STADT FRANKFURT AM MAIN
Amt für Bau und Immobilien
Abteilung Energiemanagement

Erläuterungen zur Gesamtkostenberechnung (Lebenszykluskostenberechnung)

(Version 23.0 vom 28.06.2023)

Oberster Planungsgrundsatz bei Neubau, Sanierung und Betrieb von Gebäuden ist es, im Sinne der Nachhaltigkeit die Gesamtkosten (Summe aus Investitionskosten, Betriebskosten und Folgekosten) bei gegebener Nutzungsqualität zu minimieren. Die Schwierigkeit besteht darin, dass es zwischen den einzelnen Kostenarten zahlreiche Abhängigkeiten gibt.
Deshalb wurde in der Abteilung Energiemanagement des Amtes für Bau und Immobilien der Stadt Frankfurt a.M. ein Rechenmodell entwickelt, das bereits zu einem möglichst frühen Planungszeitpunkt alle relevanten Kosten für die verschiedenen Varianten gegenüberstellt. Dieses Verfahren zur Gesamtkostenberechnung wurde als Excel-Arbeitsmappe programmiert und steht unter der Adresse energiemanagement.stadt-frankfurt.de (Menüpunkt „Gesamtkostenberechnung“) allen interessierten Nutzern frei zur Verfügung. In Kapitel 2. der Leitlinien zum wirtschaftlichen Bauen wurde festgelegt, dass das Verfahren für alle Kostenschätzungen und -berechnungen ab 500.000 € angewendet werden soll.
Die Gesamtkostenberechnung besteht aus den eigentlichen Berechnungstabellen als Excel-Arbeitsmappe, Hilfetabellen, dieser Erläuterung und einem Beispiel.

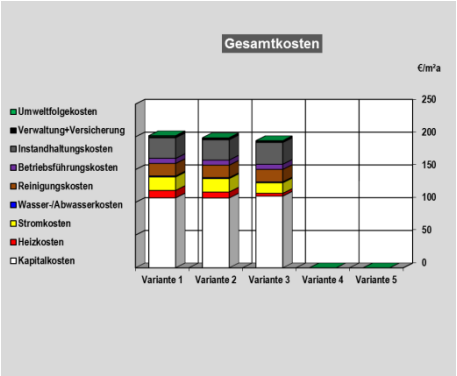
Nur die weißen Felder auf den Formularen sind Eingabefelder. Die hier einzufügenden Werte müssen der Planung bzw. können teilweise auch den Hilfetabellen entnommen werden. Bei den grau unterlegten Feldern hingegen handelt es sich um Ausgabefelder. Sind allerdings schon Daten aus anderen Berechnungen vorhanden, können diese auch direkt in die grauen Ergebnisfelder eingetragen werden. Deswegen ist die Arbeitsmappe ungeschützt. Dies gilt zum Beispiel für die U-Werte in Blatt 4.X, die direkt aus dem Passivhaus-Projektierungs-Paket (PHPP) oder der EnEV-Berechnung übernommen werden können.
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 der absoluten Werte durch die beheizte Netto-Raumfläche nach DIN 277-1.
Bitte löschen Sie keinesfalls die nicht benötigten Tabellenblätter, da sonst verschiedene Felder falsch angezeigt werden. Sie können die nicht benötigten Tabellenblätter stattdessen ausblenden (Reiter in der Fußzeile mit rechter Maustaste anklicken und „Ausblenden“ wählen).

A.	**Allgemeine Daten**	Eingabefelder: weiß, Ergebnisfelder: grau				Version 13.0 28.01.2014	
A1	Liegenschaftsbezeichnung	**Ludwig-Börne-Schule**					
A2	Gebäudebezeichnung	**Alt- und Neubau**					
A3	Straße, Hausnummer	**Lange Straße 30-36**					
A4	Betrachtungszeitraum (Jahre)	50	A8	Währung	€		
A5	Kapitalzins*	3,0%	A9	Annuitätsfaktor	3,9%		
A6	Preissteigerung Energie	5,0%	A10	Mittelwertfaktor Ener.	3,30		
A7	Preissteigerung sonstiges	2,5%	A11	Mittelwertfaktor sonst.	1,72		
B.	**Varianten**	**Bezeichnung** (Eingabe erforderlich!)					
B1	**Variante 1**	**EnEV 2009**					
B2	**Variante 2**	**EnEV 2009 - 30 %**					
B3	**Variante 3**	**Passivhaus (ausgeführte Variante)**					
B4	**Variante 4**						
B5	**Variante 5**						
C.	**Kenngrößen**	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Variante 4**	**Variante 5**	
C1	beheizte Nettogrundfläche	5.277	5.277	5.277	5.277	5.277	m²
C2	Personenzahl	400	400	400	400	400	P
C3	spez. Heizwärmebedarf	59	51	15			kWh/m²a
C4	spez. Heizenergiebedarf	65	56	19			kWh/m²a
C5	spez. Strombezug	23	23	18			kWh/m²a
C6	spez. Primärenergiebedarf	105	99	61			kWh/m²a
C7	spez. CO_2-Emissionen	27	25	16			kg/m²a
C8	spez. Trinkwasserbezug	275	275	275			l/m²a
D.	**Kapitalkosten**	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Variante 4**	**Variante 5**	
D1	Baukosten (DIN 276)	12.789.489	12.820.275	13.348.030	0	0	€
D2	- Zuschüsse/Erlöse						€
D3	= Eigenkapitaleinsatz	12.789.489	12.820.275	13.348.030	0	0	€
D4	Kapitalkosten	**497.070**	**498.266**	**518.778**	**0**	**0**	€/a
D5	**spez. Kapitalkosten**	**94**	**94**	**98**	**0**	**0**	€/m²a
E.	**mittl. Betriebskosten**	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Variante 4**	**Variante 5**	
E1	Heizkosten	30.757	26.535	9.431	0	0	€/a
E2	Stromkosten	41.295	41.113	32.208	0	0	€/a
E3	Wasser-/Abwasserkosten	5.475	5.475	5.475	0	0	€/a
E4	Reinigungskosten	64.018	64.018	64.018			€/a
E5	Betriebsführungskosten	26.385	26.385	26.385			€/a
E6	Instandhaltungskosten	100.050	99.675	112.238			€/a
E6	Verwaltung+Versicherung	5.277	5.277	5.277			€/a
E7	**heutige Betriebskosten**	**273.257**	**268.477**	**255.031**	**0**	**0**	€/a
E8	**mittl. Betriebskosten**	**583.771**	**568.603**	**504.471**	**0**	**0**	€/a
E9	**spez. Betriebskosten**	**111**	**108**	**96**	**0**	**0**	€/m²a
F.	**Umweltfolgekosten**	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Variante 4**	**Variante 5**	
F1	CO_2-Emissionen (50 €/to)	7.094	6.671	4.136	0	0	€/a
F2	Trinkwasser (1 €/m³)	1.451	1.451	1.451	0	0	€/a
F3	**Umweltfolgekosten**	**8.545**	**8.122**	**5.587**	**0**	**0**	€/a
F4	**spez. Umweltfolgekost.**	**2**	**2**	**1**	**0**	**0**	€/m²a
G.	**Gesamtkosten**	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Variante 4**	**Variante 5**	
G1	**Gesamtkosten**	**1.089.386**	**1.074.991**	**1.028.835**	**0**	**0**	€/a
G2	**spez. Gesamtkosten**	**206**	**204**	**195**	**0**	**0**	€/m²a
G3	**Einsparung in 50 Jahren zu Variante 1**		**719.764**	**3.027.551**			€

