

## Erläuterungen zur Gesamtkostenberechnung (Version 13.8 vom 02.02.2016)

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 Hochbauamtes 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 [www.energiemanagement.stadt-frankfurt.de](http://www.energiemanagement.stadt-frankfurt.de) (Menüpunkt „Gesamtkostenberechnung“) allen interessierten Nutzern frei zur Verfügung. Mit der Amtsverfügung des Hochbauamtes Nr. 23/2007 wurde festgelegt, dass das Verfahren für alle Kostenschätzungen und -berechnungen ab 250.000 € 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 Ergebnissfelder 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 Nettogrundfläche.

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).

### 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

A. Allgemeine Daten		Eingabefelder: weiß, Ergebnissfelder: 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	Annuitätenfaktor	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	Personenanzahl	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 <sub>2</sub> -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				0	0	€
D3	= Eigenkapitalersatz	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	0	0	€/a
E5	Betriebsführungskosten	26.385	26.385	26.385	0	0	€/a
E6	Instandhaltungskosten	100.050	99.675	112.238	0	0	€/a
E7	Verwaltung+Versicherung	5.277	5.277	5.277	0	0	€/a
E8	heutige Betriebskosten	273.257	268.477	255.031	0	0	€/a
E9	mittl. Betriebskosten	583.771	568.603	504.471	0	0	€/a
E10	spez. Betriebskosten	111	108	96	0	0	€/m²a
F. Umweltfolgekosten		Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	
F1	CO <sub>2</sub> -Emissionen (50 €/t)	7.094	6.671	4.138	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. Umweltfolgekosten	2	2	1	0	0	€/m²a
G. Gesamtkosten		Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	
G1	Gesamtkosten	1.089.386	1.074.951	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			€

und die Preissteigerungsrate zu überprüfen. Der Betrachtungszeitraum kann der dem Verfahren beigefügten Hilfetabelle entnommen werden. Für Neubauten und Gesamtanierungen sind 50 Jahre anzusetzen. Der Kapitalzins entspricht den aktuellen KfW-Kommunalkreditkonditionen<sup>1</sup> (derzeit ca. 2 %/a). Bei den Preissteigerungsraten für Energie und sonstiges sind die Werte des statistischen Bundesamtes für die letzten 10 Jahre einzusetzen (derzeit: Energie ca. 4 %/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 Nettogrundfläche und die mittlere Personenzahl während der Nutzungszeit eingegeben werden. Die übrigen Kenngrößen (spez. Heizwärmebedarf, spez. Heizenergiebedarf, spez. Strombezug, spez. Primärenergiebedarf, spez. CO<sub>2</sub>-Emissionen 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) mit dem Annuitätsfaktor multipliziert und schließlich auf die Fläche bezogen.

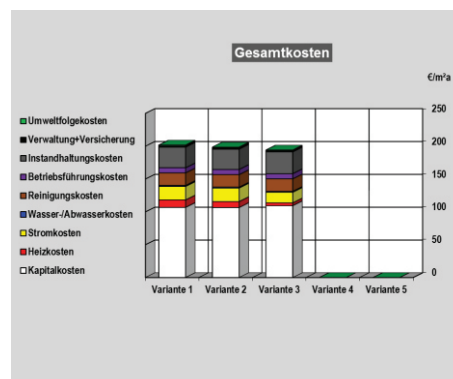
Dann werden die heutigen Betriebskosten (Heizkosten, Stromkosten, Wasserkosten, Instandhaltungskosten) aus den andern Rechenblättern übertragen. Zusätzlich können hier die Kosten für Reinigung, Betriebsführung, Verwaltung und Versicherung eingetragen werden. Dazu werden automatisch die Werte aus den 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 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. 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.



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

In diesen Hilfs-Blättern kann für jedes Außenbauteil der Schichtenaufbau mit den Parametern Dicke, Preis/Volumen und Wärmeleitfähigkeit (lambda) eingetragen werden. Dafür steht eine Hilfetabelle mit verschiedenen Baustoffen zur Verfügung. Daraus wird dann ein spezifischer Bauteilpreis in €/m<sup>2</sup>, und der Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) berechnet. Dies ist aber nur erforderlich, wenn mit dem Programm z.B. Optimierungen der

<sup>1</sup> <https://www.kfw-formularsammlung.de/Konditionenanzeiger/Net/KonditionenAnzeiger>

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. 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).

