

PH-Grundschule Frankfurt-Preungesheim

Sommerliches Raumklima, Raumakustik und Wirtschaftlichkeit PH-Standard

Thomas Kirtschig und Hartmut Kayser, IB ebök GbR, PF 1350, D-72003 Tübingen,
Tel.: 07071/9394-0, E-Mail: mail@eboek.de

Axel Bretzke, HBA Frankfurt am Main, EM, Gerbermühlstr. 48, D-60594 Frankfurt,
Tel.: 069/212-0, E-Mail: axel.bretzke@stadt-frankfurt.de

1 Allgemeines

Die Grundschule in Frankfurt - Preungesheim (Ost) mit Kindertagesstätte, Jugendhaus und Sporthalle wurde von den Architekten Cheret und Bozic (Stuttgart) im Auftrag des HBA Frankfurt a.M. geplant. Sie hat eine Energiebezugsfläche nach PHPP von insgesamt 6725 m² und wird im Passivhausstandard gebaut. Die Grundschule wird als Ganztageschule genutzt. Sie bietet zusammen mit dem Jugendhaus und der Kindertagesstätte Platz für ca. 530 Personen. Es ist eine Schulküche für ca. 300 Essen pro Tag vorgesehen. Die Fertigstellung des Gebäudes ist für 2007 geplant.

2 Wirtschaftlichkeitsberechnung zum PH-Standard

Die Stadt Frankfurt hat 2003 den Passivhausstandard für Schulen und Kindergärten beschlossen, 2006 auch für Sanierungen und Neubauten von Wohngebäuden. Demgemäß wird auch dieser Komplex in Passivhaus-Bauweise errichtet. Eine Vorgabe für Schulen und Kindergärten ist dabei noch der Nachweis der Wirtschaftlichkeit. Verglichen wird mit einer Basisvariante nach EnEV und einer optimierten Variante nach den Leitlinien für wirtschaftliches Bauen der Stadt Frankfurt (www.stadt-frankfurt.de/energiemanagement/pdf/Leitlinie-wirtschaftliches-Bauen.pdf). Dort ist unter anderem der NEH-Standard nach RAL (EnEV-30%) festgelegt. Zum Nachweis der Wirtschaftlichkeit ist das Gesamtkostenverfahren der Stadt Frankfurt (www.stadt-frankfurt.de/energiemanagement/pro.htm) anzuwenden. Der Heizenergiebedarf wird nach LEG/EN832 berechnet. Die Auslegung Passivhaus, EnEV bzw. EnEV-30% wurde vom IB ebök berechnet (Flächen, U-Werte) und mit den Daten der Kostenschätzung/-berechnung in das Gesamtkostenverfahren eingegeben. Die Beheizung für die EnEV-Varianten erfolgt über Fernwärme, das Passivhaus wird mit Holz-Pellet beheizt (gemäß Baugebietssatzung nur für Passivhäuser). Mit den Investitions- und lokalen Energiekosten vom August 2005 ergab sich mit diesem Verfahren die auf Bild 1 dargestellte Wirtschaftlichkeit. Mit einem Kapitalzins von 3,5% ergibt sich eine Amortisationszeit für die Passivhaus-Variante von ca. 8 Jahren, bei Vorgabe von 5,5% Kapitalzins von 10,5 Jahren. Nicht bewertet wurde der Komfort- sowie der Flächengewinn durch fehlende Heizkörper unter den Fenstern.

1. Gesamtkosten

Konzeption und Gestaltung: Hochbauamt der Stadt Frankfurt, Abteilung Energiemanagement