1. Gesamtkosten

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

Zunächst sind die Liegenschaftsbezeichnung, die Gebäudebezeichnung sowie Straße und Hausnummer einzutragen. Diese Angaben werden automatisch in alle anderen Blätter übernommen. Außerdem kann hier ein Foto oder eine Planskizze eingefügt werden.
Dann sind der Betrachtungszeitraum, der Kapitalzins und die Preissteigerungsrate zu überprüfen. Der Betrachtungszeitraum kann der dem Verfahren beigefügten Hilfetabelle entnommen werden. Für Neubauten und Gesamtsanierungen sind 50 Jahre anzusetzen. Der Kapitalzins entspricht den aktuellen KfW-Kommunalkreditkonditionen[1]. Bei den Preissteigerungsraten für Energie und sonstiges sind die Werte des statistischen Bundesamtes für die letzten 10 Jahre einzusetzen (derzeit: Heizenergie ca. 3 %/a, sonstiges ca. 2 %/a).
Mit dem Verfahren können bis zu fünf verschiedene Varianten betrachtet werden. Diese werden in die weißen Felder B1-B5 eingetragen. Zusätzlich können auch die grauen Felder (Variante 1 – Variante 5) mit einer Kurzbezeichnung überschrieben werden. Diese erscheint dann als Spaltenüberschrift und als Beschriftung in der zusammenfassenden Grafik.
Bei den Kenngrößen müssen nur die beheizte Netto-Raumfläche und die mittlere Personenzahl während der Nutzungszeit eingegeben werden. Die übrigen Kenngrößen (spez. Heizwärmebedarf, spez. Heizenergiebedarf, spez. Strombezug, spez. Wärmespeicherkapazität, spez. CO_2-Emissionen für Bau und Betrieb und spez. Trinkwasserbezug) werden in den übrigen Blättern berechnet.
Für jede der fünf Varianten gibt es zu jedem Bearbeitungsschritt je ein Rechenblatt (Bauteile: Tabellen 2.1-2.5, Baukosten: Tabellen 3.1-3.5, Heizbedarf: Tabellen 4.1-4.5, Heizkosten: Tabellen 5.1-5.5, Stromkosten: Tabellen 6.1-6.5, Wasserkosten: Tabellen 7.1-7.5). Die Bezeichnungen der Varianten werden automatisch von Blatt 1 übernommen. Durch Anklicken der blau markierten Ergebnisfelder springt man direkt zu dem zugehörigen Berechnungsblatt. Durch Anklicken der Kopfzeile springt man zurück zum Blatt 1 Gesamtkosten.
Anschließend werden die Kapitalkosten der Varianten berechnet. Dazu werden die Investitionskosten aus den entsprechenden Rechenblättern 3.1 – 3.5 abzüglich eventueller Zuschüsse (zum Beispiel Fördermittel) und abzüglich des Restwertes des Gebäudes am Ende des Betrachtungszeitraumes mit dem Annuitätsfaktor multipliziert und schließlich auf die Fläche bezogen. Durch die Berücksichtigung des Restwertes können recyclingfreundliche Lösungen entsprechend bevorzugt werden.
Dann werden die heutigen Betriebskosten (Heizkosten, Stromkosten, Wasserkosten, Instandhaltungskosten) aus den andern Rechenblättern übertragen. Zusätzlich können hier die Kosten für Reinigung, Betriebsführung, Verwaltung und Versicherung eingetragen werden. Dazu werden automatisch die Werte aus den Hilfetabellen übernommen. Diese können jedoch bei Vorliegen genauer Planungswerte überschrieben werden.
Die Summe der heutigen Betriebskosten wird mit dem jeweiligen Mittelwertfaktor multipliziert und man erhält dann die mittleren Betriebskosten über den Betrachtungszeitraum. Diese Werte werden wiederum auf die Fläche bezogen.
Schließlich werden mit dem Verfahren auch Umweltfolgekosten berücksichtigt. Die Stadt Frankfurt rechnet grundsätzlich mit 201 € pro Tonne CO_2 und mit 1 €/m³ Wasser.
In der Summe ergeben sich die Gesamtkosten der Varianten, die das entscheidende Bewertungskriterium über die betrachtete Nutzungsdauer darstellen. Bei gleicher Nutzungsqualität ist stets die Variante auszuwählen, die zu den geringsten Gesamtkosten führt.
Am Ende des Blattes werden die spezifischen Gesamtkosten für alle Varianten in einer Grafik dargestellt.