### 3.X Bau- und Instandhaltungskosten

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 Nettogrundfläche 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. 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.

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

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	Passivhaus (ausgeführte Variante)							
A5	beheizte Nettogrundfläche	5.277 m²	A6	Personenanzahl	400 P				
B. Kosten nach DIN 276									
(alle Kosten netto)		Baukosten		Invest./NGF	Instandhaltung				
		(€)	(€/m²)	(€/m²)	(%/a)	(€/a)			
100	Grundstück	0	0	0	0	0			
200	Herrichten und Erschließen	1.155.587	219	0	0	0			
300	Bauwerk								
	Baukonstruktion	(m²)	sp. Preis (€/m²)	Baukosten (€)	Invest./NGF (€/m²)	Instandhaltung (%/a)	(€/a)		
310	Baugrube	2.438	45	110.076	21	0	0		
320	Gründung: Fundamente	780	987	770.016	146	0	0		
	Gründung: Bodenaufbauten	(m²)	(€/m²)	(€)	(€/m²)	(%/a)	(€/a)		
	Boden gegen Erde Altbau	365	103	37.595	7	0,5%	188		
	Boden gegen Erde Neubau	796	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		
	Dächer	(m²)	(€/m²)	(€)	(€/m²)	(%/a)	(€/a)		
340	Innenwände	(m²)	(€/m²)	(€)	(€/m²)	(%/a)	(€/a)		
	Innenwände	3.200	211	675.200	128	0,5%	3.376		
	Innen Türen 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		
	Einzelige 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		
	Dächer	0	0	0	0	0,8%	0		
370	- 390 sonstige Baukonstruktion			294.561	56	0,5%	1.473		
300	Summe Baukonstruktion			6.067.864	1.148	0,5%	30.563		
400	Bauwerk								
	Technische Anlagen								
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			444.811	84	1,5%	6.669		
450	Fernwärme- und Informations-technische 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			1.916.800	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 Aufwindung 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		

den vorigen Rechenblättern übernommen, können hier aber auch direkt eingegeben oder geändert werden (auch das Einfügen weiterer Zeilen ist möglich). Die Fensterflächen (nach Orientierung) und die zugehörigen U-Werte müssen auf jeden Fall hier eingegeben werden. 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.

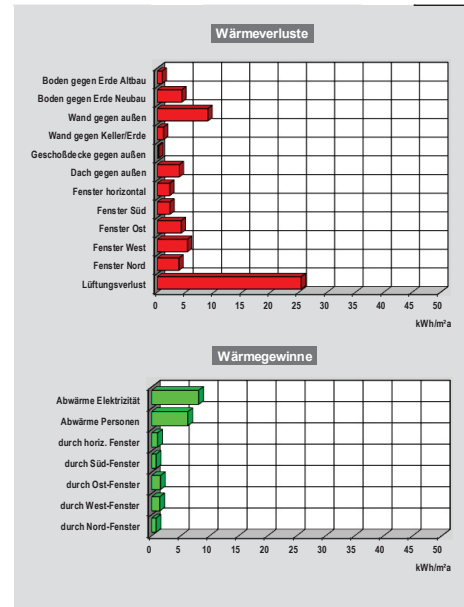
Die Lüftungswärmeverluste ergeben sich als Produkt aus Nettoluftvolumen (beheizte Nettogrundfläche x lichte Raumhöhe), energetischer Luftwechselzahl, spezifischer Wärme von Luft und Gradtagszahl.

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  $\leq 15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ ) 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 Warmwassererzeugung 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

