

10 Jahre Erfahrungen der Stadt Frankfurt a.M. mit öffentlichen Gebäuden in Passivhaus-Qualität

Dipl.-Ing. Mathias Linder

Leiter der Abteilung Energiemanagement im Hochbauamt Frankfurt a.M.
Gerbermühlstraße 48, D - 60594 Frankfurt, mathias.linder@stadt-frankfurt.de

1 Überblick über die Projekte

Im Jahr 2004 wurde in Frankfurt a.M. mit der Grundschule Riedberg das erste öffentliche Gebäude in Passivhaus-Qualität fertiggestellt. Seither wurden von der Stadt Frankfurt weitere 61 Projekte im Passivhaus-Standard errichtet, darunter Feuerwachen, Jugendhäuser, Kindertagesstätten, Schulen bzw. Schulerweiterungen, Schulmensen, Sportfunktionsgebäude und Turnhallen. Weitere 42 Projekte befinden sich in Planung oder im Bau.



Abbildung 1-6: Passivhaus-Neubauprojekte der Stadt Frankfurt a.M. (KT Eulenberg, Ziehenschule, KT Griesheim, Ludwig-Börne-Schule, Grundschule Kalbach, IGS Nordend)

Liegenschaft	Straße	Nr	zusätzliche Objektbezeichnung	NGF (m²)	Projektkosten (€)	Fertigstellung
Albert-Schweitzer-Schule	Berkersheimer Weg	26	Schulmensa + Verwaltung	676	2.800.000	Dez 11
Albrecht-Dürer-Schule	Sossenheimer Riedstraße	13	Turnhalle	801	2.989.980	Aug 11
Astrid-Lindgren-Schule und KT 90 und KT 92	Platenstraße	75	Turnhalle	976	3.091.989	Okt 11
Bereichswache 30	Westerbachstraße	175	Feuerwache	2.500	7.500.000	Dez 11
Bereichswache 41	Schwanheimer Straße	140	Feuerwache	1.400	4.100.000	Nov 09
Bonifatiuschule	Hamburger Allee	43	Turnhalle	882	2.999.182	Nov 09
Carlo-Mierendorff-Schule	Gravensteiner-Platz	2	Schulmensa + Fachklassen	700	3.612.000	Sep 11
Ebelfeldschule und KT Rödelheim	Praunheimer Hohl	4	Turnhalle	801	2.971.574	Nov 11
Franz-Böhm-Schule	Eichendorffstraße	67	Schülerweiterung und Mensa	1.651	6.872.000	Jun 12
Friedrich-Fröbel-Schule	Else-Alken-Straße	3	Turnhalle	926	2.930.257	Mrz 11
Georg-Büchner-Schule	Pfingsbrunnenstraße	15	Schülerweiterung Bauteil A	2.069	8.903.000	Mrz 12
Grundschule Harheim	In den Schafgärten	25	Schülerweiterung mit Mensa	1.448	4.550.000	Dez 11
Grundschule Kalbach	Kalbacher Hauptstraße	54	Schülerweiterung mit Mensa	4.246	12.334.000	Apr 12
Grundschule Riedberg und KT	Zur Kalbacher Höhe	15	Schule mit Turnhalle und KT	7.670	16.700.000	Sep 04
Gymnasium Riedberg	Friedrich-Dessauer-Straße	2	Schule mit Turnhalle	16.983	54.000.000	Apr 13
Hellerhofschule	Idsteiner Straße	47	Turnhalle	1.440	3.000.000	Dez 11
Hellerhofschule	Idsteiner Straße	47	Schülerweiterung und Mensa	1.120	8.495.000	Dez 11
Henri-Dunant- und Eduard-Spranger-Schule	Schaumburger Straße	66	Schulmensa Eduard-Spranger-Schule	418	3.287.000	Dez 11
IGS Herderschule	Wittelsbacherallee	6	Schulmensa + Klassen	1.004	4.914.000	Dez 11
IGS Nordend	Hartmann-Ibach-Straße	54	Schulmensa	400	5.200.000	Jan 12
Jugendhaus Bergen	Berger Marktplatz		Jugendhaus	340	1.240.000	Okt 12
Jugendhaus Hausen	Ludwig-Landmann-Straße	338	Jugendhaus	192	700.000	Okt 10