[1] http://www.kfw.de/217-Zinsen

2.X Bauteileigenschaften

In diesen Hilfs-Blättern kann für jedes Außenbauteil der Schichtenaufbau mit den Parametern Dicke, Preis/Volumen, Wärmeleitfähigkeit (lambda), Dichte, Wärmespeicherkapazität und CO_2-Äquivalent für das Treibhauspotential bei der Herstellung eingetragen werden. Dafür stehen Hilfetabellen mit verschiedenen Baustoffen zur Verfügung. Daraus wird dann ein spezifischer Bauteilpreis in €/m², der Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) in W/m²K, die wirksame Wärmespeicherkapazität in Wh/m²K und das CO_2-Äquivalent in kg/m² berechnet. Dies Eingabe des Preises/Volumen ist nur erforderlich, wenn mit dem Programm z.B. Optimierungen der Dämmstoffdicke vorgenommen werden sollen. Wenn die U-Werte bereits mit dem PHPP oder einem EnEV-Rechenprogramm ermittelt wurden, ist es völlig ausreichend, die Baukosten direkt in die Blätter 3.X und die U-Werte direkt in die Blätter 4.X einzutragen.

Bei der Eingabe der Wärmespeicherkapazität ist zu beachten, dass hier nur Werte raumseits der Dämmung eingegeben werden. Die Wärmespeicherkapazitäten auf der Außenseite der Dämmung sind zur Verringerung der sommerlichen Überhitzung nahezu unwirksam.

Für jede Variante ist ein eigenes Blatt angelegt (2.1 bis 2.5). Für die Varianten 2 bis 5 werden als Vorgabe zunächst die Werte der Variante 1 übernommen. So müssen hier nur die Änderungen gegenüber der Variante 1 eingegeben werden (Überschreiben des Bezugs zur Variante 1).

Wenn es mehr Bauteile in verschiedenen Qualitäten gibt, als in der Vorlage angelegt sind, dann können die Berechnungsblöcke kopiert und eingefügt werden. Es müssen dann jedoch in den Blättern 4.X zusätzliche Zeilen eingefügt und die Zellbezüge analog zu den anderen Bauteilen hergestellt werden.

3.X Bau- und Instandhaltungskosten

3.3 Bau- und Instandhaltungskosten

A.	**Allgemeine Daten**						
A1	Liegenschaftsbezeichnung	**Ludwig-Börne-Schule**					
A2	Gebäudebezeichnung	**Alt- und Neubau**					
A3	Straße, Hausnummer	**Lange Straße 30-36**					
A4	**Variante 3**	**Passivhaus (ausgeführte Variante)**					
A5	beheizte Nettogrundfläche	5.277	m²	A6	Personenzahl	400	P
B.	**Kosten nach DIN276**			**Baukosten**	**Invest./NGF**	**Instandhaltung**	
	(alle Kosten netto)			(€)	(€/m²)	(%/a)	(€/a)
100	**Grundstück**			0	0		
200	**Herrichten und Erschließen**			1.155.587	219		
300	**Bauwerk -**	**Menge**	**sp. Preis**	**Baukosten**	**Invest./NGF**	**Instandhaltung**	
	Baukonstruktion	(m²)	(€/m²)	(€)	(€/m²)	(%/a)	(€/a)
310	Baugrube	2.438	45	110.076	21		
320	Gründung: Fundamente	780	987	770.016	146		
	Gründung: Bodenaufbauten	(m²)	(€/m²)	(€)	(€/m²)	(%/a)	(€/a)
	Boden gegen Erde Altbau	365	103	37.595	7	0,5%	188
	Boden gegen Erde Neubau	798	355	283.445	54	0,5%	1.417
330	Außenwände	(m²)	(€/m²)	(€)	(€/m²)	(%/a)	(€/a)
	Wand gegen außen	2.309	451	1.041.359	197	0,3%	2.603
	Wand gegen Keller/Erde	416	302	125.630	24	0,3%	314
	Außenfenster und -türen	867	780	676.494	128	1,5%	10.147
		0	0	0	0	0,0%	0
340	Innenwände	(m²)	(€/m²)	(€)	(€/m²)	(%/a)	(€/a)
	Innenwände	3.200	211	675.200	128	0,5%	3.376
	Innentüren und Fenster	883	593	523.619	99	0,5%	2.618
350	Decken	(m²)	(€/m²)	(€)	(€/m²)	(%/a)	(€/a)
	Geschoßdecke gegen außen	66	432	28.415	5	0,5%	142
	sonstige Geschoßdecken	3.897	312	1.215.864	230	0,5%	6.079
360	Dächer	(m²)	(€/m²)	(€)	(€/m²)	(%/a)	(€/a)
	Dach gegen außen	1.270	217	275.590	52	0,8%	2.205
		0	0	0	0	0,8%	0
370	- 390 sonstige Baukonstruktion			294.561	56	0,5%	1.473
300	**Summe Baukonstruktion**			**6.057.864**	**1.148**	0,5%	**30.563**
400	**Bauwerk-**			**Baukosten**	**Invest./NGF**	**Instandhaltung**	
	Technische Anlagen			(€)	(€/m²)	(%/a)	(€/a)
410	Abwasser-, Wasser-, Gasanlagen			262.714	50	2,0%	5.254
420	Wärmeversorgungsanlagen			145.490	28	3,0%	4.365
430	Lufttechnische Anlagen			468.708	89	3,5%	16.405
440	Starkstromanlagen			444.611	84	1,5%	6.669
450	Fernmelde- und Informationstechnische Anlagen			92.055	17	3,0%	2.762
460	Förderanlagen			83.250	16	5,0%	4.163
470	- 490 sonstige Technische Anlagen			419.672	80	2,5%	10.492
400	**Summe Technische Anlagen**			**1.916.500**	**363**	2,6%	**50.109**
500	**Außenanlagen**			258.193	49	3,0%	7.746
600	**Ausstattung und Kunstwerke**			393.302	75	1,5%	5.900
700	**Baunebenkosten**			1.435.385	272		
	Zur Aufrundung und für Unvorhergesehenes			0	0		
C.	**Summe Kosten**		netto	11.216.832	2.126	0,8%	**94.317**
C2	Mehrwertsteuer		19%	2.131.198	404		17.920
C3			**brutto**	**13.348.030**	**2.529**	0,8%	**112.238**