### 5.2 Heizenergiebedarf und Heizkosten

A. Allgemeine Daten								
A1	Legenschaftsbezeichnung	Ludwig-Börne-Schule						
A2	Gebäudebezeichnung	Alt- und Neubau						
A3	Straße, Hausnummer	Lange Straße 30-36						
A4	Variante	EnEV 2009 - 30 %						
A5	beheizte Nettogrundfläche	5.277 m²		A6 Personenzahl		400 P		
B. Nutzwärmebedarf		Wärmewasserbed. bei 40°C (l/Pd)		Leistung (kW)		Volllast (h/a)		Bedarf (kWh/a)
B1	Heizwärmebedarf							177.983
B2	Warmwasserbedarf	7		50		365		18.250
B3	Kochgasbedarf			0		20		0,0
C. Verteilungsverluste		Länge x U-Wert x (Wlnk)		delta T (K)		HTX0,024= (h/a)		Verlust (kWh/a)
C1	Heizungsverlust (nur im unbeheizten Bereich!)	0		0,20		45		5,26
		Fläche x (m²)		delta T (K)		1,5x8,76= (h/a)		Verlust (kWh/a)
C2	Speicherungsverlust	6		0,45		40		13,14
		Länge x U-Wert x (Wlnk)		delta T (K)		bZX0,365= (h/a)		Verlust (kWh/a)
C3	Zirkulationsverlust	40		0,20		20		4,38
D. Summe Wärmebedarf		= Nutzwärmebedarf + Verteilungsverluste						
		198.353						
D. Wärmeerzeuger		Heizenergie-träger		Wärmelast x (kW)		Vollnutz. = (h/a)		Wärmeerzeug. sp. Erzeug. (kWh/m²a)
D1	Thermische Solaranlage	Sonne		0		850		0,0
D2	Wärmepumpe	Strom		0		0		0,0
D3	Fernwärme/Nahwärme	Fernwärme		111		1.793		198.353
D4	Blockheizwerk	Erdgas		0		0		0,0
D5	Heizkessel/Therme	Erdgas		0		0		0,0
D6	Summe Wärmeerzeugung			111				198.353
E. Heizenergiebedarf		Heizenergie-träger		1/ Jahres- nutzungsdg. (kWh/a)		Wärmeerz. = (kWh/a)		HE-Bedarf x sp. Bedarf (kWh/m²a)
E1	Wärmepumpe	Strom		3,00		0		0,0
E2	Fernwärme/Nahwärme	Fernwärme		0,98		198.353		202.401
E3	Blockheizwerk	Erdgas		0,55		0		0,0
E4	Heizkessel/Therme	Erdgas		0,98		0		0,0
F. Summe Heizenergiebedarf								202.401
F. Heizkosten (brutto)		Leistung x (kW)		Lastpreis= (€/kWh)		HE-Bedarf x (kWh/a)		Arbeit-preis= (€/a)
Energieträger: Tarif								Kosten sp. Kosten (€/m²a)
F1	Strom: Manova Wärmepumpe	0		0,00		0		0,1835
F2	Fernwärme: Manova Gasch	113		23,80		202.401		0,0774
F3	Erdgas: Manova Gasch	0		0,00		0		0,0653
F4	Summe Heizkosten							18.353
G. Primärenergiebedarf				Primär- x energiefaktor (kWh/a)		HE-Bedarf (kWh/a)		PE-Bedarf x sp. Bedarf (kWh/m²a)
G1	Strom			2,60		0		0,0
G2	Fernwärme			0,69		202.401		139.050
G3	Erdgas			1,10		0		0,0
H. Summe Primärenergie								139.050
H. CO2-Emissionen				sp. Emiss. (kg/kWh)		HE-Bedarf (kWh/a)		Emission (kg/a)
								sp. Emiss. (kg/m²a)
H1	Strom			0,68		0		0,0
H2	Fernwärme			0,17		202.401		34.408
H3	Erdgas			0,25		0		0,0
H4	Summe CO2-Emissionen							34.408



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/Therne praktisch nie gleichzeitig in einer Liegenschaft vorkommen, ist der unzutreffende Wert zu löschen.

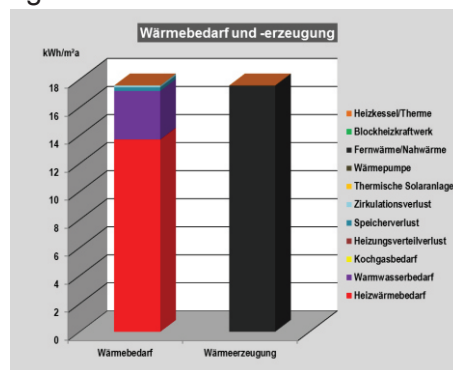
Die Vollbenutzungsstunden von Solaranlage, Wärmepumpe und Blockheizkraftwerk müssen der Planung entnommen werden. Die Vollbenutzungsstunden von Fern-/Nahwärme und Kessel/Therne werden automatisch aus dem Wärmebedarf und der Wärmeleistung berechnet.