A. Allgemeine Daten							
A1	Liegenschaftsbezeichnung	Preungesheim Ost				A2	Unterab.
A3	Gebäudebezeichnung	Grundschule, KT, JH, TH				A4	Str.-Nr.
A5	Straße					A6	Haus-Nr.
A7	Betrachtungszeitraum	40	a	A8	Währung	€	
A9	Kapitalzins	3,5%		A10	Annuitätsfaktor	0,05	
A11	Preissteigerung Energie/Arbeit	5%	3%	A12	Mittelwertfaktor Energie/Arbeit	2,55	1,70
B. Varianten		Bezeichnung					
B0	Variante 1	EnEV					
B1	Variante 2	EnEV - 30% Standards/Leitlinien Stadt Frankfurt					
B2	Variante 3	PH mit maschineller Grundlüftung/WRG					
B3	Variante 4						
B4	Variante 5						
C. Kenngrößen		Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	
C1	Bezugsfläche (NGF)	6.723	6.723	6.723	6.723	6.723	m ²
C2	Personenzahl	550	550	550	550	550	P
C3	spez. Heizwärmebedarf	172	104	17			kWh/m ² a
C4	Heizzahl Kessel+Verteilung	96%	96%	89%			%
C5	spez. Strombezug	14	13	13			kWh/m ² a
C6	spez. CO ₂ -Emissionen	45	30	10			kg/m ² a
C7	spez. Trinkwasserbezug	3,87	3,87	3,87			m ³ /P a
D. Kapitalkosten		Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	
D1	Investitionskosten (DIN 276)	20.537.058	20.432.791	21.846.895			€
D2	Zuschüsse/Erlöse						€
D3	Eigenkapitaleinsatz	20.537.058	20.432.791	21.846.895	0	0	€
D4	Kapitalkosten	961.695	956.812	1.023.031	0	0	€/a
D5	spez. Kapitalkosten	143	142	152	0	0	€/m ² a
E. mittl. Betriebskosten		Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	
E1	Personal+Reinigungskosten	81.477	81.477	81.477			€/a
E2	Wartung+Instandhaltung	209.731	207.036	223.423			€/a
E3	Heizkosten	81.438	50.330	3.781	0	0	€/a
E4	Stromkosten	27.030	24.460	24.800			€/a
E5	Wasserkosten	8.246	8.246	8.246			€/a
E6	Verwaltung+Versicherung						€/a
E7	heutige Betriebskosten	407.921	371.548	341.726	0	0	€/a
E8	mittl. Betriebskosten	785.342	694.868	604.845			€/a
E9	spez. Betriebskosten	117	103	90	0	0	€/m ² a
F. Umweltfolgekosten		Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	
F1	CO ₂ -Emissionen (50 €/to)	15.280	10.194	6.730	0	0	€/a
F2	Trinkwasser (1 €/m ³)	2.130	2.130	2.130	0	0	€/a
F3	Umweltfolgekosten	17.410	12.324	8.860	0	0	€/a
F4	spez. Umweltfolgekost.	3	2	1	0	0	€/m ² a
G. Gesamtkosten		Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	
G1	Gesamtkosten	1.764.447	1.664.005	1.636.736	0	0	€/a
G2	spez. Gesamtkosten	262	248	243	0	0	€/m ² a
G2	Amortisationszeit (Basis: Variante 1)					8,1	a

Bild 1

3 Optimierung: Sommerlicher WS und Raumakustik

Beschreibung eines Musterklassenraumes (1.OG)

Ein typischer Klassenraum hat eine Grundfläche von 65 m² (7,4 m x 8,75 m) und eine Raumhöhe von ca. 3 m. Die Fenster sind einseitig an der Längsseite mit einer Höhe von 2,1 m angeordnet. Der Fensterflächenanteil bezogen auf die Grundfläche beträgt 22%. Die Klassenräume sind für 26 Schüler geplant mit einer Unterrichtszeit von 8 h/Tag. Die Klassenräume sind nach Westen oder Süden ausgerichtet.

Die Lüftung erfolgt über eine Lüftungsanlage mit ca. 80% Wärmebereitstellungsgrad. Für die sommerliche Nachtlüftung ist ein Bypass am Wärmetauscher vorgesehen. Der Luftvolumenstrom ist entsprechend den hygienischen Erfordernissen auf 420 m³/h dimensioniert, was einem gut 2-fachen Luftwechsel entspricht. Die Zuluftrohre werden mäanderförmig in die Decke einbetoniert. Die Beheizung im Winter erfolgt über einen innenliegenden Heizkörper.

