

Passivhausstandard bei öffentlichen Gebäuden: Auswertung der bisherigen Erfahrungen

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: 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	Eise-Alken-Straße	3	Turnhalle	926	2.930.257	Mrz 11
Georg-Büchner-Schule	Pfingsbrunnstraße	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-lbach-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 Zauberwald	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 Weillbrunnstraße	Weillbrunnstraße	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	Jaspertstraße	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 Ostpark	Ostparkstraße	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. Dazu gehören unter anderem der Passivhaus-Standard, aber auch zahlreiche andere Qualitäten, die sich über den Lebenszyklus der Gebäude als wirtschaftliches Optimum herausgestellt haben.



Checkliste für die Leitlinien zum wirtschaftlichen Bauen 2014						
A1	Liegenschaft					
A2	Straße, Hausnummer					
A3	Bauteil					
A4	Maßnahme					
A5	Gewerk					Hochbau
3. Hochbau						
		Bedarfsermittlung	Vorplanung	Bf+Vollage	Abnahme	2. Jahre Betrieb
Nr.	Kriterium					Begründung (evtl. auf Anlage)
3.1 Grundlagen und Bedarfsermittlung						
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 Fenstersanierung Lüftungskonzept erstellt					
3.2 Vorplanung						
3.2.1 Nutzungsqualitäten						
a)	Stadtklimatische Gesichtspunkte beachtet (Klimaplanallas)					
b)	Freitflächen je nach Witterung differenziert					
c)	Alle Außenräume natürlich belichtet und belüftet					
d)	Fensterflächenanteil je nach Orientierung optimiert					
e)	Ausreichende Speichermassen, Sonnenschutz, Nachtlüftung					
f)	Übersichtliche Wegeführung mit natürlicher Ausleuchtung					
g)	Ausreichende Anzahl geeigneter Fahrradabstellplätze 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 Windfängen					
e)	Thermische Zonierung					
f)	Räume mit hohen Lasten an Nordfassade oder im Keller					
g)	Technischen 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)	Sollnachhaltzeiten nach DIN 18041 eingehalten					
b)	Barrierefreiheit nach DIN 18040-1 eingehalten					
c)	AMEV-Sanitäranlagen 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 Fc<= 0,25 für 13 m/s					
i)	Motrische Steuerung über Wetterstation mit Nutzereingriff					
j)	Nachtlüftungsklappen 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 Mineralwolle 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 2: 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 aus wirtschaftlichen Gründen nicht über die Lüftungsanlage, sondern über je einen Heizkörper pro Raum. Die Heizkörper werden in Schulen und Kindertagesstätten im Wesentlichen dazu benötigt, um zum Nutzungsbeginn eine behagliche Raumtemperatur sicherzustellen. Während des Betriebes genügt die Abwärme der Personen und Geräte zur Beheizung der Räume. Eine Einzelraumregelung ist wegen des geringen Heizwärmebedarfs unwirtschaftlich. Es genügt eine außentemperaturabhängige Vorlauf-temperaturregelung mit Nacht-, Wochenend- und Ferienabsenkung sowie begrenzbare Thermostatventile.

Die Lüftungsanlage soll aus Kostengründen nur während der Heizperiode und während der Nutzungszeit 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 (z.B. durch Massivbauweise), ein wirksamer außen liegender Sonnenschutz und ausreichend große Nachtlüftungsklappen vorzusehen.

3. Gesamtkostenberechnung

Abweichungen von den Leitlinien sind jederzeit möglich, wenn ein wirtschaftlicher Vorteil mit Hilfe der vom Hochbauamt (Abteilung Energiemanagement) entwickelten Gesamtkostenberechnung nachgewiesen werden kann.


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 auf der Basis von Zahlenangaben aus der Vorplanung für die Ludwig-Börne-Schule (Auszug)

Der Gesamtkostenvergleich zwischen den verschiedenen Planungsvarianten erfolgt in der Regel in der Vorplanung, da der Variantenvergleich in dieser Phase 2 nach der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI) eine geschuldete Grundleistung ist. Ein Vergleich z.B. in der Entwurfsplanung führt zu einer deutlichen Erhöhung der Planungskosten und ist daher nicht mehr wirtschaftlich. Ideal wäre ein Vergleich identischer ausgeführter Gebäude mit identischer Nutzung,

die sich lediglich im Baustandard unterscheiden. Dies kommt in der Praxis leider nicht vor, da meist sowohl die Gebäudegeometrie als auch die Gebäudenutzung unterschiedlich sind.