In diesen Blättern 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 aus den Blättern 2.X übernommen, sofern sie dort bereits erfasst wurden. Andernfalls können sie aber hier auch direkt eingetragen werden (Überschreiben der grauen Felder). Wenn nur der Gesamtpreis einer Kostengruppe zur Verfügung steht, kann der spezifische Preis leicht ermittelt werden indem man den Gesamtpreis durch die zugehörige Bauteilfläche teilt.

Die Baukosten werden zum Vergleich mit anderen Projekten wiederum auf die beheizte Netto-Raumfläche bezogen. Außerdem wird ein prozentualer Ansatz für die jährlichen Instandhaltungskosten vorgeschlagen. Dafür stehen wiederum entsprechende Hilfe-Tabellen zur Verfügung. Wichtig ist, dass beim Vergleich verschiedener Varianten die Variante mit den höheren Investitionskosten tatsächlich häufig geringere Instandhaltungskosten verursacht. Hier müssen also regelmäßig manuelle Anpassungen vorgenommen werden um plausible Ergebnisse zu erhalten. Insbesondere bei Vergleichen mit dem unsanierten Ist-Zustand sind die Instandhaltungskosten für den Ist-Zustand in der Regel höher anzusetzen als für die Sanierungsvarianten. Wenn die Lebensdauer für einzelne Bauteile kürzer ist, als der Betrachtungszeitraum, dann sind bei den Instandhaltungskosten die jährlichen Rückstellungen für die Ersatzinvestitionen mit zu berücksichtigen. So sind z.B. bei Photovoltaikanlagen statt der vorgegebenen 1,5 % für Starkstromanlagen insgesamt 5,5 % einzugeben (zusätzlich zur Wartung 4 %, da die mittlere Lebensdauer der Komponenten bei 25 Jahren liegt). Für jede Variante ist ein eigenes Blatt angelegt (3.1 bis 3.5). Für die

Varianten 2 - 5 werden als Vorgabe wieder die Werte der Variante 1 übernommen. So müssen nur die Änderungen gegenüber der Variante 1 eingegeben werden.

4.X Heizwärmebedarf

In diesen Blättern wird der Heizwärmebedarf des Gebäudes berechnet. Das Rechenverfahren wurde aus dem Leitfaden Heizenergie im Hochbau des Landes Hessen übernommen (nach DIN EN 832, SIA 380/1, PHPP). Das Rechenverfahren nach Leitfaden erfordert deutlich weniger Eingabeaufwand als die Berechnung nach Energiesparverordnung (EnEV, DIN 18599) und erzeugt gleichzeitig realitätsnähere Ergebnisse. Es ist daher für Wirtschaftlichkeitsberechnungen besser geeignet als die EnEV. Wenn eine Berechnung mit dem Passivhaus-Projektierungspaket erstellt wurde, können die Werte von dort direkt übernommen werden.