Bodenaufbau: 4mm Linoleum, 35 mm Gussasphaltestrich, 20 mm Trittschall-dämmung.

Innenwände: 24 cm Klinker-Mauerwerk teilweise mit schallabsorbierenden Dämmmaterialien oder Einbaumöbeln verdeckt.

Decken: 30cm Beton teilweise mit schallabsorbierender Dämmung belegt.

Passivhausfenster: elektrisch gesteuerter, außenliegender Sonnenschutz mit einem Abminderungsfaktor von $F_c \leq 0,25$, $g_{\text{Verglasung}} = 52\%$ $U_{\text{Glas}} = 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Außenwand: Betonwand mit Außendämmung teilweise mit Regalen verdeckt.

3.1 Anforderungen Raumakustik

In Unterrichtsräumen ist eine sehr hohe Sprachverständlichkeit erforderlich. Um diese Anforderungen zu erreichen, darf der Raum nicht zu hallig sein (= kleine Nachhallzeit). Der Schall sollte durch günstig angeordnete Reflexionsflächen von der Quelle (z.B. Lehrer) zu den Empfängern (z.B. Schüler) weitergeleitet werden. Störende Reflexionen müssen durch geeignete Maßnahmen reduziert werden.

Nach DIN 18041 werden in Abhängigkeit vom jeweiligen Raumvolumen Soll-Nachhallzeiten für Unterrichtsräume definiert. Nehmen an dem Unterricht Kinder mit eingeschränktem Hörvermögen oder einer Fremdsprache als Muttersprache teil, so sollte nach DIN18041 die Nachhallzeit weiter verkürzt werden (erhöhte Anforderung).

In Räumen mit größeren Geräuscentwicklungen können (je nach Art der Nutzung) zusätzliche Bedämpfungen insbesondere der Decke sinnvoll sein (s. Kap. 3.5). Dies ist z.B. im Werkraum, im Kunstraum, im EDV-Raum oder im Lehrerzimmer der Fall.

Raumnutzung	Sollwerte Nachhallzeit bei 200m ³
Normaler Unterrichtsraum	T _{soll} = 0,56 s nach DIN 18041
Erhöhte Anforderung	T _{soll} = 0,45 s nach DIN 18041
Räume mit erhöhter Geräuscentwicklung (z.B. EDV, Werken, Kunst, Lehrerzimmer)	Zusätzliche Bedämpfungsmaßnahmen an der Decke

3.2 Raumakustische Möglichkeiten und Maßnahmen

- Belegung von Decken oder Wänden mit schallabsorbierenden Dämmmaterialien (z.B. Faserdämmstoffe mit Lochplatten).
- Breitband Kompaktabsorber sind bei gleicher Fläche wirksamer als herkömmliche Absorber aber auch teurer.
- Baffel: Raumakustisch wirksame Schaumkörper in verschiedenen Geometrien. Üblich sind z.B. vertikal von Decken abgehängte Platten (z.B. 30cm x 60cm x 3cm). Sie sind akustisch von allen Seiten wirksam.
- Möblierung (z.B. Regale, Schränke, Tische, Stühle, Vorhänge,)

Thermische Auswirkungen raumakustischer Maßnahmen

Freie Oberflächen stehen im konvektiven Wärmeaustausch mit der Luft und im Strahlungsaustausch mit den übrigen Flächen im Raum. Massive Wände und Decken können auf Grund ihrer großen Wärmekapazität Raumtemperaturspitzen verringern.

- Wand- und Deckenbelegungen schränken sowohl den konvektiven als auch den strahlungstechnischen Austausch ein. Die Speicherfähigkeit (=Zugänglichkeit der Wärmekapazität) des Bauteils wird dadurch stark behindert.
- Gleiches gilt für Breitbandkompaktabsorber, die direkt auf ein Bauteil montiert werden. Auf Grund der höheren akustischen Wirksamkeit muss aber gegenüber den herkömmlichen Absorbern weniger Fläche belegt werden.
- Baffel schränken nur den strahlungstechnischen Austausch mit der Umgebung nur teilweise ein. Die Speicherfähigkeit eines Bauteils ist damit noch teilweise vorhanden. Sie sind außerdem von allen Seiten akustisch wirksam.
- Möblierungen behindern sowohl den konvektiven als auch den strahlungstechnischen Austausch eines Speicherbauteils. In der Regel ist jedoch der Wärmedurchgang der Konstruktion größer als bei akustischen Dämmmaßnahmen, so dass die Speicherfähigkeit weniger eingeschränkt ist.