In der Tabelle 2 ist ein Auszug aus der Gesamtkostenberechnung für die Ludwig-Börne-Schule wiedergegeben. Es handelt sich dabei sowohl bei den Investitionskosten als auch bei den Energiekosten um Planungswerte aus der Vorplanungsphase. Man erkennt, dass demnach die ausgeführte Passivhaus-Variante mit 13,3 Mio. € um ca. 550.000 € über den Investitionskosten der Variante nach Energieeinsparverordnung (EnEV) liegt. Die prognostizierten jährlichen Gesamtkosten für die Passivhaus-Variante liegen demzufolge 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. €. Da die Sanierungsquote im städtischen Gebäudebestand bei maximal 2 % pro Jahr liegt, wurde für künftige Vergleiche ein Betrachtungszeitraum von 50 Jahren festgelegt, so wie es auch im Leitfaden Nachhaltiges Bauen des Bundes festgelegt ist.

4. Erfahrungen

Da ein Großteil der Passivhaus-Gebäude erst im Jahr 2011 fertiggestellt wurde, liegen bisher nur für relativ wenige Gebäude mehrjährige Verbrauchsauswertungen vor. Datenquelle sind die Energieabrechnungen der Stadt Frankfurt, die Zählerablesungen der Hausverwalter und die automatische Verbrauchserfassung der Abteilung Energiemanagement. Hinzu kommt, dass sich ein großer Teil der Gebäude auf größeren Liegenschaften befindet und es häufig keine separaten Unterzähler für die Gebäude gibt, oder dass die Gebäude (z.B. bei Kindertagesstätten) von externen Betreibern genutzt werden und dem Hochbauamt daher keine Rechnungen vorliegen. Dies ist aus Sicht des Magistrats derzeit noch unbefriedigend. Künftig soll versucht werden, die Verbrauchsdaten mit Einverständnis der Pächter in die Datenlieferungen der Energieversorger an das Energiemanagement mit aufzunehmen, um eine breitere Datenbasis zu bekommen. Sinnvoll wäre auch aus Sicht des Magistrats bei allen zukünftigen fremdgenutzten, neuen Bauten eine entsprechende Vereinbarung mit den Nutzern vertraglich zu vereinbaren.

Die Tabelle 3 zeigt die derzeit über mehrere Jahre verfügbaren Verbrauchswerte der städtisch genutzten Passivhaus-Gebäude. Der dort aufgeführte Heizenergieverbrauch (Endenergieverbrauch) ist nicht zu verwechseln mit dem Passivhaus-Kriterium Heizwärmebedarf, da im Heizenergieverbrauch 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 für die in Tabelle 3 genannten Projekte bei 32 kWh/m²a, der spezifische Stromverbrauch bei 22 kWh/m²a. Ein weiteres Kriterium ist der sogenannte Primärenergieverbrauch. Dieser beinhaltet auch den Energieaufwand zur Herstellung der Endenergieträger Strom, Erdgas, Fernwärme etc. Der Primärenergieverbrauch lag im Mittel bei 92 kWh/m²a und damit deutlich unter dem Passivhaus-Kriterium von 120 kWh/m²a.

Obwohl im Mittel das Passivhaus-Kriterium von 120 kWh/m²a für den Primärenergieverbrauch eingehalten wurde, kam es in Einzelfällen auch zu deutlichen Überschreitungen der geplanten Verbrauchswerte. Am Beispiel der Ludwig-Börne-Schule wurde in der Planung ein spezifischer Heizenergiebedarf von 19 kWh/m²a und ein spezifischer Strombedarf von 18 kWh/m²a prognostiziert (Tabelle 2). Tatsächlich lag der Heizenergieverbrauch jedoch bei 41 kWh/m²a und der Stromverbrauch bei 15 kWh/m²a (Tabelle 3). Bei Recherchen vor Ort wurde festgestellt, dass

in dem Heizenergieverbrauch auch die alte Turnhalle mit einer veralteten 1.000 l – Warmwasserbereitung und die Hausmeisterwohnung enthalten ist. Damit kann der Mehrverbrauch erklärt werden. Der Stromverbrauch ist überraschend niedrig angesichts der Tatsache, dass die Lüftungsanlage auch im Sommer durchläuft, da die Fenster aus Schallschutzgründen nicht geöffnet werden können.

Verbrauchswerte der Passivhausprojekte der Stadt Frankfurt a.M.

