



## Erläuterungen zur Lebenszyklus-Kosten-Betrachtung

Planungsgrundsatz des Da-Di-Werkes ist es, bei Neubau, Unterhaltung und Betrieb von Gebäuden, im Sinne der Nachhaltigkeit die Gesamtkosten (Summe aus Investitionskosten, Betriebskosten und Folgekosten) bei gegebener Nutzungsqualität zu minimieren. Die Herausforderung besteht darin, dass es zwischen den einzelnen Kostenarten zahlreiche Abhängigkeiten gibt.

Mit dem, in der Abteilung Energiemanagement des Hochbauamtes der Stadt Frankfurt a. M. entwickelten und vom Da-Di-Werk entsprechend angepassten Rechenmodell, steht ein Verfahren zur Verfügung, das bereits zu einem möglichst frühen Planungszeitpunkt alle relevanten Kosten für die verschiedenen Varianten gegenüberstellt. Dieses Verfahren zur Lebenszyklus-Kosten-Betrachtung wurde als Excel-Arbeitsmappe programmiert und steht unter der Adresse [www.da-di-werk.de/facility](http://www.da-di-werk.de/facility) (Menüpunkt Downloads) allen interessierten Nutzern zur Verfügung. Gemäß den Leitlinien des Da-Di-Werkes zum nachhaltigen Bauen sind für alle Maßnahmen über 250.000€ Lebenszykluskostenberechnungen vorzulegen.

Die Lebenszyklus-Kosten-Betrachtung besteht aus den eigentlichen Berechnungstabellen als Excel-Tool, Hilfetabellen und einer ergänzenden Erläuterung.

Nur die weißen Felder auf den Formularen sind Eingabefelder. Die hier einzufügenden Werte müssen der Planung bzw. können auch den Hilfe-Tabellen entnommen werden. Bei den grau unterlegten Feldern hingegen handelt es sich um Ausgabefelder. Die blau hinterlegten Felder enthalten Vorgaben des Da-Di-Werkes.

Damit die Excel-Berechnung leichter nachvollziehbar ist, wurde die Rechenvorschrift jeweils in der Kopfzeile angegeben. Damit die Werte aus unterschiedlichen Projekten miteinander vergleichbar sind, werden in allen Berechnungsblättern spezifische Werte berechnet. Sie ergeben sich aus der Division des absoluten Wertes durch die Energie-Bezugsfläche bzw. die Personenzahl.

### 1. Gesamtkosten

In diesem Blatt können für verschiedene Varianten der Bauausführung die Gesamtkosten berechnet werden. Diese setzen sich aus den Kapitalkosten, den Betriebskosten und den Umweltfolgekosten zusammen. Zur Charakterisierung des Gebäudes sind darüber hinaus wesentliche Kenngrößen des Gebäudes aufgeführt, die Grundlage für die Gesamtkostenermittlung sind. Damit fasst dieses Blatt alle wesentlichen Ergebnisse der anderen Rechenblätter (Tabellen) zusammen.

Der Betrachtungszeitraum, der Kapitalzins und die Preissteigerungsrate werden vom Da-Di-Werk entsprechend der Bauvorhaben vorgegeben.

Mit dem Verfahren können bis zu fünf verschiedene Varianten betrachtet werden. Für jede Variante gibt es zu jedem Bearbeitungskapitel je ein Rechenblatt (Tabellen U-Werte 2.1 – 2.5, Tabellen Kosten 3.1-3.5, Tabellen Heizbedarf 4.1-4.5, Tabellen Heizzahl 5.1-5.5, Tabellen Strombedarf 6.1-6.5, Tabellen Wasserbedarf 7.1-7.5).

Bei den Kenngrößen müssen nur die Bezugsfläche (konditionierte Nettogeschossfläche) und die mittlere Personenzahl während der Nutzungszeit eingegeben werden. Die übrigen Kenngrößen (spez. Heizwärmebedarf, Heizzahl, spez. Strombezug, spez. CO<sub>2</sub>-Emissionen und spez. Trinkwasserbezug) werden in den übrigen Blättern berechnet.

Anschließend werden die Kapitalkosten der Varianten berechnet. Dazu werden die Investitionskosten aus dem entsprechenden Rechenblatt 3.1 – 3.5 abzüglich eventueller Zuschüsse (zum Beispiel Fördermittel) mit dem Annuitätsfaktor multipliziert und schließlich auf die Fläche bezogen.