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 Energieeinsparverordnung (EnEV) herzustellen. Standardwerte sind bereits eingetragen, weitere Werte finden sich in der zugehörigen Hilfetabelle.

Schließlich werden mit den tabellierten Emissionsfaktoren nach [www.gemis.de](http://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).

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 Anschlussleistung einzusetzen. Für die Volllaststunden 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 (2,5 W/m²,100lux) und dem Zielwert (2W/m²,100lux) aus den Leitlinien zum wirtschaftlichen Bauen verglichen werden.

Für die Lüftung ist der Luftvolumenstrom und die Anschlussleistung in kW einzutragen. Für die Volllaststunden 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

### 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		Passivhaus (ausgeführte Variante)							
A5	beheizte Nettogrundfläche		5.277 m²	A6	Personenanzahl		400 P			
B	Beleuchtung									
B1	Mittelwerte für Gebäude		Leistung x	Vollast =	Bedarf	sp. Bedarf				
B2	mittlere Beleuchtungsstärke		250 lux	(kW)	(h/a)	(kWh/a)	(kWh/m²/a)			
B3	Raumbeleuchtung		33 W/m², 100lux	33	900	29.700	5,6	1,1		
B4	Außen- und Sicherheitsbeleuchtung		2,5 W/m², 100lux	2	2.920	5.840	1,1	1,1		
C	Lüftung									
C1	Luftvolumenstrom		15.422 m³/h	(kW)	(h/a)	(kWh/a)	(kWh/m²/a)			
C2	Lüftung (Ventilator + Regel)		0,41 kWh/m³	6,33	1.000	6.330	1,2	1,2		
D	Klimatisierung									
D1	Kälteleistung		(kW/h)	Leistung x	Vollast =	Bedarf	sp. Bedarf			
D2	Klimatisierung (Kompressor, Pumpen, Regelung)		(kW/h)	(h/a)	(kWh/a)	(kWh/m²/a)				
D3	Summe Lüftung + Klima			0,0	500	6.330	1,2	1,2		
E	Hilfeenergie Heizung									
E1	Wärmebedarf (Brenner, Pumpen, etc.)		Leistung x	Vollast =	Bedarf	sp. Bedarf				
E2	Hilfeenergie Heizung (Brenner, Pumpen, Regelung)		18 kWh/m²a	(kW)	(h/a)	(kWh/a)	(kWh/m²/a)			
F	Druck- und Technik									
F1	Transport, Kommunikation		Leistung x	Vollast =	Bedarf	sp. Bedarf				
F2	Aufzüge		0 Personen	(kW)	(h/a)	(kWh/a)	(kWh/m²/a)			
G	Arbeitsplätze (PCs, Kaffeemaschinen)									
G1	Anzahl PC-Arbeitsplätze		115	Leistung x	Vollast =	Bedarf	sp. Bedarf			
G2	PC-Arbeitsplätze		75 kWh/Arbeitspl.	(kW)	(h/a)	(kWh/a)	(kWh/m²/a)			
H	Küchen, Beamer, Kaffeemaschinen									
H1	Zentrale Dienste (zentr. EDV, Waschm.)		Leistung x	Vollast =	Bedarf	sp. Bedarf				
H2	Küche: Essen/Tag		320 E/Tag	(kW)	(h/a)	(kWh/a)	(kWh/m²/a)			
H3	Küchen (Herde, Konvektoren, Kühlhilfen, Spül.)		75,0	293	21.975	4,2	4,2			
H4	Server, USV, BMZ, TK, Stokwerkverleiher		1,5	8.760	13.140	2,5	2,5			
I	Wärmewasser, Waschmaschinen									
I1	Wärmewasser (elektr.)		Leistung x	Vollast =	Bedarf	sp. Bedarf				
I2	Wärmewasserbereitung el. (IP,d)		Wärmebedarf: bei 60°C	(kW)	(h/a)	(kWh/a)	(kWh/m²/a)			
K	Summe Strombedarf									
K1	Summe Strombedarf		Leistung	132	Bedarf	96.485	18,3	18,3		
L	Einspeisungsvergütung									
L1	Photovoltaik, Blockheizkraftwerk		Leistung x	Vollast =	Arbeitspreis	sp. Arbeitspreis				
L2	Stromeinspeisung in das Hausnetz		0,0	0	850	0	0,0			
L3	Stromeinspeisung in das EVU-Netz		0,0	0	1.600	0	0,0			
M	Strombezug aus dem EVU-Netz									
M1	Stromkosten (brutto)		112,4	Leistung x	Arbeitspreis	Kosten	sp. Kosten			
M2	Tart Manova Power 2 2011		112	Leistung x	Arbeitspreis	Kosten	sp. Kosten			
M3	Leistungsbezugskosten		109,10	(kW)	(€/kWh)	(€/a)	(€/m²/a)			
M4	Strombezugskosten Hochtarif		77.188	0,207	15.955	3,0	3,0			
M5	Strombezugskosten Niedertarif		19.297	0,207	3.989	0,8	0,8			
M6	Empfehlungsvergütung		0	0,110	0	0,0	0,0			
N	Stromkosten + Leistungskosten + Bezug HT + NT - Einspeisungsvergütung									
N1	CO <sub>2</sub> -Emissionen		Strombez. + Leistungsbezug + Bezug HT + NT - Einspeisungsvergütung	(kWh/a)	(kg/kWh)	Emission	sp. Emission			
N2	CO <sub>2</sub> -Emissionen		96.485	0	0,68	65.610	12,4	12,4		