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)
Bonifatiuschule Turnhalle	Hamburger Allee	43	882	Nov 2009	37	29	27
Grundschule Riedberg und KT	Zur Kalbacher Höhe	15	7.670	Sep 2004	28	30	26
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	32

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)
Bonifatiuschule 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			15
Mittelwert					17	22	22

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

Teilweise kam es in den Passivhausprojekten auch zu Mehrverbräuchen, die auf Planungs-Bau-, Betriebs- und Nutzungsmängel zurückzuführen waren und nicht ursächlich auf den Passivhaus-Standard zurückzuführen sind. Die genauen Ursachen sind im Einzelfall zu untersuchen. Diese Mängel treten bei herkömmlichen Gebäuden in gleicher Weise auf. Beim Passivhausstandard fallen diese Mängel aber wegen der vergleichsweise sehr geringen Verbrauchswerte eher auf. Um diese Mängel künftig zu vermeiden sollte die Qualitätssicherung bei Neubau- und Sanierungsmaßnahmen sowie die Betriebsführung und Betriebsoptimierung personell gestärkt werden.

Bei der Grundschule Riedberg wurden separate Wärmemengenzähler eingebaut. Daher ist hier auch eine Messung des Heizwärmebedarfs möglich. In der Tabelle 4 sind die Verbrauchswerte der einzelnen Wärmemengenzähler für das Jahr 2011 dargestellt. Man erkennt, dass hier auch das Passivhaus-Kriterium für den Heizwärmebedarf von 15 kWh/m²a eingehalten wurde. Die Erzeugungsverluste (also die Abgasverluste und die Betriebsbereitschaftsverluste des Holzpelletkessels und die Verteilungsverluste) sind mit 12,1 kWh/m²a deutlich zu hoch. Dies ist jedoch nicht dem Passivhaus-Standard anzulasten, sondern der Entscheidung für eine

Pelletheizung. Hinsichtlich des Jahresnutzungsgrades, also des Verhältnisses zwischen Wärmeerzeugung und Endenergieverbrauch, haben andere Energieträger deutliche Vorteile.

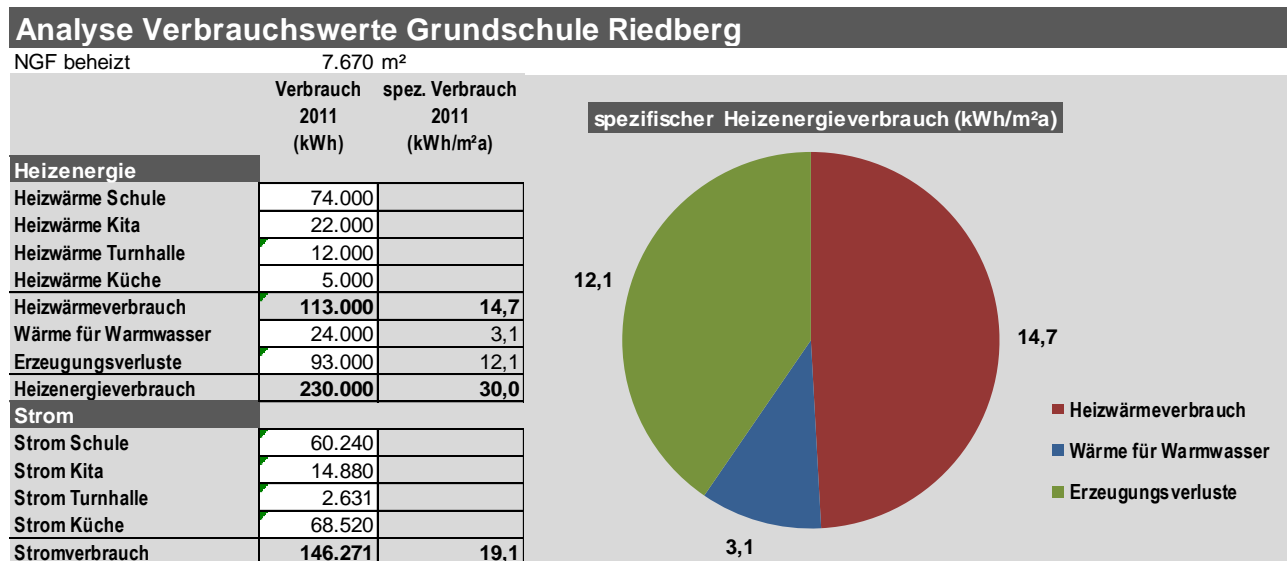


Tabelle 4: Analyse der Verbrauchswerte in der Grundschule Riedberg

Als Ergebnis des Arbeitskreises wirtschaftliches Bauen wurde in den Leitlinien 2014 aufgenommen, dass künftig bei zentralen Warmwasserbereitungsanlagen der Kaltwasserzulauf und die Wärmemenge zu zählen ist. Damit kann künftig leichter auf den Heizwärmebedarf zurückgeschlossen werden. Entscheidend für die Energiekosten ist jedoch der Heizenergiebedarf und nicht der Heizwärmebedarf.