Anschließend werden automatisch die heutigen Betriebskosten (Wartungs- und Instandsetzungskosten, Heizkosten, Stromkosten, Wasserkosten) aus den anderen Rechenblättern übertragen. Zusätzlich können hier die Kosten für Personal, Reinigung,

Verwaltung und Versicherung eingetragen werden. Dazu sind Daten in den Hilfetabellen zu Tabelle 1 enthalten. Die Summe der heutigen Betriebskosten wird mit dem Mittelwertfaktor multipliziert und man erhält die mittleren Betriebskosten über den Betrachtungszeitraum. Diese Werte werden wiederum auf die Fläche bezogen.

Schließlich werden mit dem Verfahren auch Umweltfolgekosten berücksichtigt. Das Da-Di-Werk rechnet mit 50 € pro Tonne CO<sub>2</sub> und mit 1 €/m<sup>3</sup> Wasser. In der Summe ergeben sich die Gesamtkosten der Varianten, die das entscheidende Bewertungskriterium über die betrachtete Nutzungsdauer darstellen.

## **2. Kosten und U-Werte von Bauteilen**

In diesem Hilfs-Blatt wird für jedes Außenbauteil der Schichtenaufbau mit den Parametern Dicke, Preis/Volumen und der lambda-Wert eingetragen. Daraus kann ein spezifischer Bauteilpreis in €/m<sup>2</sup>, und der Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) berechnet werden. Für jede Variante ist ein eigenes Blatt angelegt (2.1 bis 2.5). Für alle Tabellen werden als Vorgabe zunächst die Werte der Tabelle 2.1 übernommen. So müssen für weitere Varianten nur die Änderungen gegenüber der Variante 2.1 eingegeben werden.

## **3. Investitions- und Wartungskosten**

In diesem Blatt werden die Baukosten nach DIN 276 zusammengestellt. Die Kosten der Bauteile sind das Produkt aus den Bauteilflächen und den spezifischen Preisen. Dabei werden die spezifischen Preise der Außenbauteile direkt aus dem 2. Blatt übertragen, können aber auch teilweise individuell eingetragen werden.

Die Kosten werden zum Vergleich mit anderen Projekten wiederum auf die Nettogeschossfläche bezogen. Außerdem wird ein prozentualer Ansatz für die jährlichen Wartungs- und Instandsetzungskosten nach VDI vorgeschlagen und berechnet. Dafür stehen wiederum entsprechende Hilfe-Tabellen zur Verfügung. Für jede Variante ist ein eigenes Blatt angelegt (3.1 bis 3.5). Für alle Tabellen werden als Vorgabe zunächst die Werte der Tabelle 3.1 bzw. 2.x übernommen. So müssen für weitere Varianten nur die Änderungen gegenüber der Variante 3.1 eingegeben werden.

## **4. Heizwärmebedarf**

In diesem Blatt wird der Heizwärmebedarf des Gebäudes berechnet. Das Rechenverfahren wurde aus dem Leitfaden Heizenergie im Hochbau des Landes Hessen übernommen (DIN 832, sowie DIN 18599). Das Rechenverfahren nach Leitfaden erfordert deutlich weniger Eingabeaufwand als die Berechnung nach Energiesparverordnung (EnEV) und erzeugt gleichzeitig realitätsnähere Ergebnisse. Es ist daher für Wirtschaftlichkeitsberechnungen besser geeignet als die EnEV. Für Passivhäuser oder vergleichbare Standards kann der Wert „energetisch wirksamer Luftwechsel“ aus der Tabelle Heizwärme des Passivhaus-Projektierungs-Pakets eingesetzt werden.

Als Standard wird die mittlere Raumtemperatur des Gebäudes eingegeben. Für verschieden temperierte Zonen wird die mittlere Temperatur berechnet. Zunächst wird die Transmission als Produkt aus Flächen, U-Werten, Außenluftfaktor und Gradtagszahl berechnet. Die Flächen und U-Werte für die Außenbauteile werden direkt aus den vorigen Rechenblättern übernommen, können aber auch selber eingegeben werden. Nur die Fensterflächen je nach Orientierung und die zugehörigen U-Werte müssen hier noch neu eingegeben werden. Die Lüftungswärmeverluste ergeben sich als Produkt aus Nettovolumen, Luftwechselzahl, spezifischer Wärme und Gradtagszahl. Für Lüftungsanlagen kann aber auch in dem Feld Luftwechselzahl eine eigene Berechnung über die Nutzungs- und Nichtnutzungszeiten erfolgen, wie in der Beispielberechnung dargestellt. Mit diesen Werten kann bereits der Wärmebedarf nach DIN 4701 berechnet werden.