Stromeffizienz der Lüftungsanlage in  $\text{Wh/m}^3$  berechnet. Nach den Leitlinien zum wirtschaftlichen Bauen sollte dieser Wert max.  $0,45 \text{ Wh/m}^3$  betragen.

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.

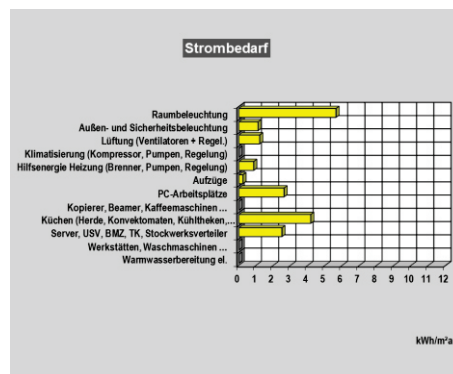
Bei Hilfsenergie Heizung sind die Anschlussleistungen für Brenner, Pumpen und Heizungsregelungen zu erfassen. Für die Vollaststunden ist bereits ein typischer Wert eingetragen. Genauere Werte sind den Hilfetabellen zu entnehmen. Der Grenzwert für die Hilfsenergie Heizung (Pumpen und Brenner) liegt bei  $0,8 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  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 die 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 sollte. Hier sind die Lastprofile aus der automatischen Verbrauchserfassung<sup>2</sup> hilfreich.

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

Die  $\text{CO}_2$ -Emissionen lassen sich wieder einfach über den vorgegebenen Emissionsfaktor berechnen. Am Ende des Blattes wird der Strombedarf für jede Variante grafisch dargestellt.



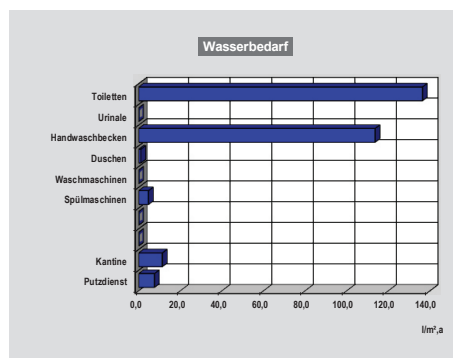
## 7.X Wasserbedarf und Wasserkosten

Die letzten Kalkulationsblätter dienen der Berechnung des Wasserbedarfs und der Wasserkosten.

Der Bedarf für die Toilettenspülung berechnet sich als Produkt aus der Spülmenge ( $\text{l/Spül.}$ ), der Spülhäufigkeit ( $\text{Spül./P,d}$ ), den Nutzungstagen ( $\text{d/a}$ ) 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 Wirtschaftlichkeitsanalysen in allen Bereichen des Facility-Management zur Verfügung. Berechnungen aus anderen Programmen können leicht verwendet und eingepflegt werden.

<sup>2</sup> [www.energiemanagement.stadt-frankfurt.de](http://www.energiemanagement.stadt-frankfurt.de) Menüpunkt „Automatische Verbrauchserfassung“