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.

Die Luftqualitätsmessungen zeigen, dass in einer gut einregulierten Passivhaus-Schule mit Lüftungsanlage 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 3). Die Behaglichkeit ist im Winter aufgrund der höheren Oberflächentemperaturen besser, als bei herkömmlichen Gebäuden mit gleicher Raumtemperatur. Im Sommer neigen Gebäude im Passivhausstandard aufgrund des geringeren Gesamtenergiedurchlassgrades weniger zu Überhitzungen als baugleiche Gebäude nach gesetzlichem Standard (Energieeinsparverordnung).

Die Feuerwehr Frankfurt am Main betreibt derzeit drei Feuer- und Rettungswachen, welche gemäß der „Leitlinien zum wirtschaftlichen Bauen“ im Passivhausstandard errichtet wurden. Davon sind die Bereichswache (BW) 30 und die Bereichswache (BW) 41 vom Passivhaus Institut Darmstadt auch als Passivhaus zertifiziert. Erfahrungen über den angefragten Zeitraum von drei Jahren liegen nur für die BW 41 (Inbetriebnahme 14.12.2010) vor.

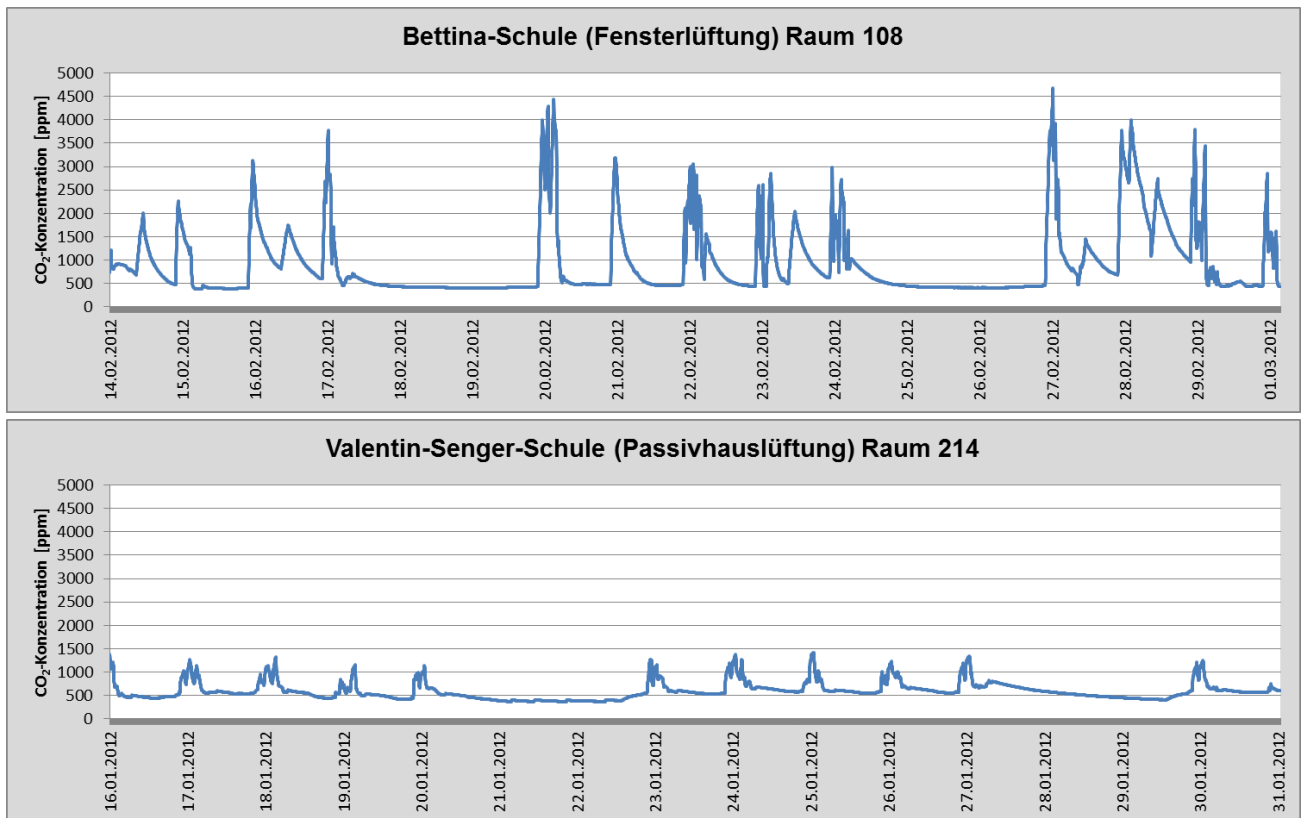


Abbildung 3: Luftqualitätsmessungen in der Bettina-Schule (Fensterlüftung) und der Valentin-Senger-Schule (Lüftungsanlage)