Jugendhaus Kalbach	Am Brunnengarten	19	Jugendhaus	311	1.332.800	Mai 11
Käthe-Kollwitz-Schule	West-Höchster Straße	103	Turnhalle	916	2.675.155	Mrz 11
Kindertageseinrichtung 6 Mobilé (Altkönigsblick)	Magda-Spiegel-Weg	10	Kindertagesstätte	918	2.242.720	Dez 09
Kindertagesstätte Eulenberg	Valentin-Senger-Straße	61	Kindertagesstätte	1.350	4.209.000	Mrz 11
Kindertagesstätte Ginsterhöhe	Margarete-Susman-Weg	2	Kindertagesstätte	1.550	3.800.000	Sep 10
Kindertagesstätte Goldstein	An der Schwarzbachmühle	20	Kindertagesstätte	905	2.760.000	Dez 09
Kindertagesstätte Griesheim 2 Zauberalld	Platanenstraße	9	Kindertagesstätte	1.077	4.923.000	Apr 11
Kindertagesstätte Harheim Nord	In den Aspen	2	Kindertagesstätte	1.197	3.649.000	Nov 11
Kindertagesstätte Schwanheim Lichtblick	Deidesheimer Straße	10	Kindertagesstätte	790	3.076.744	Jan 07
Kindertagesstätte Weilbrunnstraße	Weilbrunnstraße	13	Kindertagesstätte	1.130	4.413.000	Aug 12
Kinderzentrum KiZ 53	Peter-Fischer-Allee	25	Kindertagesstätte	1.300	3.868.762	Aug 08
Kinderzentrum KiZ 66	Jasperstraße	71	Kindertagesstätte	1.300	3.926.591	Okt 12
Liebig-Schule	Kollwitzstraße	3	Turnhalle	893	2.641.271	Aug 11
Liesel-Oestreicher-Schule, Jugendhaus und KT	Boskoopstraße	6	Schule mit Turnhalle, Jugendhaus und KT	6.723	21.800.000	Sep 07
Louise-von-Rothschild-Schule	Usinger Straße	24	Schulmensa	345	3.150.000	Dez 11
Michael-Ende-Schule und KT 17 (ehem. Arndt-Schule)	Niddagastraße	27	Schülerweiterung + Turnhalle	1.726	6.351.000	Dez 11
Panoramaschule (ehem. 2. Schule für praktisch Bildbare)	Werner-Bockelmann-Straße	3	Schule mit Turnhalle, Schwimmhalle	7.856	16.590.075	Aug 11
Schule am Erlenbach	Im Feldchen	26	Schulmensa + Klassen	1.308	3.991.000	Dez 11
Schule am Landgraben	Landgraben	2	Schulmensa + Klassen	2.035	7.861.311	Dez 11
Sportanlage Brühlwiese	Alexander-Riese-Weg	0	Sportfunktionsgebäude		1.200.000	Apr 11
Sportanlage Fechenheim Birsteiner Straße	Birsteiner Straße	54	Sportfunktionsgebäude	640	2.270.000	Aug 12
Sportanlage Gerbermühle	Deutschherrnufer	109	Sportfunktionsgebäude	197	1.240.763	Feb 11
Sportanlage Mainwasen und Betriebshof Sportbezirk II	Gerbermühlstraße	110	Sportfunktionsgebäude		1.500.000	Dez 10
Sportanlage Ospark	Osparkstraße	0	Sportfunktionsgebäude	197	1.474.575	Apr 11
Sportanlage Rebstock	Am Römerhof	9	Sportfunktionsgebäude	867	2.651.269	Mrz 11
Straßenverkehrsamt	Guteutstraße	191	Verwaltungsgebäude	3.112		Apr 11
Theobald-Ziegler-Schule	Theobald-Ziegler-Straße	10	Schulmensa + Klassen	865	3.452.000	Dez 11
Valentin-Senger-Schule	Valentin-Senger-Straße	9	Schule mit Turnhalle und KT	6.407	20.620.000	Mrz 11
Walter-Kolb-Schule	Sossenheimer Weg	50	Schulmensa	300	1.397.000	Mrz 11
Wöhlerschule und Heinrich-Seliger-Schule	Mierendorffstraße	6	Sport- und Schwimmhalle	2.030	7.400.000	Nov 11
Zentgrafenschule	Wilhelmshöher Straße	124	Turnhalle	882	2.798.363	Nov 09
Ziehenschule	Josephskirchstraße	9	Schulmensa + Fachklassen	3.348	6.120.000	Okt 11