5.2 Heizenergiebedarf und Heizkosten

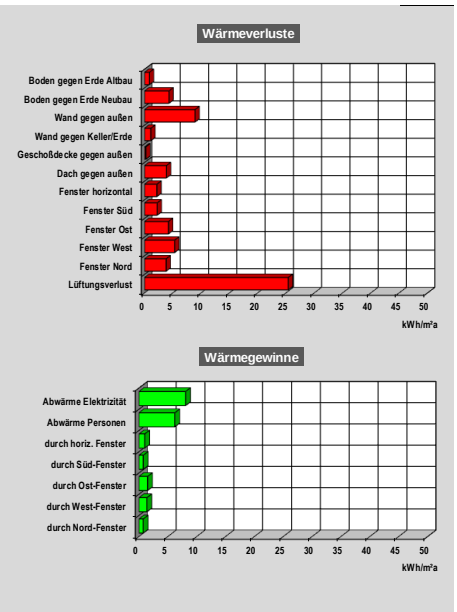
A.	**Allgemeine Daten**						
A1	Liegenschaftsbezeichnung	**Ludwig-Börne-Schule**					
A2	Gebäudebezeichnung	**Alt- und Neubau**					
A3	Straße, Hausnummer	**Lange Straße 30-36**					
A4	**Variante 2**	**EnEV 2009 - 30 %**					
A5	beheizte Nettogrundfläche	5.277	m²	A6	Personenzahl	400	P
B.	**Nutzwärmebedarf**	Warmwasserbed. bei 40°C (l/P,d)		Leistung (kW)	Vollast (h/a)	Bedarf (kWh/a)	**sp. Bedarf (kWh/m²a)**
B1	Heizwärmebedarf					177.983	**33,7**
B2	Warmwasserbedarf	7		50	365	18.250	**3,5**
B3	Kochgasbedarf			0	20	0	**0,0**
C.	**Verteilungsverluste**	Länge x (m)	U*-Wert x (W/mK)	delta T x (K)	HTx0,024= (kh/a)	Verlust (kWh/a)	**sp. Verlust (kWh/m²a)**
C1	Heizungsverteilverlust	0	0,20	45	5,26	0	**0,0**
	(nur im unbeheizten Bereich!)	Fläche x (m²)	U-Wert x (W/m²K)	delta T x (K)	1,5x8,76 = (kh/a)	Verlust (kWh/a)	**sp. Verlust (kWh/m²a)**
C2	Speicherverlust	6	0,45	40	13,14	1.419	**0,3**
		Länge x (m)	U*-Wert x (W/mK)	delta T x (K)	bZx0,365= (kh/a)	Verlust (kWh/a)	**sp. Verlust (kWh/m²a)**
C3	Zirkulationsverlust	40	0,20	20	4,38	701	**0,1**
C4	**Summe Wärmebedarf**	= Nutzwärmebedarf + Verteilungsverluste				198.353	**37,6**
D.	**Wärmeerzeuger**	Heizenergie-träger		Wärmeleist. x (kW)	Vollnutz. = (h/a)	Wärmeerz. (kWh/a)	**sp. Erzeug. (kWh/m²a)**
D1	Thermische Solaranlage	Sonne		0	850	0	**0,0**
D2	Wärmepumpe	Strom		0	0	0	**0,0**
D3	Fernwärme/Nahwärme	Fernwärme		111	1.793	198.353	**37,6**
D4	Blockheizkraftwerk	Erdgas		0	0	0	**0,0**
D5	Heizkessel/Therme	Erdgas				0	**0,0**
D6	**Summe Wärmeerzeugung**			111		**198.353**	**37,6**
E.	**Heizenergiebedarf**	Heizenergie-träger	1 /	Jahres- x nutzungsgrad	Wärmeerz. = (kWh/a)	HE-Bedarf (kWh/a)	**sp. Bedarf (kWh/m²a)**
E1	Wärmepumpe	Strom		3,00	0	0	**0,0**
E2	Fernwärme/Nahwärme	Fernwärme		0,98	198.353	202.401	**38,4**
E3	Blockheizkraftwerk	Erdgas		0,55	0	0	**0,0**
E4	Heizkessel/Therme	Erdgas		0,98	0	0	**0,0**
E5	**Summe Heizenergiebedarf**					**202.401**	**38,4**
F.	**Heizkosten (brutto)**	Leistung x (kW)	Leist.-preis + (€/kW,a)	HE-Bedarf x (kWh/a)	Arbeit.-preis= (€/kWh)	**Kosten (€/a)**	**sp. Kosten (€/m²a)**
	Energieträger: Tarif						
F1	Strom: Mainova Wärmepumpe	0	0,00	0	0,1835	**0**	**0,0**
F2	Fernwärme: Mainova Basic H	113	23,80	202.401	0,0774	**18.353**	**3,5**
F3	Erdgas: Mainova Garant	0	0,00	0	0,0653	**0**	**0,0**
F4	**Summe Heizkosten**					**18.353**	**3,5**
G.	**Primärenergiebedarf**			Primär- x energiefaktor	HE-Bedarf (kWh/a)	PE-Bedarf (kWh/a)	**sp. Bedarf (kWh/m²a)**
G1	Strom			2,60	0	**0**	**0,0**
G2	Fernwärme			0,69	202.401	**139.050**	**26,4**
G3	Erdgas			1,10	0,00	**0**	**0,0**
G4	**Summe Primärenergie**					**139.050**	**26,4**
H.	**CO_2-Emissionen**			sp.Emiss. x (kg/kWh)	HE-Bedarf (kWh/a)	Emission (kg/a)	**sp. Emiss. (kg/m²a)**
H1	Strom			0,68	0	**0**	**0,0**
H2	Fernwärme			0,17	202.401	**34.408**	**6,5**
H3	Erdgas			0,25	0	**0**	**0,0**
H4	**Summe CO_2-Emissionen**					**34.408**	**6,5**

Zunächst wird die mittlere Raumtemperatur des Gebäudes während der Heizperiode eingegeben. Für verschieden temperierte Zonen kann flächengewichtet gemittelt werden. Die Länge der Heizperiode hängt im Wesentlichen vom Baustandard ab, Anhaltswerte sind im Kommentar hinterlegt. Die Gradtagszahl kann der entsprechenden Hilfetabelle entnommen werden.

Nun 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 hier aber auch direkt eingegeben werden. Die Fensterflächen (nach Orientierung) und die zugehörigen U-Werte müssen auf jeden Fall hier eingegeben werden. Wenn es mehr verschiedene Flächen gibt als in der Vorlage vorhanden sind gibt es zwei Möglichkeiten:

1. Man setzt die Flächen die jeweiligen Summen und für die U-Werte die flächengewichteten Mittelwerte ein. Die Berechnung der Summen und Mittelwerte sollte dann auf einem separaten Blatt nachvollziehbar dargestellt sein.
2. Man fügt zusätzliche Zeilen für die verschiedenen Qualitäten ein. Dann muss man nur aufpassen, dass die Zellbezüge die neuen Zeilen auch erfassen.

Die Excel-Tabelle ist ungeschützt um solche projektspezifischen Anpassungen vorzunehmen. Dafür sind aber gewisse Excel-Kenntnisse notwendig, damit die Berechnung weiterhin zu korrekten Ergebnissen führt. Wenn nur ein bis drei Zeilen fehlen, dann ist es meist einfacher zusätzliche Zeilen einzufügen. Wenn mehr als fünf zusätzliche Zeilen erforderlich wären, dann ist die Berechnung der Summen und flächengewichteten Mittelwerte auf einem separaten Blatt sinnvoll.



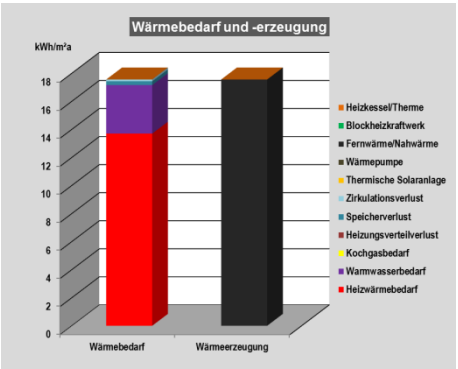
Danach wird der energetisch wirksame Luftwechsel aus dem mittleren Luftwechsel durch Fenster oder Lüftungsanlagen während der Heizperiode, dem Wärmebereitstellungsgrad der Wärmerückgewinnung und der Infiltration über Fugenundichtigkeiten berechnet. Hier stehen wieder Kommentare und Hilfetabellen zur Verfügung.