3.3 Anforderungen an das sommerliche Raumklima

Mindestanforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz definiert die DIN 4108-2. Danach sollte unter Standard-Nutzungsbedingungen die Übertemperaturhäufigkeit während der Aufenthaltszeit (hier 2000 h/a) 10% nicht überschreiten. Frankfurt zählt zu den sommerheißen Gebieten mit einer Grenztemperatur von 27°C.

Bezüglich interner Wärmequellen werden in „Nicht-Wohngebäuden“ 6 W/m² im Tagesmittel angesetzt. Die tatsächlichen internen Wärmequellen in der Grundschule Preungesheim liegen in einem normalen Klassenraum im Tagesmittel bei ca. 10-11 W/m². Für den thermischen Komfort ist es empfehlenswert eine Übertemperaturhäufigkeit von 5% unter den tatsächlich zu erwartenden Nutzungsbedingungen möglichst nicht zu überschreiten.

Der Nachweis über die Einhaltung der Anforderungen wurde nach dem Verfahren von [Rouvel 2000] durchgeführt. Dieses Rechenmodell wurde für Bürogebäude konzipiert. Die Nutzungszeiten sind in Ganztageseschulen denen von Büronutzung sehr ähnlich, so dass diese Modell auch für die GS Preungeheim Ost gut verwendbar ist.

3.4 Berechnungen nach dynamischem Raummodell B. Glück

Um die Auswirkung verschiedener raumakustischer Maßnahmen auf die sommerlichen Temperaturen genauer zu untersuchen, wurden Tagesgänge der operativen Raumtemperaturen mit dem dynamischen Raummodell nach [Glück 2005] untersucht. Mit diesem Berechnungsverfahren kann das thermische Raumklima im Sommer unter Berücksichtigung von geometrischen Flächenbezügen, unterschiedlichen Wärmespeicheraufbauten (z.B. sensible Wärmespeicher, Latentwärmespeicher oder aktive, wasserdurchströmte Wärmespeicher) genauer berechnet werden.