Tabelle 1: Fertiggestellte Passivhaus-Neubauprojekte der Stadt Frankfurt a.M.

Die Erfahrungen aus diesen Projekten sind in verschiedene Planungswerkzeuge des Hochbauamtes eingeflossen.

2 Leitlinien zum wirtschaftlichen Bauen

Im Zentrum stehen die Leitlinien zum wirtschaftlichen Bauen, welche die einzelnen Qualitäten der Gebäudehülle und der technischen Gebäudeausrüstung definieren [Linder 2014]. Dazu gehören unter anderem der Passivhaus-Standard, aber auch zahlreiche andere Qualitäten, die sich über den Lebenszyklus der Gebäude als wirtschaftliches Optimum herausgestellt haben.



HOCHBAUAMT
STADT FRANKFURT AM MAIN

Leitlinien zum wirtschaftlichen Bauen 2014

Checkliste für die Leitlinien zum wirtschaftlichen Bauen 2014

A1	Liegenschaft	
A2	Straße, Hausnummer	
A3	Bauteil	
A4	Maßnahme	
A5	Gewerk	Hochbau

3. Hochbau

Nr.	Kriterium	Bedarfsmittlung	Vorplanung	B+F-Vorlage	Abnahme	2. Jahre Betrieb	Begründung (evtl. auf Anlage)
3.1 Grundlagen und Bedarfsmittlung							
a)	Bei Neubau geprüft, ob Umsetzung im Bestand möglich						
b)	Möglichkeit des Flächenrecyclings geprüft						
c)	Bei Kernsanierung Abriss und Neubau geprüft						
d)	Umsetzung wirtschaftlicher Maßnahmen geprüft (Energieausweis)						
e)	Bei Innensanierung Innendämmung geprüft						
f)	Bei Fondersanierung Lüftungskonzept erstellt						
3.2 Vorplanung							
3.2.1 Nutzungsqualitäten							
a)	Städtklimatische Gesichtspunkte beachtet (Klimaplanalis)						
b)	Freiflächen je nach Witterung differenziert						
c)	Alle Aufenthaltsräume natürlich belichtet und belüftet						
d)	Fensterflächenanteil je nach Orientierung optimiert						
e)	Ausreichende Speichermassen, Sonnenschutz, Nachlüftung						
f)	Übersichtliche Wegeführung mit natürlicher Ausleuchtung						
g)	Ausreichende Anzahl geeigneter Fahrradstellplätze vorhanden						
h)	Umkleiden und Duschen für Fahrradfahrer vorgesehen						
3.2.2 Energieeffizienz							
a)	Passivhausstandard, mindestens jedoch EnEV 2009-30%						
b)	Kompakte Form						
c)	Gebäudeorientierung begünstigt passive Solarenergienutzung						
d)	Hauptzugänge mit unbeheizten Windängen						
e)	Thermische Zonierung						
f)	Räume mit hohen Lasten an Nordfassade oder im Keller						
g)	Technikzentren zentral innerhalb der versorgten Bereiche						
h)	Möglichkeit für Solarstromanlage geprüft						
i)	Vorbeugenden Brandschutz frühzeitig eingeschaltet						
3.3 Entwurfs- und Ausführungsplanung, Leistungsverzeichnis							
3.3.1 Nutzungsqualitäten							
a)	Solnachseneinfall nach DIN 18041 eingehalten						
b)	Barrierefreiheit nach DIN 18040-1 eingehalten						
c)	AMEV-Sanieranlagen 2011, Kapitel 2.3.4 eingehalten						
d)	Fensteröffnungsflügel von 0,1 - 0,2 m² pro Person vorhanden						
e)	Tageslichtquotient mindestens 5 % bzw. 3 %						
f)	Mindestreflexionsgrade eingehalten (helle Räume)						
g)	Ausreichende Speichermassen vorgesehen						
h)	Außen liegender Sonnenschutz $F_c \leq 0,25$ für 13 m/s						
i)	Motrische Steuerung über Wetterstation mit Nutzereingriff						
j)	Nachlüftungsklappen mit 1 m² bzw. 0,5 m² je Klassenraum						
3.3.2 Baustoffe							
a)	Deklaration sämtlicher Materialien, Produkte und Elemente						
b)	Nur schadstoffarme, geruchsneutrale, Produkte (DIN 15251)						
c)	Nicht heimische Hölzer nur mit FSC-Zertifikat						
d)	Kein PVC für Fußböden, Tapeten, Fenster, Türen ...						
e)	Künstliche Mineralfasern gegen Innenraum abgedichtet						
f)	Chemischen Holzschutz vermeiden						
g)	Formaldehyd geringstmöglich, Holz RAL UZ 38 bzw. 76						
h)	Lösungsmittelarme Farben und Kleber RAL UZ 102, 12 a, 113						