Die Lüftungswärmeverluste ergeben sich als Produkt aus Nettoluftvolumen (beheizte Netto-Raumfläche x lichte Raumhöhe), energetischem Luftwechselzahl, spezifischer Wärme von Luft und Gradtagszahl.

Mit diesen Werten wird nun unmittelbar der Wärmebedarf nach DIN 4701 für die Auslegungstemperatur (in Frankfurt: -12°C) berechnet.
Die freie Wärme ergibt sich aus der Abwärme durch Elektrizität (übernommen aus den Tabellen 6.1 – 6.5), der Personenzahl sowie der solaren Einstrahlung. Hier muss nur die mittlere Wärmeabgabe der Personen (Erwachsene: 100 W/P, Kinder: 70 W/P), die mittlere tägliche Aufenthaltsdauer der Personen und der Gesamtenergiedurchlassgrad (g-Wert) der Fenster eingetragen werden. Eventuell sind der Rahmenanteil f_r und der Faktor für Beschattung und Verschmutzung f_b anzupassen (siehe Hilfetabellen).
Aus den genannten Daten kann dann der spezifische Heizwärmebedarf berechnet werden. Gleichzeitig erfolgt eine Überprüfung, ob das Passivhauskriterium (Heizwärmebedarf <= 15,5 kWh/m²a) eingehalten wird.
Am Ende des Blattes werden die Wärmeverluste und die Wärmegewinne für jede Variante grafisch dargestellt.

5.X Heizenergiebedarf und Heizkosten

In den nächsten Blättern werden der Heizenergiebedarf und die Heizkosten berechnet. Hier muss zunächst der Warmwasserbedarf in Liter pro Person und Tag eingegeben werden (sofern die Erwärmung mit der Heizungsanlage erfolgt, die elektrische Warmwasser-erzeugung wird in den Tabellen 6.X erfasst). Zusätzlich wird (sofern vorhanden) der Kochgasbedarf über die Anschlussleistung und die jährlichen Volllaststunden erfasst. Die jährlichen Volllaststunden (h/a) ergeben sich als Produkt aus den täglichen Volllaststunden (h/d), den Nutzungstagen pro Woche (d/w) und den Nutzungswochen pro Jahr (w/a).
Danach werden die Verteilungsverluste abgeschätzt. Die Daten zur Heizungsverteilung (nur im unbeheizten Bereich!), zum Speicher und zur Zirkulation können der Fachplanung entnommen werden. Der Wärmebedarf ergibt sich dann als Summe aus dem Nutzwärmebedarf und den Verteilungsverlusten.
Nun können als Wärmeerzeuger fünf verschiedene Typen gewählt werden: thermische Solaranlagen, Wärmepumpen, Fern-/Nahwärme, Blockheizkraftwerke und Heizkessel/Thermen. Abgesehen von der thermischen Solaranlage kann der Energieträger jeweils frei gewählt werden. Danach ist die installierte Wärmeleistung einzutragen. Für Fern-/Nahwärme wird automatisch der Wärmebedarf aus Blatt 4.X vorgeschlagen bei dem Heizkessel bzw. der Therme abzüglich der vom Blockheizkraftwerk gelieferten Wärmeleistung. Es wird dabei davon ausgegangen, dass die thermische Solaranlage und die Wärmepumpe am Auslegungspunkt (-12°C) nicht zur Verfügung stehen. Da Fern-/Nahwärme und Kessel/Therme praktisch nie gleichzeitig in einer Liegenschaft vorkommen, ist der unzutreffende Wert zu löschen.
Die Vollbenutzungsstunden von Solaranlage, Wärmepumpe und Blockheizkraftwerk müssen der Planung entnommen werden. Die Vollbenutzungsstunden von Fern-/Nahwärme und Kessel/Therme werden automatisch aus dem Wärmebedarf und der Wärmeleistung berechnet.
Zur Ermittlung des Heizenergiebedarfs sind die Wärmemengen nun noch durch den Jahresnutzungsgrad der Wärmeerzeuger zu dividieren. Hier sind bereits Standardwerte eingetragen, die durch spezifische Planungsergebnisse ersetzt werden können.
Danach können die Heizkosten für bis zu drei verschiedene Energieträger ermittelt werden. Für Wärmepumpenstrom, Fernwärme und Erdgas sind bereits Leistungs- und Arbeitspreise des örtlichen Energieversorgers eingetragen. Wenn andere Energieträger (z.B. Holzpellets) verwendet werden, müssen hier die zugehörigen Preise eingesetzt werden.
Anschließend wird mit den gängigen Primärenergiefaktoren der Primärenergiebedarf berechnet um die Vergleichbarkeit mit der Energieein-sparverordnung (EnEV) herzustellen. Standardwerte sind bereits eingetragen, weitere Werte finden sich in der zugehörigen Hilfetabelle.
Schließlich werden mit den tabellierten Emissions-



faktoren nach www.gemis.de noch die Emissionen des Heizsystems berechnet. Am Ende des Blattes werden der Wärmebedarf und die Wärmeerzeugung für jede Variante grafisch dargestellt.

6.X Strombedarf und Stromkosten

In diesen Blättern werden der Strombedarf und die Stromkosten berechnet. Die Systematik der Berechnung wurde dem "Leitfaden Elektrische Energie im Hochbau" des Landes Hessen entnommen (Basis: SIA 380/4). Der Strombedarf ergibt sich stets als Produkt aus Leistung und Volllaststunden. Die jährlichen Volllaststunden (h/a) ergeben sich als Produkt aus den täglichen Volllaststunden (h/d), den Nutzungstagen pro Woche (d/w) und den Nutzungswochen pro Jahr (w/a).