Die betreffende Wache ist zur Beheizung und Warmwasserbereitung mit oberflächennaher Geothermie (Erdsonden + Wärmepumpe) ausgestattet. Die Dachfläche ist vollständig mit Photovoltaikpaneelen belegt. Alle Räume werden über die erforderliche flächendeckende zentrale Lüftungsanlage mit Frischluft versorgt. Baulich unterscheidet sich eine Feuerwache von einem üblichen Verwaltungsgebäude bzw. Wohnhaus zunächst durch das Vorhandensein der Fahrzeughallen mit großen Toren, die zudem auch im Winter relativ häufig geöffnet werden müssen, weshalb die Fahrzeughalle selbst nicht im Passivhausstandard errichtet wurde. Es gibt eine klare thermische Trennung zwischen dieser Fahrzeughalle und dem übrigen Gebäude. Im Winter 2011 wurden Feststellungen zu Befindlichkeitsstörungen wegen zu trockener Luft in der der BW 41 durch den arbeitsmedizinischen Dienst aufgegriffen. Eine im Winter 2011/2012 durchgeführte Langzeitmessung ergab teilweise Luftfeuchtwerte von unter 30 % relativer Luftfeuchte (vgl. B 197 vom 06.06.2014). Die Luft in Innenräumen wird im Winter umso trockener, je kälter die Außenluft ist und je mehr gelüftet wird. Das ist eine physikalische Gesetzmäßigkeit und kein Spezifikum des Passivhausstandards. Verschiedene Maßnahmen, insbesondere das Aufstellen von Luftbefeuchtern (Kaltverdunstungsprinzip), in der kalten Jahreszeit der Folgejahre hatten bereits zu einer Erhöhung der relativen Luftfeuchtigkeit und damit zur Verbesserung des Raumklimas geführt. Nach Bekanntwerden der Sachverhalte Anfang des Jahres 2014 wurden von der Abteilung Energiemanagement im Hochbauamt Luftqualitätsmessungen vorgenommen und die Anlagentechnik analysiert.