Abbildung 7-8: Leitlinien zum wirtschaftlichen Bauen 2014 mit Beispiel einer Checkliste

Als Standard für die Luftqualität hat sich eine CO₂-Konzentration von max. 1.500 ppm bewährt. Dies wird in Schulen und Kindertagesstätten bereits mit einer Luftmenge von 20 m³ pro Person und Stunde in der Regel erreicht. Die Heizung erfolgt über je einen Heizkörper pro Raum. Die Heizkörper werden in Schulen und Kindertagesstätten im Wesentlichen dazu benötigt, um zum Nutzungsbeginn eine behagliche Raumtemperatur sicherzustellen. Eine Einzelraumregelung ist wegen des geringen Heizwärmebedarfs unwirtschaftlich. Es genügt eine außen temperaturabhängige Vorlauftemperaturregelung mit Nacht-, Wochenend- und Ferienabsenkung sowie begrenzbare Thermostatventile.

Die Lüftungsanlage soll nur während der Heizperiode im Betrieb sein. Außerhalb der Heizperiode muss über die Fenster gelüftet werden. Daher sind in Unterrichts-, Gruppen- und Sitzungsräumen Fensteröffnungsflügel von mindestens 0,1 m² je Person bei Querlüftung und mindestens 0,2 m² je Person ohne Querlüftungsmöglichkeit vorzusehen. Zur Vermeidung sommerlicher Überhitzung sind ausreichende Speichermassen (> 100 Wh/(m²K)) an die Räume anzukoppeln, ein wirksamer außen liegender Sonnenschutz ($F_c \leq 0,25$ nach DIN 4108-2 bei Windgeschwindigkeiten bis 13 m/s) und ausreichend große Nachlüftungsklappen vorzusehen (ohne Querlüftung 1 m² mit Querlüftung 0,5 m²).

3 Gesamtkostenberechnung

Abweichungen von den Leitlinien sind möglich, wenn ein wirtschaftlicher Vorteil mit Hilfe der von der Abteilung Energiemanagement entwickelten Gesamtkostenberechnung nachgewiesen werden kann [Linder 2013].