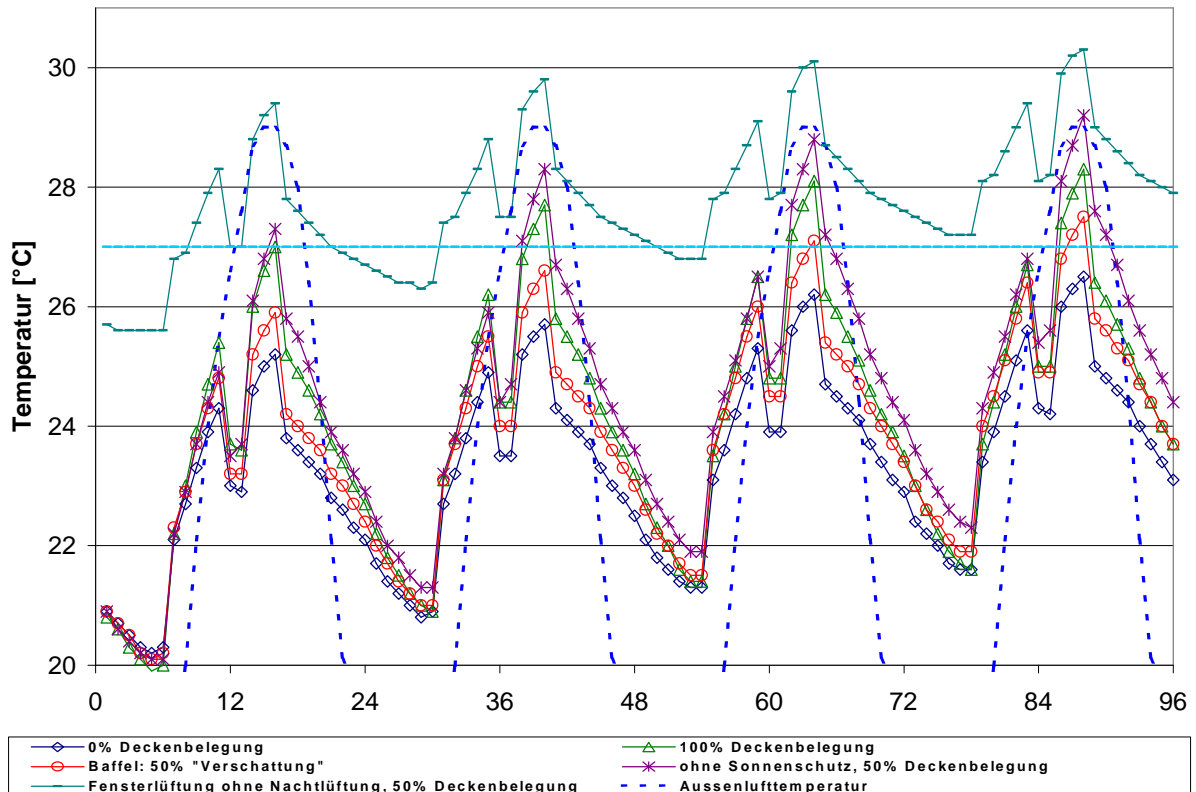


Bild 2

Bild 2 zeigt operative Raumtemperaturen für verschiedene Varianten im Vergleich. Die Außentemperaturen wurden nach DIN 4710 für einen unbewölkten Sommertag im Juli in Frankfurt gewählt. Die Tiefsttemperaturen der Außenluft liegen in der Nacht bei 14,9 °C. Als Initialtemperatur für Raum- und Bauteiltemperatur wurde das Simulationsergebnis ohne Berücksichtigung von internen Wärmequellen verwendet (d.h. Start z.B. nach einem Wochenende). Es wurde ein Westklassenzimmer 4 Tage in Folge simuliert.

- In der Variante „Fensterlüftung ohne Nachtlüftung“ entfällt die Nachtauskühlung der Speicherbauteile. Die Raumtemperatur liegt dann schon zu Beginn der Woche deutlich höher und liegt bei dem verwendeten Außenklima während der gesamten Nutzungszeit über 27°C. In allen anderen Varianten wurde Nachtlüftung (über die Lüftungsanlage) angenommen.
- Je größer der Anteil der Deckenbelegung ist, desto höher werden die op. Raumtemperaturen vor allem bei den nachmittäglichen Spitzentemperaturen.
- Raumakustisch ist die Variante „Baffeln mit 50% strahlungstechnischer Verschattungsfläche“ vergleichbar mit der vollbelegten Decke. Bezüglich den sommerlichen Raumtemperaturen liegt sie sogar günstiger als eine halb belegte Decke.

Nicht berücksichtigt wurde in diesen Berechnungen, dass die in die Decke eingebetonierten Lüftungsrohre die Decke in gewissem Maße „aktiviert“. Die Speicher-

fähigkeit vor allem der belegten Deckenteile wird damit besser genutzt.

Ebenfalls nicht berücksichtigt wurde die Temperaturerhöhung der Zuluft durch die Lüftungsventilatoren. Schon bei relativ geringem Stromverbrauch von $0,4 \text{ Wh/m}^3$ erwärmt sich die Zuluft um $0,6 - 1,1 \text{ K}$ (je nach Anordnung der Ventilatoren und Betriebsart). Niedrige Stromverbräuche der Ventilatoren spielen bei der Sommer- nachtlüftung eine wichtige Rolle.