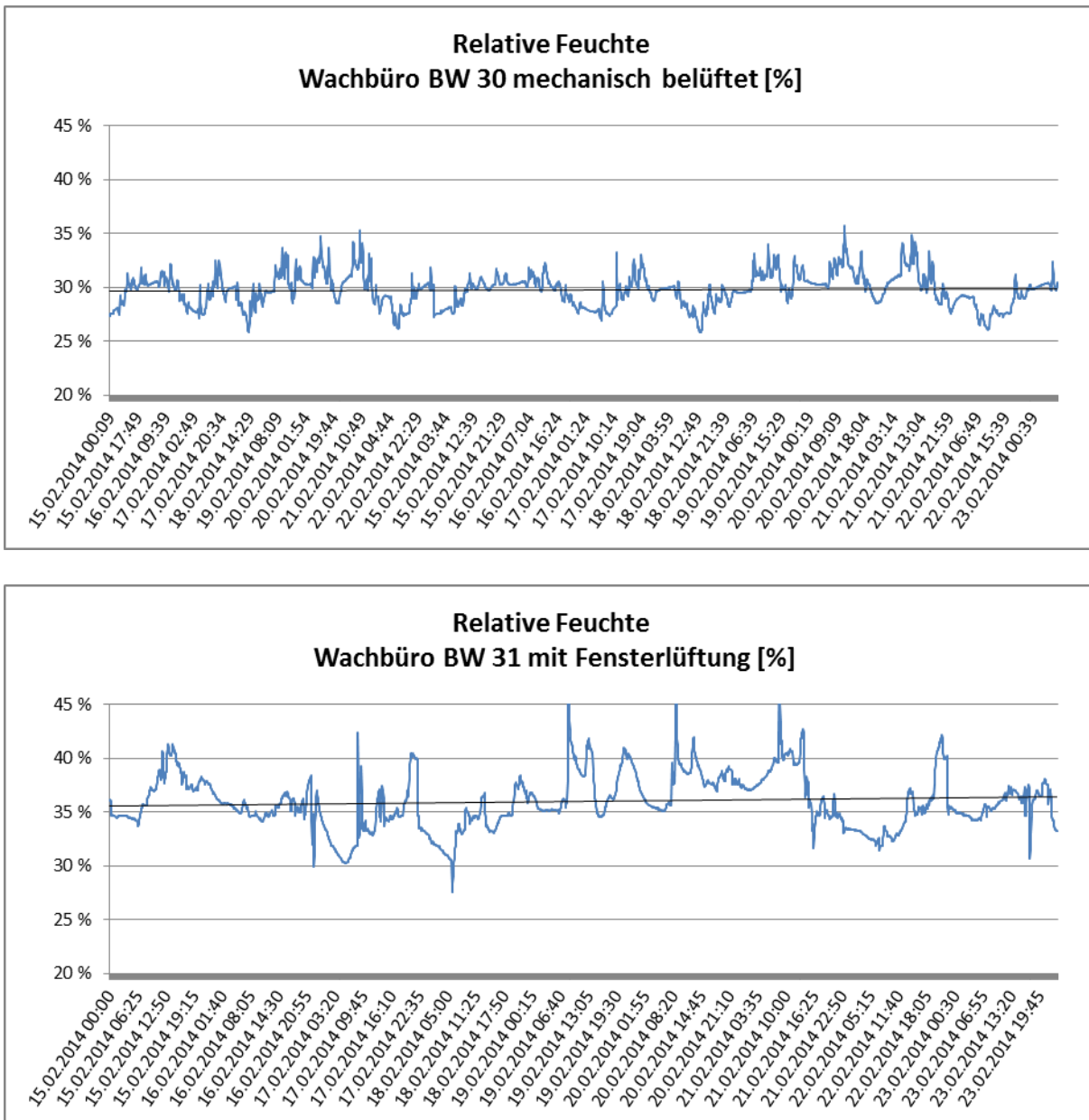


Abbildung 4: Relative Feuchte in den Wachbüros der BW 30 (mechanisch belüftet) und der BW 31 (Fensterlüftung)

Man erkennt, dass die relative Feuchte im Wachbüro der BW 30 im Mittel bei 30 % liegt, während dieser Wert bei der BW 31 um ca. 6-7 % höher liegt. Optimal ist ein Wert zwischen 40 und 60 %. Ein Wert von 30 % ist gerade noch tolerierbar. Diese Messungen zeigten, dass der Unterschied zwischen mechanisch gelüfteten Gebäuden und solchen mit Fensterlüftung nur gering ist. Bei einer Fehlertoleranz von 6% lassen diese Messungen den Schluss zu, dass von einem eindeutigen Vorteil der Fensterlüftung gegenüber einer Lüftungsanlage in Sachen Luftfeuchtigkeit nicht ausgegangen werden kann. Die Fehlertoleranzbereiche der beiden Messungen schneiden sich nahezu. Die BW 31 zeigte aufgrund der Fensterlüftung für die Feuchte deutlich größere Ausschläge.