A. Allgemeine Daten		Eingabefelder: weiß, Ergebnisfelder: grau				Version 12.0 04.03.2013	
A1	Liegenschaftsbezeichnung	Ludwig-Börne-Schule					
A2	Gebäudebezeichnung	Alt- und Neubau					
A3	Straße, Hausnummer	Lange Straße 30-36					
A4	Betrachtungszeitraum (Jahre)	40	A8 Währung		€		
A5	Kapitalzins*	3,0%	A9 Annuitätsfaktor		4,3%		
A6	Preissteigerung Energie	5,0%	A10 Mittelwertfaktor Ener.		2,63		
A7	Preissteigerung sonstiges	2,5%	A11 Mittelwertfaktor sonst.		1,57		
B. Varianten		Bezeichnung (Eingabe erforderlich!)					
B1	Variante 1	Energieeinsparverordnung (EnEV) 2009					
B2	Variante 2	Energieeinsparverordnung (EnEV) 2009 - 30 %					
B3	Variante 3	Passivhaus (ausgeführte Variante)					
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	m ²
C3	spez. Heizwärmebedarf	59	51	15			kWh/m ² a
C4	spez. Heizenergiebedarf	65	56	19			kWh/m ² a
C5	spez. Strombezug	23	23	18			kWh/m ² a
C6	spez. Primärenergiebedarf	105	99	61			kWh/m ² a
C7	spez. CO ₂ -Emissionen	27	25	16			kg/m ² a
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	€
D4	Kapitalkosten	553.304	554.636	577.468	0	0	€/a
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
E6	Instandhaltungskosten	100.050	99.675	112.238			€/a
E7	heutige Betriebskosten	273.257	268.477	255.031	0	0	€/a
E8	mittl. Betriebskosten	505.157	492.981	444.272	0	0	€/a
G. Gesamtkosten		Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	
G1	Gesamtkosten	1.067.005	1.055.738	1.027.326	0	0	€/a
G2	spez. Gesamtkosten	202	200	195	0	0	€/m ² a
G3	Einsparung in 40 Jahren zu Variante 1		450.688	1.587.179			€

Tabelle 2: Gesamtkostenberechnung für die Ludwig-Börne-Schule (Auszug)

In der Tabelle 2 ist ein Auszug aus der Gesamtkostenberechnung für die Ludwig-Börne-Schule wiedergegeben. Man erkennt, dass die ausgeführte Passivhaus-Variante mit 13,3 Mio. € um ca. 550.000 € über den Investitionskosten der Variante nach Energieeinsparverordnung (EnEV) liegt. Die jährlichen Gesamtkosten für die Passivhaus-Variante liegen mit 195 €/m² jedoch um 7 €/m² unter den Gesamtkosten für die EnEV-Variante. Über den Betrachtungszeitraum von 40 Jahren entsteht so eine Einsparung von 1,6 Mio. €.

4 Erfahrungen

Die Erfahrung zeigt, dass für ca. 90 % der kommunalen Bauaufgaben der Passivhaus-Standard wirtschaftlich erreichbar ist. Bei sehr kleinen Gebäuden (< 150 m²), bei großflächigen unterirdischen Gebäudeteilen und bei Bestandssanierungen ist ein Heizwärmebedarf von 15 kWh/(m²a) oft nicht wirtschaftlich erreichbar. Es ist jedoch auch in diesen Fällen wirtschaftlich Passivhaus-Komponenten einzusetzen, sofern eine langfristige Nutzung bei behaglichen Raumluftkonditionen erwartet werden kann.

Für die Qualitätssicherung wurden Checklisten entwickelt (siehe Abbildung 8), die an vier Meilensteinen (Abschluss der Vorplanung, Bau- und Finanzierungsvorlage, Abnahme und nach 2 Jahren Betrieb) die Einhaltung der einzelnen Qualitäten überprüfen. Insbesondere folgende drei Qualitäten können erst nach einer zweijährigen Betriebsphase halbwegs valide bestimmt werden: Die Raumluftqualität (Temperatur, CO₂, Feuchte), die tatsächlichen Betriebskosten (für Energie, Wartung, Instandhaltung etc.) und die Zufriedenheit der Gebäudenutzer und des Betriebspersonals.