3.5 Einige Planungsergebnisse für die GS Preungesheim

- **Normale Klassenräume:** Ca. 50% der Decke wird belegt. Um mögliche Reflexionen über die Decke wirksam werden zu lassen, wird die Deckenmitte schallhart ausgeführt. Das Absorptionsmaterial wird am Deckenrand angeordnet (störende Reflexionen werden dadurch verhindert). Reflexionen an der dem Lehrer gegenüberliegenden Wand werden vermindert, indem im oberen Bereich eine Holzverkleidung als Brett-Fugen-Konstruktion und im unteren Bereich dieser Wand eine Vorsatzschale aus Gipskartonplatten mit zusätzlicher Pinwand angebracht wird. Die Wand (Tafel) hinter dem Lehrer sollte schallhart ausgebildet sein. Unter Berücksichtigung des vorgesehenen Mobiliars liegen die Nachhallzeiten im Bereich der erhöhten Anforderungen nach DIN 18041.
- Im **EDV-Raum** sind zusätzlich zu den o.g. akustischen Maßnahmen Baffel vorgesehen. In den anderen Werk- und Kunsträumen ist dies wegen Vandalismus-Gefahr nicht vorgesehen. Der EDV-Raum wird außerhalb der Nutzungszeiten zugeschlossen.
- Im **Lehrerzimmer** wird die Decke vollständig abgehängt. Wegen niedriger interner Wärmequellen im Tagesmittel ist das sommerliche Raumklima unproblematischer.
- Weitere Optimierungen z.B. mit Breitbandabsorbern oder mit schachbrettartigen Anordnungen der Deckenabhängungen waren aus Kostengründen oder gestalterischen Gründen nicht erwünscht.
- Die Häufigkeit der Temperaturüberschreitungen über 27°C liegt in allen Klassenräumen und im Lehrerzimmer unter Berücksichtigung der tatsächlichen inneren Wärmelasten bei 5% oder darunter. Ausnahme ist der EDV-Raum mit deutlich erhöhten internen Wärmequellen.

4 Fazit

- Der Passivhausstandard ist nach den Berechnungen des HBA Frankfurt nicht nur wirtschaftlich, sondern er ermöglicht ohne zusätzlichen Investitionsaufwand wesentlich besseres sommerliches Raumklima. Die Lüftungsanlage in der Schule bietet die Möglichkeit einer ausreichenden Nachtlüftung. Die im Wohnungsbau übliche Sommernachtlüftung über Fenster ist wegen Einbruch- und Wetterschutz im Nichtwohnungsbau problematisch. Ohne Nachtlüftung im Sommer steigen die

Raumtemperaturen tagsüber bei den vorhandenen internen Wärmequellen in dem Klassenzimmer ganz erheblich an.

- Das sommerliche Raumklima kann durch eine verbesserte thermische Zugänglichkeit sowieso vorhandener, wärmespeichernder Bauteile erheblich verbessert werden. Allein der Einfluss einer freien gegenüber einer vollständig belegten Deckenfläche ist fast so groß, wie der eines (relativ teuren aber unverzichtbaren) außenliegenden Sonnenschutzes. Eine Abstimmung schon in der Planungsphase zwischen Maßnahmen der Raumakustik, des sommerlichen Wärmeschutzes und der Lüftung ermöglicht damit eine weitere Verbesserung des sommerlichen Raumklimas ohne bedeutende Investitionen.
- Weitere Optimierungsmöglichkeiten zur baulichen Verbesserung des thermischen Raumklimas wie z.B. eine schachbrettartige Verteilung von Deckenabhängungen, Verwendung von Kompaktabsorbern oder der Einsatz von PCM-Materialien sind vorhanden.

[Glück 2005] Prof. Dr.-Ing. habil. Glück, Bernd, ***Dynamisches Raummodell zur wärmetechnischen und wärmephysiologischen Bewertung***, Teile A-D, ROM-Umweltstiftung , (2004-2005)

[Rouvel 2000] Deutscher, P; M. Elsberger, L. Rouvel. ***Sommerlicher Wärmeschutz***, Eine einheitliche Methodik für die Anforderungen an den winterlichen und sommerlichen Wärmeschutz, Teil 1-3, Bauphysik 22, Heft 2000-2,3 u. 4; Ernst+Sohn, Berlin