6.3 Strombedarf und Stromkosten

A.	**Allgemeine Daten**					
A1	Liegenschaftsbezeichnung	**Ludwig-Börne-Schule**				
A2	Gebäudebezeichnung	**Alt- und Neubau**				
A3	Straße, Hausnummer	**Lange Straße 30-36**				
A4	**Variante 3**	**Passivhaus (ausgeführte Variante)**				
A5	beheizte Nettogrundfläche	5.277 m²	A6 Personenzahl		400	P
B.	**Beleuchtung**	(Mittelwerte für Gebäude)	Leistung x	Vollast =	Bedarf	**sp.Bedarf**
B1	mittlere Beleuchtungsstärke	250 lux	(kW)	(h/a)	(kWh/a)	**(kWh/m²a)**
B2	Raumbeleuchtung	**2,5** W/m²,100lux	33	900	29.700	**5,6**
B3	Außen- und Sicherheitsbeleuchtung		2	2.920	5.840	**1,1**
C.	**Lüftung**	**39** m³/P,h	Leistung x	Vollast =	Bedarf	**sp. Bedarf**
C1	Luftvolumenstrom	15.422 m³/h	(kW)	(h/a)	(kWh/a)	**(kWh/m²a)**
C2	Lüftung (Ventilatoren + Regel.)	**0,41** Wh/m³	6,33	1.000	6.330	**1,2**
D.	**Klimatisierung**		Leistung x	Vollast =	Bedarf	**sp. Bedarf**
D1	Kälteleistung	0 kW(th)	(kWel)	(h/a)	(kWh/a)	**(kWh/m²a)**
D2	Klimatisierung (Kompressor, Pumpen, Regelung)		0,0	500	0	**0,0**
D3	Summe Lüftung + Klima				6.330	**1,2**
E.	**Hilfsenergie Heizung**	(Brenner, Pumpen etc.)	Leistung x	Vollast =	Bedarf	**sp. Bedarf**
E1	Wärmebedarf	18 kWh/m²a	(kW)	(h/a)	(kWh/a)	**(kWh/m²a)**
E2	Hilfsenergie Heizung (Brenner, Pumpen, Regelung)		1,8	2.500	4.500	**0,9**
F.	**Diverse Haustechnik**	(Transport, Kommunikation)	Leistung x	Vollast =	Bedarf	**sp. Bedarf**
F1	Transportleistung	0 Personen	(kW)	(h/a)	(kWh/a)	**(kWh/m²a)**
F2	Aufzüge		6,0	200	1.200	**0,2**
G.	**Arbeitshilfen**	(PCs, Kaffeemaschinen)	Leistung x	Vollast =	Bedarf	**sp. Bedarf**
G1	Anzahl PC-Arbeitsplätze	115	(kW)	(h/a)	(kWh/a)	**(kWh/m²a)**
G2	PC-Arbeitsplätze	75 W/Arbeitspl.	8,6	1.600	13.800	**2,6**
G3	Kopierer, Beamer, Kaffeemaschinen ...		0,0	1.600	0	**0,0**
H.	**Zentrale Dienste**	(zentr. EDV, Waschm.)	Leistung x	Vollast =	Bedarf	**sp. Bedarf**
H1	Küche: Essen/Tag	320 E/d	(kW)	(h/a)	(kWh/a)	**(kWh/m²a)**
H2	Küchen (Herde, Konvektomaten, Kühltheken, Spülm.)		75,0	293	21.975	**4,2**
H3	Server, USV, BMZ, TK, Stockwerksverteiler		1,5	8.760	13.140	**2,5**
H4	Werkstätten, Waschmaschinen ...		0,0	0	0	**0,0**
I.	**Warmwasser (elektr.)**	Warmwasserbed. bei 40°C	Leistung x	Vollast =	Bedarf	**sp. Bedarf**
		(l/P,d)	(kW)	(h/a)	(kWh/a)	**(kWh/m²a)**
I2	Warmwasserbereitung el.	7	0,0	0	0	**0,0**
K.	**Summe Strombedarf**		Leistung		Bedarf	**sp. Bedarf**
K1	**Summe Strombedarf**		132		**96.485**	**18,3**
L.	**Eigenstromerzeugung**		Leistung x	Vollast =	Arbeit	**sp. Arbeit**
L1	Photovoltaik, Blockheizkraftwerk		0,0	850	0	**0,0**
L2	Stromeinspeisung in das Hausnetz				0	**0,0**
L3	Stromeinspeisung in das EVU-Netz				0	**0,0**
L4	**Strombezug aus dem EVU-Netz**		112,4		**96.485**	**18,3**
M.	**Stromkosten (brutto)**	Leistung x	Leist.-preis+	Arbeit x	Arb.preis	Kosten	**sp. Kosten**
M1	Tarif Mainova Power 2 2011	(kW)	(€/kW,a)	(kWh/a)	(€/kWh)	(€/a)	**(€/m²a)**
M2	Leistungsbezugskosten	112	109,10			12.265	**2,3**
M3	Strombezugskosten Hochtarif			77.188	0,207	15.955	**3,0**
M4	Strombezugskosten Niedertarif			19.297	0,207	3.989	**0,8**
M5	Einpeisevergütung			0	0,110	0	**0,0**
M6	**Stromkosten = Leistungskosten + Bezug HT + NT - Einspeisevergütung**					**32.208**	**6,1**
N.	**CO_2-Emissionen**		(Strombez.- | Einspeis.)x	sp.Emis. =	Emission	**sp. Emis.**
			(kWh/a)	(kWh/a)	(kg/kWh)	(kg/a)	**(kg/m²a)**
N1	**CO_2-Emissionen**		96.485	0	0,68	**65.610**	**12,4**

Wie in den anderen Formblättern kann der spezifische Strombedarf wieder als Quotient aus dem jährlichen Strombedarf und der Energiebezugsfläche errechnet werden.