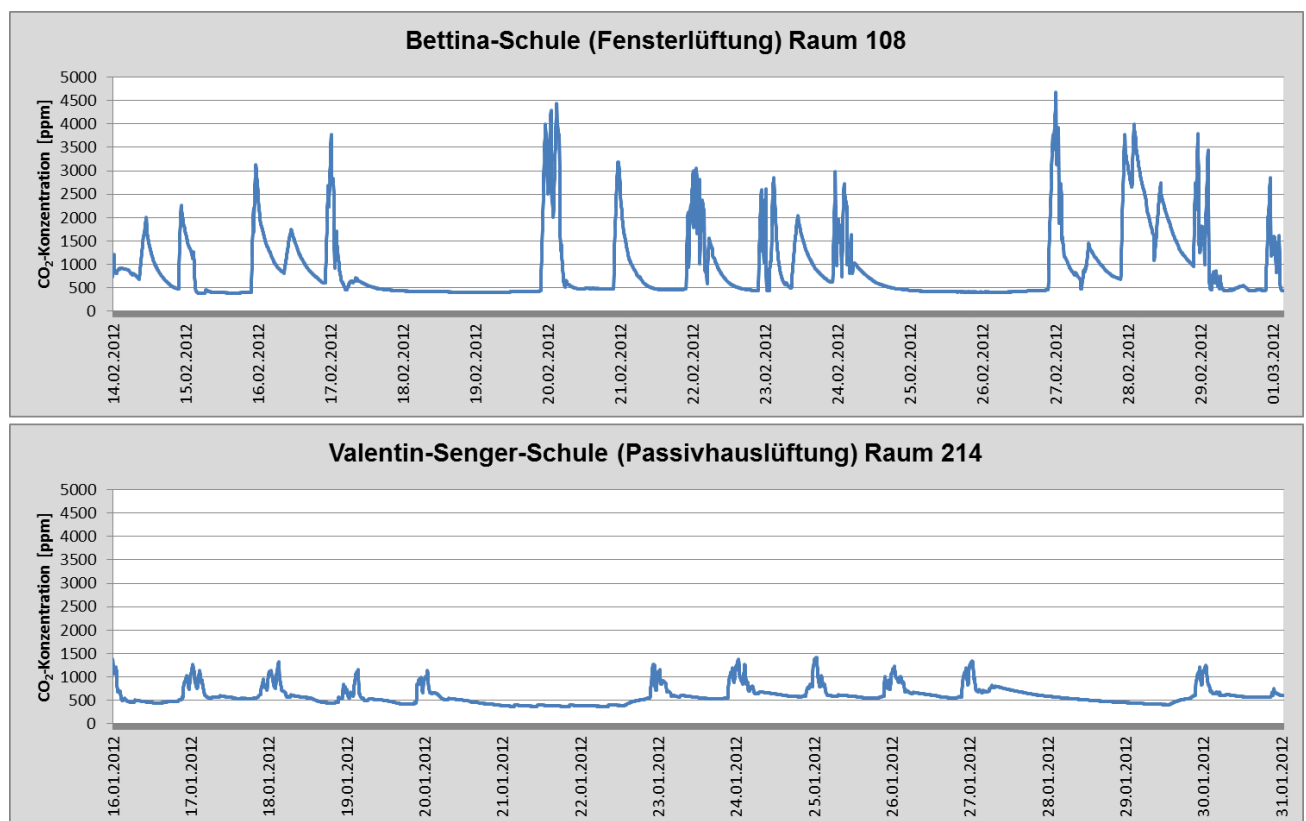


Abbildung 9-10: Luftqualitätsmessungen in der Bettina-Schule (Fensterlüftung) und der Valentin-Senger-Schule (Passivhaus-Lüftung)

Die Luftqualitätsmessungen zeigen, dass in einer gut einregulierten Passivhaus-Schule die CO₂-Konzentrationen in der Regel unter 1.500 ppm bleiben, während in Bestandsgebäuden mit Fensterlüftung im Winter CO₂-Konzentrationen von bis zu 5.000 ppm erreicht werden (siehe Abbildung 9-10).

Da ein Großteil der Passivhaus-Gebäude erst im Jahr 2011 fertiggestellt wurde, liegen bisher nur für relativ wenige Gebäude mehrjährige Verbrauchsauswertungen vor. Hinzu kommt, dass sich ein Teil der Gebäude auf größeren Liegenschaften befindet und es keine separaten Unterzähler für die Gebäude gibt, oder dass die Gebäude (z.B. bei KT's) von externen Betreibern genutzt werden.