Die freie Wärme ergibt sich aus der Abwärme durch Elektrizität (aus den Tabellen 6.1 – 6.5), der Personenzahl sowie die solare Einstrahlung. Hier muss nur die mittlere Aufenthaltsdauer der Personen und der Gesamtenergiedurchlassgrad (g-Wert) der Fenster eingetragen

werden. Alle übrigen Parameter stammen aus Standard-Werten oder den übrigen Berechnungsblättern (z.B. Stromverbrauch 6.1-6.5).

Aus den genannten Daten kann dann der spezifische Heizwärmebedarf berechnet werden. Gleichzeitig erfolgt eine Überprüfung, ob der Grenzwert des Da-Di-Werkes (bei Neubauten: 15 kWh/m<sup>2</sup>a) eingehalten werden kann.

Für jede Variante ist ein eigenes Blatt angelegt (4.1 bis 4.5). Für alle Tabellen werden als Vorgabe zunächst die Werte der Tabellen 2.x und 3.x übernommen sowie die Werte der Tabelle 4.1 (Fenster etc.). So müssen für weitere Varianten nur die Änderungen gegenüber der Variante 4.1 eingegeben werden.

## **5. Heizzahl, Heizkosten und Heizemissionen**

Im nächsten Blatt wird die Heizzahl, also der Jahresnutzungsgrad der Heizungsanlage berechnet. Zusammen mit dem Heizenergiebedarf aus dem letzten Berechnungsblatt können daraus die Heizungskosten und Heizungsemissionen berechnet werden.

Hier muss zunächst der Warmwasserbedarf eingegeben werden (sofern die Erwärmung mit der Heizungsanlage erfolgt, elektrische Warmwassererzeugung wird in den Tabellen 6.x berücksichtigt). Die Daten zum Speicher, zur Heizungs- und zur Warmwasserverteilung können der Planung entnommen werden. Daraus folgt der Verteilungsverlust, wenn die Verteilungen nicht in der thermischen Hülle liegen bzw. im Sommer für die WW-Verteilung.

Danach kann ein Blockheizkraftwerk berücksichtigt werden. Die Wärmeleistung und die Vollbenutzungsstunden müssen der Planung entnommen werden. Die Kesselleistung wird direkt aus dem Wärmebedarf (s. voriges Blatt) übernommen. Für größeren WW-Bedarf etc. kann ein abweichender Wert eingetragen werden. Mit den daraus errechneten Vollbenutzungsstunden für den Kessel können der Betriebsverlust und der Bereitschaftsverlust berechnet werden. Dann wird aus den vorherigen Daten der Endenergieverbrauch für BHKW und Kessel berechnet. Dafür wird die Gas-Leistung des BHKW benötigt.

Im nächsten Schritt wird die Heizzahl für Kessel und Verteilung berechnet und mit dem Grenzwert nach Leitfaden verglichen. Mit den Konditionen des Da-Di-Werkes (Leistungspreis und Arbeitspreis) werden dann die Heizkosten berechnet.

Schließlich werden mit den tabellierten Emissionsfaktoren (Angaben des Da-Di-Werkes seitlich) noch die Emissionen des Heizsystems berechnet.

Für jede Variante ist ein eigenes Blatt angelegt (5.1 bis 5.5). Für alle Tabellen werden als Vorgabe zunächst die Werte der Tabellen 4.x (Bedarfwerte) übernommen sowie die Werte der Tabelle 5.1 Heizungsdaten. So müssen für weitere Varianten nur die Änderungen gegenüber der Variante 5.1 eingegeben werden.

## **6. Strombedarf, Stromkosten und Stromemissionen**

In diesem Blatt werden der Strombedarf, die Stromkosten sowie die resultierenden äquivalenten CO<sub>2</sub>-Emissionen im Kraftwerk berechnet. Die Systematik der Berechnung wurde aus dem "Leitfaden Elektrische Energie im Hochbau" des Landes Hessen entnommen. Der Strombedarf ergibt sich stets als Produkt aus Leistung und Volllaststunden. Wie in den anderen Formblättern kann der spezifische Strombedarf wieder als Quotient aus dem jährlichen Strombedarf und der Energiebezugsfläche errechnet werden.