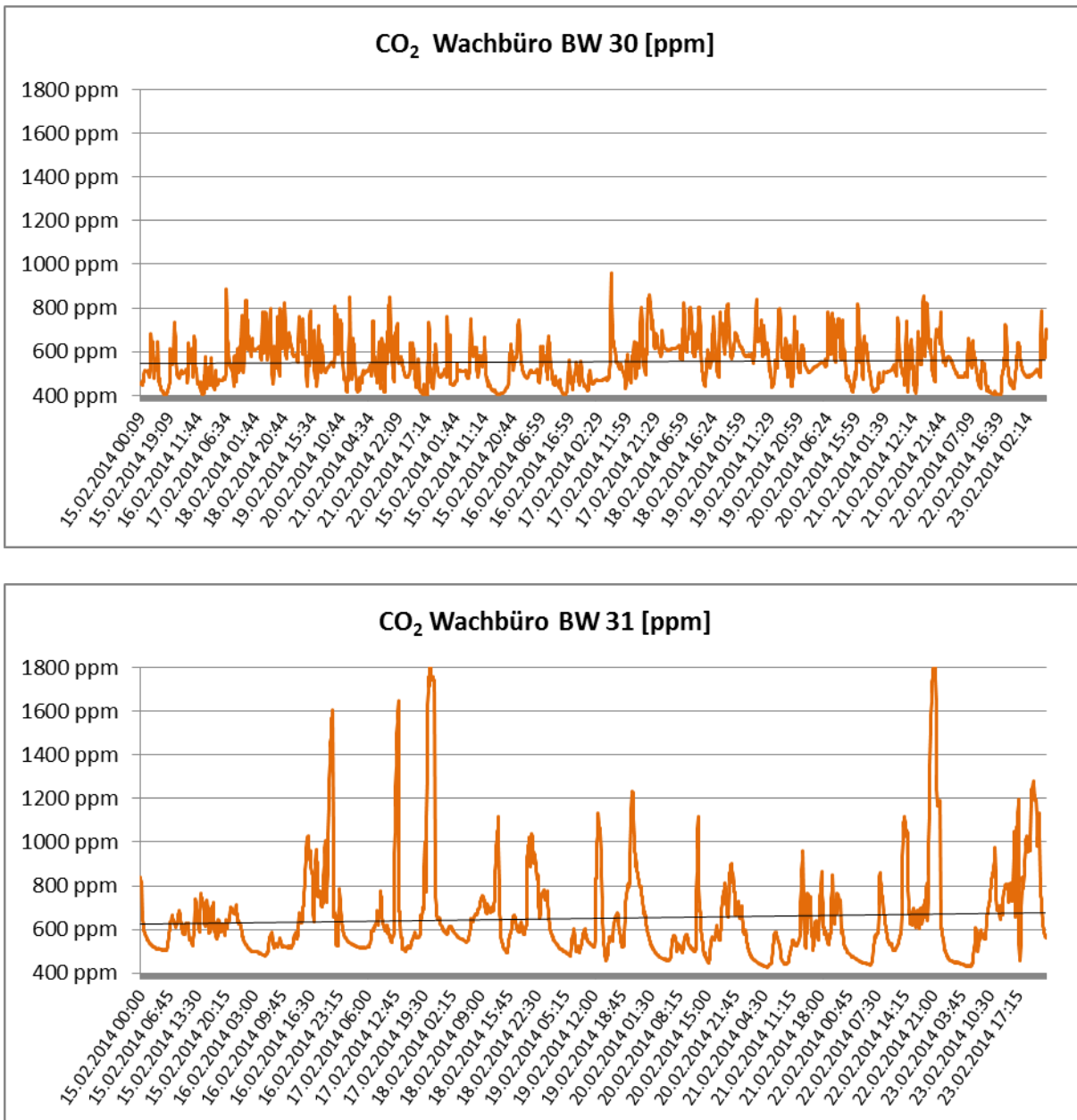


Abbildung 5: CO₂-Konzentration in den Wachbüros der BW 30 (mechanisch belüftet) und der BW 31 (Fensterlüftung)

Die CO₂-Konzentration lag in dem mechanisch gelüfteten Wachbüro der BW 30 stets unter 1.000 ppm, während in dem fenstergelüfteten Wachbüro der BW 31 Konzentrationen von bis zu 1.800 ppm erreicht wurden. In den Leitlinien zum wirtschaftlichen Bauen wird ein Grenzwert von 1.500 ppm vorgegeben. Die Luftqualität war im Wachbüro der BW 30 also deutlich besser als in der BW 31.

Weiterhin wurde festgestellt, dass die Luftmengen in der BW 30 teilweise erheblich über den nach den Leitlinien zum wirtschaftlichen Bauen empfohlenen 20 m³ pro Person und Stunde liegt. Bedingt durch die spezifischen Nutzungsbedingungen einer Feuerwache (Schichtbetrieb rund um die Uhr) kann die genaue Anzahl der Personen, welche sich im Aufenthaltsraum einer Feuerwache befinden, jedoch auch kurzfristig stark variieren. Die Regelung der Lüftungsanlage sollte deshalb entsprechend optimiert werden.

Die verringerte Nutzerzufriedenheit in der BW 30 gegenüber der BW 31 ist möglicherweise nur zum kleineren Teil auf die infolge der erhöhten Luftmenge etwas trockenere Luft zurückzuführen. Entscheidend könnte sein, dass durch die dort eingesetzte Fußbodenheizung kein direkter Einfluss der Nutzer auf die Raumtemperatur besteht. Eine Regulierungsmöglichkeit für die Nutzer besteht über die Gebäudeleittechnik oder das Öffnen der Fenster. Letzteres führt jedoch bei niedrigen Außentemperaturen zu noch trockenerer Luft führt. Es wird daher empfohlen, künftig gemäß den Leitlinien zum wirtschaftlichen Bauen Heizkörper mit herkömmlichen Thermostatventilen einzusetzen.

Auch das Sportamt weist auf die Besonderheiten bei der Anwendung des Passivhausstandards bei den realisierten Sportfunktionsgebäuden bei ungedeckten Sportanlagen hin. Dies betrifft sowohl Investitionsmehrkosten, als auch Mängel bei der Steuerung und Regelung der eingebauten komplizierten Haustechnik durch häufig nicht ausreichend qualifiziertes Betriebspersonal, vor allem bei vereinsbetreuten Sportanlagen, und sich auch dadurch nicht im prognostizierten Umfang einstellende Verbrauchseinsparungen. Außerdem war zu beobachten, dass sich die Nutzer der Umkleidegebäude oftmals nicht so verhalten, wie in den Prognoseberechnungen für die Funktionsgebäude angesetzt war.