Name der Liegenschaft	Straße	Nr	NGF (m ²)	Fertig- stellung	spez. Heizenergieverbrauch		
					2010 (kWh/m ² a)	2011 (kWh/m ² a)	2012 (kWh/m ² a)
Bonifatiussschule Turnhalle	Hamburger Allee	43	882	Nov 2009	37	29	27
Grundschule Riedberg und KT	Zur Kalbacher Höhe	15	7.670	Sep 2004	28	30	21
Jugendhaus Kalbach	Am Brunnengarten	19	311	Mai 2011			32
Kindertageseinrichtung 6 Mobilé (Altkönigsblick)	Magda-Spiegel-Weg	10	918	Dez 2009	40	41	44
Liesel-Oestreicher-Schule, Jugendhaus und KT mit Küche	Boskoopstraße	6	6.723	Sep 2007	35	35	37
Valentin-Senger-Schule mit Turnhalle und KT	Valentin-Senger-Straße	9	6.407	Mrz 2011		29	24
Ziehenschule	Josephskirchstraße	9	3.348	Okt 2011			22
Ludwig-Börne-Schule	Lange Straße	30	5.760	Aug 2011			41
Mittelwert					35	33	31

Name der Liegenschaft	Straße	Nr	NGF (m ²)	Fertig- stellung	spez. Stromverbrauch		
					2010 (kWh/m ² a)	2011 (kWh/m ² a)	2012 (kWh/m ² a)
Bonifatiussschule Turnhalle	Hamburger Allee	43	882	Nov 2009	13	18	12
Grundschule Riedberg und KT	Zur Kalbacher Höhe	15	7.670	Sep 2004	19	19	20
Jugendhaus Kalbach	Am Brunnengarten	19	311	Mai 2011			25
Kindertageseinrichtung 6 Mobilé (Altkönigsblick)	Magda-Spiegel-Weg	10	918	Dez 2009	7	26	31
Liesel-Oestreicher-Schule, Jugendhaus und KT mit Küche	Boskoopstraße	6	6.723	Sep 2007	27	27	24
Valentin-Senger-Schule mit Turnhalle und KT	Valentin-Senger-Straße	9	6.407	Mrz 2011		18	25
Ziehenschule	Josephskirchstraße	9	3.348	Okt 2011			20
Ludwig-Börne-Schule	Lange Straße	30	5.760	Aug 2011		22	15
Mittelwert					17	22	22

Tabelle 3-4: Verbrauchswerte der städtisch genutzten Passivhaus-Gebäude in Frankfurt a.M.

Die Tabellen 3 und 4 zeigen die verfügbaren Verbrauchswerte der städtisch genutzten Passivhaus-Gebäude. Der Heizenergieverbrauch (Endenergieverbrauch) ist nicht zu verwechseln mit dem Passivhaus-Kriterium Heizwärmebedarf, da im erstgenannten auch der Warmwasserverbrauch sowie die Wärmeerzeugungs- und -verteilungsverluste enthalten sind. Ein separater Wärmemengenzähler für den Heizwärmeverbrauch allein ist nur in Ausnahmefällen eingebaut. Der mittlere spezifische Heizenergieverbrauch (incl. Warmwasser, Wärmeerzeugungs- und -verteilungsverlusten) lag 2012 bei 31 kWh/m²a, der spezifische Stromverbrauch bei 22 kWh/m²a. Der Primärenergieverbrauch lag im Mittel bei 31 kWh/m²a x 1,1 + 22 kWh/m²a x 2,6 = 91 kWh/m²a und damit deutlich unter dem Passivhaus-Kriterium von 120 kWh/m²a.

5 Quellenverzeichnis

- [Linder 2013] Gesamtkostenberechnung
www.energiemanagement.stadt-frankfurt.de > Gesamtkostenberechnung
- [Linder 2014] Leitlinien zum wirtschaftlichen Bauen 2014
www.energiemanagement.stadt-frankfurt.de > Leitlinien