Für die Beleuchtung wurden die spezifischen Installationsleistungen (in W/m<sup>2</sup>) und die Volllaststunden für typische Fälle aus dem Leitfaden in die Hilfetabellen übernommen. Außerdem existieren hier Grenz- und Zielwerte deren Einhaltung überprüft werden kann. Für die Lüftung und Klimatisierung sind ebenfalls Richtwerte für die Volllaststunden in den Hilfetabellen hinterlegt. Für die Kombination aus Lüftung und Klimatisierung existieren wiederum Grenz- und Zielwerte. Der Grenzwert für den Strombedarf Lüftung liegt für Passivhäuser bei 0,45 W/m<sup>3</sup>h, für die Hilfsenergie Heizung (Pumpen und Brenner) bei 0,8 kWh/m<sup>2</sup>a oder für die Leistung bei 1% der Kesselleistung.

In analoger Weise werden die Bereiche diverse Haustechnik (z.B. Transport und Kommunikation), Arbeitshilfen (z.B. PCs und Kaffeemaschinen), zentrale Dienste (z.B. Küchen) und elektrische Warmwasserbereitung erfasst.

Im nächsten Schritt kann die Eigenstromerzeugung z.B. durch ein BHKW oder eine Photovoltaikanlage berücksichtigt werden, wobei angegeben werden muss, welcher Teil im Hausnetz verbraucht wird und welcher Teil in das Netz des Versorgers (EVU) rückgespeist wird. Für die Berechnung der bezogenen Leistung aus dem EVU-Netz wird ein Gleichzeitigkeitsfaktor berücksichtigt, der wiederum projektspezifisch angepasst werden kann.

Mit den Konditionen des Da-Di-Werkes (Leistungspreis, Arbeitspreis HT und NT, Einspeisevergütung) können dann die Stromkosten berechnet werden.

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen werden über die vorgegebenen Emissionsfaktoren berechnet.

Für jede Variante ist ein eigenes Blatt angelegt (6.1 bis 6.5). Für alle Tabellen werden als Vorgabe zunächst die Werte der Tabelle 6.1 übernommen. So müssen für weitere Varianten nur die Änderungen gegenüber der Variante 6.1 eingegeben werden.

## **7. Wasserbedarf und Wasserkosten**

Für die Berechnung von Wasserbedarf und Wasserkosten steht ein weiteres Kalkulationsblatt zur Verfügung (s. Tabelle 7). Der Wasserbedarf und die Wasserkosten werden im Gegensatz zu den anderen Werten nicht auf die Fläche sondern auf die Personenzahl bezogen.

Der Bedarf für die Toilettenspülung berechnet sich als Produkt aus der Spülmenge (l/Sp.), der Spülhäufigkeit (Sp./P,d), den Nutzungstagen (d/a) und der Personenzahl (P). Typische Werte für die Spülhäufigkeit sind in den Hilfetabellen enthalten. Analog kann der Bedarf für Urinale, Handwaschbecken, Duschen, Waschmaschine, Spülmaschine, Ausgussbecken und Freiflächenbewässerung berechnet werden.

Weiterhin kann das Wasserangebot durch Regenwassernutzung (die Dachfläche wird automatisch übernommen) und sonstige Quellen (z.B. Brunnen) berücksichtigt werden. Mit den Konditionen des Wasserversorgers (Trinkwasserpreis und Kanaleinleitungsgebühr, entsprechend den Angaben des Da-Di-Werkes) ergeben sich die Wasserkosten.

Für jede Variante ist ein eigenes Blatt angelegt (7.1 bis 7.5). Für alle Tabellen werden als Vorgabe zunächst die Werte der Tabelle 7.1 übernommen. So müssen für weitere Varianten nur die Änderungen gegenüber der Variante 7.1 eingegeben werden.

## **Fazit**

Mit der Gesamtkostenberechnung steht ein differenziertes, aber leicht zu bedienendes Verfahren für Wirtschaftlichkeitsanalysen in vielen Bereichen des Facility-Management zur Verfügung.