Eine entsprechende Nutzerauswertung zur Zufriedenheit in Gebäuden der Stadt Frankfurt liegt derzeit noch nicht vor. Allerdings ist festzustellen, dass Nutzer eines Gebäudes, die wenige oder keine Eingriffsmöglichkeiten in die technischen Anlagen haben, sich fremdbestimmt fühlen. Es ist darauf zu achten, dass eine sinnvolle Regelbarkeit der Anlagen durch die Nutzer möglich bleibt. Dies ist jedoch keine passivhauspezifische Problematik, sondern kommt bei allen technischen Anlagen vor, die nur zentral gesteuert werden.

5. Schlussfolgerungen und Ausblick

Für eine ausreichend belastbare Beantwortung der Frage, ob die mit der Einführung des Passivhausstandards verbundenen energetischen und wirtschaftlichen Erwartungen erfüllt werden können, müssen noch weitere Erfahrungen gesammelt werden. In der Arbeitsgruppe 4 – nachhaltiges Bauen – Bautechnische Standards – des Arbeitskreises Wirtschaftliches Bauen wurde vorgeschlagen, dass bei künftigen Bauvorhaben in der Vorplanungsphase mittels der vom Hochbauamt entwickelten Gesamtkostenberechnung ein Wirtschaftlichkeitsvergleich von mehreren Varianten erstellt und dem Revisionsamt vor Beschlussfassung über die Bau- und Finanzierungsvorlage zur Prüfung vorgelegt wird. Dieser Vorschlag wurde bereits in die Leitlinien zum wirtschaftlichen Bauen 2014 aufgenommen.

Es wurde in Einzelfällen festgestellt, dass es zu erhöhten Verbrauchswerten gekommen ist. Die erhöhten Verbrauchswerte sind noch nicht ausreichend untersucht und teilweise darauf zurückzuführen, dass die in den Leitlinien zum wirtschaftlichen Bauen festgelegten Qualitäten nicht immer eingebaut wurden. Hier sind künftig ausreichend bemessene Planungs- und Bauzeiträume vorzusehen und die Qualitätssicherung durch konsequente Anwendung der Checklisten zu verbessern. Darüber hinaus sollten jedoch auch spezifische Nutzungsbedingungen von Funktionsgebäuden (z.B. 24-Stunden-Betrieb und hohe interne Feuchte-/Wärmelasten) stärkere Berücksichtigung finden. Gleiches gilt für nicht beeinflussbares Nutzerfehlverhalten, beispielsweise bei Funktionsgebäuden ungedeckter Sportanlagen.

Der zweite Grund für überhöhte Verbrauchswerte sind festgestellte Mängel bei der Betriebsführung wie zum Beispiel überhöhte Raumtemperaturen oder keine Abschaltung der Anlagen außerhalb der Nutzungszeiten. Deshalb sollte die technische Betriebsführung vor Ort und die Betriebsoptimierung im Hochbauamt gestärkt werden. Außerdem sollte künftig bei allen größeren Neubau- und Sanierungsprojekten ein Gebäudebetriebsordner erstellt werden, der dem Betriebspersonal vor Ort eine einfache und energieeffiziente Betriebsführung ermöglicht. Dieser Gebäudebetriebsordner wurde deshalb in den Leitlinien zum wirtschaftlichen Bauen 2011 bereits verankert und dient auch der Erhöhung der Nutzerzufriedenheit.

Die Weiterentwicklung vom Passiv- zum Aktivhaus hängt im Wesentlichen von der künftigen Ausgestaltung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) ab. Modellrechnungen zeigen, dass Gebäude mit einer positiven Primärenergiebilanz (sogenannte Plusenergiehäuser) im verdichteten innerstädtischen Bereich in der Regel nur mit Passivhauskomponenten und einer zusätzlichen großflächigen Photovoltaikanlage wirtschaftlich realisiert werden können. Als Beispiel dafür ist das neue Kinderzentrum am Ulmenrück (KiZ 137) zu nennen. Die Passivhaus-Qualität ist also auch für künftige Entwicklungen eine wirtschaftliche und technologieoffene Grundlage. Wenn die Klimaschutzziele der Bundesregierung und der Stadt Frankfurt erreicht werden sollen, dann sollte man hinter diesen Standard nicht zurückfallen.

Weiterführende Informationen findet man unter www.energiemanagement.stadt-frankfurt.de.