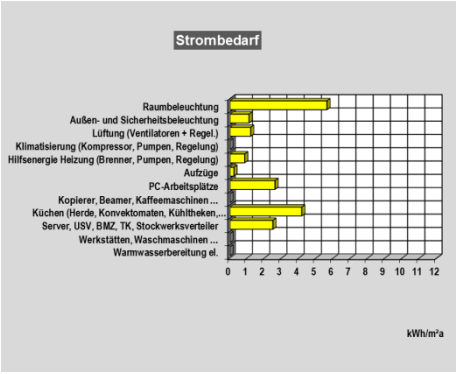
Für die Raumbeleuchtung ist der flächengewichtete Mittelwert für die Beleuchtungsstärke zu überprüfen (typisch: ca. 250 lux) und die elektrische Leistung im Betrieb einzusetzen. Für die Vollaststunden ist bereits ein typischer Wert eingetragen. Genauere Werte sind den Hilfetabellen zu entnehmen. Zusätzlich zum Strombedarf wird die Stromeffizienz in W/m²,100lux berechnet. Dieser Wert kann direkt mit dem Grenzwert (2,0 W/m²,100lux) und dem Zielwert (1,0 W/m²,100lux) aus den Leitlinien zum wirtschaftlichen Bauen verglichen werden.

Wenn es mehrere unterschiedliche Beleuchtungsanlagen gibt, dann sollten diese auf einem separaten Blatt mit den zugehörigen Flächen, Soll-Beleuchtungsstärken, elektrischen Leistungen im Betrieb und Vollaststundenzahlen aufgeführt werden, damit man die Leistungssumme und die leistungsgemittelte Vollaststundenzahl nachvollziehen kann.

Für die Lüftung sind der Luftvolumenstrom und die elektrische Leistung im Betrieb in kW einzutragen. Für die Vollaststunden ist bereits ein typischer Wert eingetragen. Genauere Werte sind den Hilfetabellen zu entnehmen. Zur Kontrolle wird der Luftwechsel pro Person in m³/P,h berechnet. Dieser sollte bei einer reinen Passivhauslüftung ca. 20 m³/P,h betragen. Außerdem wird die Stromeffizienz der Lüftungsanlage in Wh/m³ berechnet. Nach den Leitlinien zum wirtschaftlichen Bauen sollte dieser Wert max. 0,45 Wh/m³ betragen.

Wenn es mehrere Lüftungsanlagen gibt, dann sollten diese auf einem separaten Blatt mit den zugehörigen Flächen, Personenzahlen, Luftmengen, elektrischen Betriebsleistungen und Vollaststunden aufgeführt werden, damit man die Leistungssumme und die leistungsgemittelte Vollaststundenzahl nachvollziehen kann.

Unter dem Punkt Klimatisierung kann der Strombedarf für die aktive Kälteerzeugung erfasst werden. Die Vollaststunden können der Hilfetabelle oder besser einer thermischen Gebäudesimulation entnommen werden.



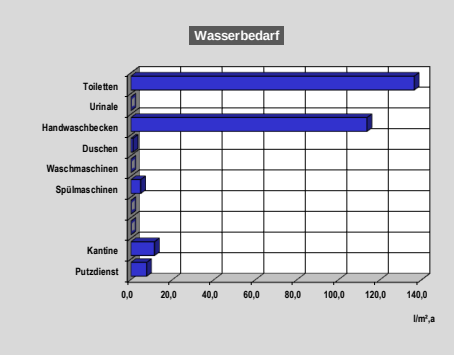
Bei Hilfsenergie Heizung sind die Anschlussleistungen für Brenner, Pumpen und Heizungsregelungen zu erfassen. Für die Vollaststunden ist bereits ein typischer Wert eingetragen. Genauere Werte sind den Hilfetabellen zu entnehmen. Der Grenzwert für die Hilfsenergie Heizung (Pumpen und Brenner) liegt bei 0,8 kWh/m²a 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 die elektrische Warmwasserbereitung erfasst. Bei Küchen gibt es regelmäßig hohe Anschlussleistungen, aber relativ niedrige Volllaststundenzahlen. Anhaltswert für eine energieeffiziente Küche ist ein Primärenergiebedarf von 2 kWh pro warmer Mahlzeit. Damit kommt man in der Regel auf Volllastsunden von 400 h/a.
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 sollte. Hier sind die Lastprofile aus der automatischen Verbrauchserfassung[2] hilfreich.
Mit den Konditionen des Stromversorgers (Leistungspreis, Arbeitspreis HT und NT, Einspeisevergütung) können dann die Stromkosten berechnet werden.
Die CO_2-Emissionen lassen sich wieder einfach über den vorgegebenen Emissionsfaktor berechnen. Am Ende des Blattes wird der Strombedarf für jede Variante grafisch dargestellt.

7.X Wasserbedarf und Wasserkosten

Die letzten Kalkulationsblätter dienen der Berechnung des Wasserbedarfs und der Wasserkosten.
Der Bedarf für die Toilettenspülung berechnet sich als Produkt aus der Spülmenge (l/Spül.), der Spülhäufigkeit (Spül./P,d), den Nutzungstagen (d/a) und der Personenzahl (P). Typische Werte für die Spülhäufigkeit in Schulen sind bereits eingetragen und in den Hilfetabellen enthalten. Analog kann der Bedarf für Urinale, Handwaschbecken, Duschen, Waschmaschinen, Spülmaschinen, 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) ergeben sich die Wasserkosten. Ende des Blattes wird der Wasserbedarf für jede Variante grafisch dargestellt.



Fazit

Mit der Gesamtkostenberechnung steht ein differenziertes, aber leicht zu bedienendes Verfahren für Lebenszykluskostenberechnungen und Wirtschaftlichkeitsanalysen in allen Bereichen des Facility-Management zur Verfügung. Berechnungen aus anderen Programmen können leicht verwendet und eingepflegt werden.

[2] energiemanagement.stadt-frankfurt.de Menüpunkt „Automatische Verbrauchserfassung“