistung in kW})^2 + 152,62 (\text{Leistung in kW}) + 571,11 \quad (13.24)$$

Damit kann ein Beschaffungspreis für den Elektromotor von 999,35 € ($\approx 1\,000$ €) abgeschätzt werden.

Kosten auf Basis von vielen gebauten Apparaten – allgemeines Vorgehen

Die Kostenschätzung ist immer mit Unsicherheiten behaftet und sollte mit verschiedenen Maßnahmen wie ein Vergleich mit schon früher gebauten Anlagen oder vergleichbaren Anlagen mit anderer Größe oder Leistung. Auch dazu können die obigen Gleichungen verwendet werden.

Allgemeine Kostenfunktion eines Apparats auf Basis des Gewichts M (oder Fläche bei Wärmeübertrager):

C Kosten des Apparats / kg Gewicht

a, b spezifische Faktoren

M Gewicht des Apparats (oder Fläche)

$$\begin{aligned}C &= a \cdot M^b \\C_{ges} &= C \cdot M \\&\rightarrow C_{ges} = a \cdot M^{b+1}\end{aligned}$$

Vergleich Apparate mit gleicher Größe oder Leistung, aber anderer Werkstoff (CS oder Edelstahl):

C_1 Kosten des Apparats aus CS

C_2 Kosten des Apparats aus Edelstahl

a, b spezifische Koeffizienten

$$\begin{aligned}C_1 &= a_1 \cdot M^{b_1+1} \\C_2 &= a_2 \cdot M^{b_2+1} \\&\rightarrow \frac{C_2}{C_1} = \frac{a_2}{a_1} \cdot M^{b_2-b_1}\end{aligned}$$

Vergleich Apparate mit unterschiedlicher Größe, aber gleicher Werkstoff:

C_1 Kosten des Apparats aus CS

C_2 Kosten des Apparats aus Edelstahl

M spezifisches Gewicht

$$\begin{aligned}C_1 &= a \cdot M_1^{b+1} \\C_2 &= a \cdot M_2^{b+1} \\&\rightarrow \frac{C_2}{C_1} = \left(\frac{M_2}{M_1}\right)^{b+1}\end{aligned}$$

Aktuelle Kosten eines Apparats mit anderer Größe oder Leistung:

C_1 Kosten des Vergleichsapparats

A_1 Größe oder Leistung des Vergleichsapparats

C_2 Kosten des aktuellen Apparats

A_2 Größe oder Leistung des aktuellen Apparats

m Degressionsexponent

$$C_2 = C_1 \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^m$$

Der Exponent liegt zwischen 0,32 und 0,87, der Mittelwert beträgt 0,71 (Bernecker 2001)

Aktuelle Kosten eines früher gebauten Apparats mit gleicher Größe oder Leistung:

C1 Kosten des Vergleichsapparats

I1 Preisindex für den früheren Vergleichsapparat

C2 Kosten des aktuellen Apparats

I2 Aktueller Preisindex

$$C_2 = C_1 \left(\frac{I_2}{I_1} \right)$$

Der Preisindex wird quartalsweise in Chemietechnik, Hüthig-Verlag veröffentlicht

Die beiden Gleichungen können kombiniert werden:

$$C_2 = C_1 \left(\frac{I_2}{I_1} \right) \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^m$$

Genauigkeit der Schätzung der Apparatekosten:

± 50% in der Konzeptphase, ± 30% im Basic Engineering, ± 10% im Detail Engineering